

A VEVŐI NEMFIZETÉS ELŐREJELZÉSE VISELKEDÉSI JELLEMZŐK SEGÍTSÉGÉVEL

ESTIMATION OF CUSTOMER DEFAULT BASED ON BEHAVIORAL VARIABLES

Felföldi-Szűcs Nóra ^{1*}

¹Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország és Befektetések és Vállalati Pénzügy Tanszék, Budapesti Corvinus Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

scoring modell,
partnerkockázat,
hitelkockázat

Keywords:

scoring model,
partner risk
credit risk

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Cikkemben a vevői nemfizetés előrejelezhetőségét vizsgálom. A kis- és középvállalkozókból (KKV) álló 905 elemű mintán a banki scoring modellezésből ismert logisztikus regressziót alkalmazom. Az eredmények alapján a KKV ügyfelek nemfizetésének előrejelzésére a viselkedési, nem pénzügyi változók nagyobb diszkriminatív erővel bírnak, mint a pénzügyi adatokra építő verziók. A modellek teljesítménye gyengébb, mint az a banki hitelkockázatról szóló szakirodalomban megszokott, ennek oka, hogy a szállítónak való nemfizetés inkább fizetési hajlandóság, mint fizetőképesség kérdése.

Abstract

The paper focuses on the estimation of customer default. Using a sample of 905 SME I build a logistic regression model which is widespread in the field of scoring models used by commercial banks. According to the results the non-financial, behavioral variables estimate better customer default than the financial ratios. My models perform weaker than the usual performance level of scoring models in commercial bank. This result assumes that defaulting on a payable to suppliers depends more on willingness to pay than on ability to pay.

1. Bevezetés

Mint minden hitelhez, a szállító által a vevőnek nyújtott kereskedelmi hitelhez is hitelkockázat (credit risk) kapcsolódik. Jól tudja ezt minden vállalat, ahol naponta születnek arra vonatkozó döntések, hogy melyik vevő fizessen készpénzzel, melyikük kaphat hitelt, és az mekkora összegű legyen. Logikus, hogy a vállalat által elvégzett hitelebírlás a banki hitelebírláshoz hasonlít. Hago [6] tanulmányában vállalati hitelpolitikáról, annak részeként vállalati hitelelemzésről ír.

Ennek megfelelően a banki nemfizetés előrejelzés módszertanát alkalmazom egy építőipari alapanyagokkal kereskedő cég vevőportfólióján. A pénzügyi és viselkedési mutatószámok előrejelző erejét hasonlítom össze. Az elemzés megerősíti az adatokat átadó követeléskezelő cég gyakorlatát, mely szerint a vevők hitelkereteit főleg a nem pénzügyi mutatókra alapozzák. A cikkben elsőként ismertetem az alkalmazott módszertant, leírom az adatokat. A hipotézis megfogalmazása után becsülöm a nemfizetést előrejelző modelleket, majd az eredmények ismertetése és a konklúzió következik.

* E-mail cím: szucs.nora@gamf.kefo.hu

2. Az alkalmazott módszertan és a felhasznált adatok köre

A hitel és nemfizetési kockázat modellezésére igen gazdag irodalom létezik. Történeti szempontból a számviteli alapú, ún. hitelkockázati scoring modellekkel találkozhatunk először. A számviteli alapú modellek a cégek pénzügyi-számviteli kimutatásaiból képzett mutatószámokon alapulnak, ahol a mutatószámok értékei alapján sorolják két csoportba a vizsgált cégeket, a csődös és nem-csődös vállalkozásokat különítik el. Részletes tárgyalása a témának magyar nyelven Virág Miklós munkáin [18] kívül Kiss [8], Oravec [14-15], Imre [7] és Kristóf [10, 11] munkáiban olvasható.

A kifejezetten a KKV ügyfelekre koncentráló munkák legelterjedtebb eljárásként a logisztikus regressziót említik Atiya [3] és Laitinen-Laitinen [12], és a legtöbb szerző is logisztikus regresszióval végzi el saját becsléseit (például Altman-Sabato [1], Falkenstein-Boral-Carty [4]). Ezért én is ezt a módszert alkalmazom majd a későbbi fejezetekben.

A kereskedelmi hitelek adatbázisa egy létező cégnek a valós 905 elemű kis- és középvállalkozásokból (KKV) álló részét jelentette a teljes, 1400 elemű vevőportfólióján belül 2009 májusában. A cég építőanyag-kereskedelemmel foglalkozik. Az adott cégnek 2,6 milliárdnyi nyitott – ebből 1,4 milliárdnyi lejárt - vevőállománya van, ami az előző évi, 2008-as adatokon számolva mintegy 46 napnyi árbevételnek felel meg. A cég minden nyilvántartott vevőjének összes nyitott követelése mellett látható a már lejárt követelések értéke is, és a korosított állományok is rendelkezésre állnak. Mivel állományjellegű változókról beszélünk, ezért az adatok egy adott, 2009 májusi dátumhoz kapcsolódnak. A megállapított hitelkeret mellett megjelennek a cégre, a cégvezetőre és a fizetéstörténetre vonatkozó esetenként kvalitatív információk, amelyek majd dummy változóként szerepelhetnek a kvantitatív elemzésben. A korosított kintlévőségek mellé, a későbbi elemzés érdekében, a főbb mérleg és eredménykimutatás adatokat is kikerestem. Az adattisztítást követően 857 elem maradt az adatbázisban.

A fenti adatokból a nemfizetés tényét a egy dummy változóval definiáltam: a DEF90 értéke 1, ha a vevő 90 napnál többet késett, 0 egyébként. A definíció önkényes, mivel nem áll rendelkezésre olyan egyértelmű szabályozói definíció, mint például a banki kockázatkezelésben a bázeli „90 napos” érték. Így az adatbázisból kiindulva arra törekedtem, hogy a nemfizetés az átlagos késésnél súlyosabb eseményt írjon le. Mivel a minta volumennel súlyozott átlagos késése 55 nap, ez az igény teljesül.

Ezt követően meghatároztam azon pénzügyi mutatószámok körét, amelyek felhasználása a szakirodalom alapján szóba jöhet. Az 1. táblázat tartalmazza ezeket a hányadosokat valamint azokat a szempontokat, amelyek alapján a nem pénzügyi változókat definiáltam.

1. táblázat: A szakirodalom által javasolt pénzügyi mutatószámok és a rendelkezésre álló viselkedési adatok

<i>Pénzügyi mutatószámok</i>	<i>Nem pénzügyi szempontok</i>
Kötelezettségek/Források (Kotelezettseg_forras08)	A vizsgált cégek jogi formája
Adózás előtti eredmény/Értékesítés nettó árbevétele	Törlesztés történt-e az elmúlt héten? (szTORL_DUMMY)
Adózás előtti eredmény/Eszközök	Összesen hány napig volt feketelistán? (feketelistas_keses_napok)
EBIT/Eszközök	Hány alkalommal szerepelt feketelistán? (hanszor_feketelista)
EBITDA/Értékesítés nettó árbevétele	Van-e terhelő adat a cégre? (cegallapot_dummy)
EBIT/Értékesítés nettó árbevétele	Van-e terhelő adat a tulajdonosra vagy ügyvezetőre?
Adózott eredmény/Saját tőke (ROE)	Van-e a vevőnek hitelkerete?
Forgóeszközök/Rövid lejáratú kötelezettségek	Van-e hitelkeret túllépés? (HITELTULLEP_DUMMY)
Kötelezettségek/(EBIT + Pénzügyi műveletek bevételei)	Negatív-e a saját tőke? (negSajattoke_dummy)
Kötelezettségek/EBITDA	Cég méret (eszközállomány kvintilisei)
EBIT/Pénzügyi műveletek ráfordításai	
Rövid lejáratú kötelezettségek/Értékesítés nettó árbevétele	
Forgóeszközök/Eszközök	
Követelések/Kötelezettségek	
Saját tőke/Befektetett eszközök (E_Befeszkoz08)	
Értékesítés nettó árbevétele/Eszközök (Arbev_Eszkoz08)	
Értékesítés nettó árbevétele/Nettó forgótőke	
Értékesítés nettó árbevétele/EBIT	
(Adózás előtti eredmény+Pénzügyi műveletek ráfordításai)/Eszközök	
Szokásos vállalkozási eredmény/Saját tőke	
Nettó forgótőke/Eszközök	
Pénzeszközök/Rövid lejáratú kötelezettségek	
Hosszú lejáratú kötelezettségek/Saját tőke	
Követelések/Saját tőke	
Hosszú lejáratú kötelezettségek/Források	
Követelések/Eszközök	
Értékesítés nettó árbevétele/Nettó forgótőke	

Pénzeszközök/Eszközök (Penz_Eszkoz08)	
Rövid lejáratú kötelezettségek/Saját tőke	
Pénzeszközök/Értékesítés nettó árbevétele	
(Értékesítés nettó árbevétele 2008/Értékesítés nettó árbevétele 2007) -1	
FCFF/Eszközök (FCFF_Eszkoz)	

Forrás: Saját számítás

A nemfizetés előrejelzésére a csődmodellezés mintájára a logisztikus regressziót használtam, amely az egyszerűbb módszerek közül a legelterjedtebb és sikeres modellnek tekinthető. (Falkenstein-Boral-Carty [4]) Az irodalom alapján (Grunerta-Norden-Weber [5], Falkenstein-Boral-Carty [4], részben Altman-Sabato [1], Kristóf [11]) minden modellváltozatnál a Forward Stepwise Likelihood Ratio algoritmust alkalmaztam 5%-os beléptetési és 10%-os kiléptetési szignifikancia szinttel. A mintát tanuló és teszt mintára osztottam, szintén a szakirodalomnak megfelelő 75%-25%-os arányban. (például Imre [7])

A cutoff érték kiválasztása igen eltérő módon történik az általam olvasott szerzőknél. A jelenlegi irodalomban elterjedt döntési szempont a legnagyobb AUC (area under the curve) érték által adott cutoff. A cikk ezt a legutóbbi szempontot követi majd. A mutató értékére vonatkozó irodalom szerint a gyakorlatban a 0,7 nagyságú AUC már megfelelőnek minősül. (Oravec [15], Imre [7], Tseng-Chung Tang és Li-Chiu Chi [17])

3. Hipotézis

Hipotézisem, hogy a kizárólag nem pénzügyi változókat felhasználó modellek besorolási pontossága nem rosszabb, mint a pénzügyi adatokra építő modelleké.

Bár kevés nem pénzügyi változó áll rendelkezésemre, Altman-Sabato-Wilson [2] valamint Lehmann [13] alapján összehasonlítom a kimutatás adatok és egyéb, nem pénzügyi adatok diszkriminatív erejét. A hipotézis megfogalmazását az a meg nem nevezett követeléskezelő cég is motiválta, amely az adatbázist rendelkezésemre bocsátotta. A cég 2009-ben, az adatok rögzítésekor, főleg nem pénzügyi mutatók alapján, mintegy szakértői döntésre alapozva állapította meg, hogy ügyfele, a szállító, mely vevőjének mekkora hitelkeretet nyújtson.

4. A vizsgált vevőportfólió nemfizetését előrejelző modellek

Minden esetben az azonos algoritmussal (forward stepwise likelihood ratio, 5%-os beléptetési és 10%-os kiléptetési szignifikancia szint) becsült, de eltérő magyarázó változókat felhasználó modellek eredményeit ismertetem.

A „SOKVÁLT_015” elnevezésű modell a nyilvánosan elérhető adatokon kívül más, viselkedési mutatóra nem épít, így új vevők esetén is használható. A 015 jelölés pedig arra utal, hogy az ideális, AUC-t maximalizáló cutoff értéke 15% lett. Ezek alapján a modell jól fizető vevőként sorolja be azokat az ügyfeleket, akiknél a becsült nemfizetési valószínűség 15%-nál alacsonyabb, és „rossz”, azaz nemfizető vevőnek minősül a többi ügyfél.

2. táblázat: A SOKVÁLT_015 modell paraméterei

Variables in the Equation (SOKVÁLT_015)		B	S.E.	Wald	Df	Sig.	Exp(B)
Step 6	hanyszor_feketelist a	,245	,087	8,023	1	,005	1,278
	Kotelezettseg_forra s08	2,436	,404	36,274	1	,000	11,429
	E_Befeszkoz08	,005	,002	3,732	1	,053	1,005
	Arbev_Eszkoz08	-,226	,086	6,882	1	,009	,798
	Penz_Eszkoz08	1,786	,674	7,026	1	,008	5,964
	FCFF_Eszkoz	,775	,209	13,734	1	,000	2,171
	Constant	-3,183	,347	84,241	1	,000	,041

Forrás: SPSS

Az SPSS-output alapján a feketelistán való szereplések száma, a Kötelezettségek/Források, az Árbevétel/Eszközök, Pénzeszközök/Eszközök valamint az FCFF/Eszközök lettek a szignifikáns magyarázó változói a vevői nemfizetésnek új vevők esetén. Például az a tény, ha valamelyik vevőt

egyszer megtalálhatjuk egy feketelistán, 1,278-szorosára növeli az odds esélyhányadost ($\frac{p}{1-p}$) ahhoz a vevőhöz képest, aki minden szignifikáns mutatóban megegyezik, ellenben egyszer sem szerepelt feketelistán.

3. táblázat: A SOKVÁLT_015 modell illeszkedési mutatói

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	511,963	,058	,099
2	498,222	,079	,134
3	490,464	,090	,154
4	483,700	,100	,170
5	476,435	,110	,188
6	470,034	,119	,204

Forrás: SPSS

Az illeszkedési mutatók közül a Nagelkerke R^2 értelmezése a legegyszerűbb, mivel az a többváltozós determinációs együtthatóhoz hasonlóan működik, 0 és 1 közötti értékeket vehet fel [14]. Eszerint modellünk magyarázó ereje új vevők esetén, kizárólag publikus információkra támaszkodva 20,4%-os.

A kizárólag nem pénzügyi mutatókra építő BEHAV_015 elnevezésű modellben inputként csak nem pénzügyi változókat adtam meg. Végeredményként a 4. és 5. táblázatot kaptam. Szignifikáns mutatók lettek a cég előéletét leíró „cégállapot”, a törlesztési szokások, a hiteltúllépés és a negatív saját tőke.

4. táblázat: A BEHAV015 modell paraméterei

<i>Variables in the Equation</i>	<i>B</i>	<i>S.E.</i>	<i>Wald</i>	<i>Df</i>	<i>Sig.</i>	<i>Exp(B)</i>
Step 6(f) hanyszor_feketelista	,264	,102	6,664	1	,010	1,303
feketelistas_keses_napok	,004	,002	3,725	1	,054	1,004
cegallapot_dummy(1)	-,614	,271	5,156	1	,023	,541
szTORL_DUMMY			6,552	2	,038	
szTORL_DUMMY(1)	-,400	,268	2,220	1	,136	,670
szTORL_DUMMY(2)	-,968	,384	6,354	1	,012	,380
HITELTULLEP_DUMMY(1)	-1,528	,247	38,305	1	,000	,217
negSajattoke_dummy	1,562	,414	14,233	1	,000	4,767
Constant	-,258	,307	,707	1	,401	,772

Forrás: SPSS

5. táblázat: A BEHAV_015 modell illeszkedési mutatói

<i>Step</i>	<i>-2 Log likelihood</i>	<i>Cox & Snell R Square</i>	<i>Nagelkerke R Square</i>
1	502,803	,072	,123
2	486,494	,096	,164
3	473,590	,114	,196
4	468,116	,122	,209
5	460,938	,132	,226
6	457,414	,137	,234

Forrás: SPSS

5. A modellezés eredményei, a hipotézisek értékelése

Az 6. táblázat három illeszkedési mutatót vizsgál. A becslési algoritmus a -2Loglikelihood értéket minimalizálja, ezért ennél a mutatónál az alacsonyabb értékek a kedvezőbbek. A Cox-Snell R² esetén már a magasabb értékek a kedvezőbbek. A mutató egyébként a likelihood értékét az üres modellhez viszonyítja. (Oravecz [15], Kovács [9], Sajtos-Mitev-Pusztai-Juhász [16]) A Nagelkerke R² értelmezésére már korábban kitértem.

A vizsgált hipotézis volt, hogy a kizárólag nem pénzügyi változókat felhasználó modellek besorolási pontossága nem rosszabb, mint a pénzügyi adatokra építő modelleké.

A hipotézis vizsgálatához becsültem a BEHAV_015 modellt, amely kizárólag viselkedési és egyéb, nem kifejezetten pénzügyi mutatókat használt fel magyarázó változóként. Az illeszkedési mutatók és a tanulóminta, valamint tesztminta AUC értékei alapján is (lásd 6-7. táblázatok) jobb modell született, ha a pénzügyi mutatószámok helyett a cég viselkedését más dimenziókban leíró változókat használunk. Az AUC értékeken alapulnak az 1. ábrán szereplő ROC görbék, amelyek az AUC-hez hasonló eredményt hozta. A hipotézist a bemutatott modellek alapján elfogadtam, tehát a kizárólag viselkedési változókat felhasználó modellek besorolási pontossága nem rosszabb, mint a pénzügyi adatokra épülő modelleké. Érdekességként, a hipotézis elfogadása egyben az adatokat rendelkezésemre bocsátó cég gyakorlatát is magyarázza, hogy miért működhet sikeresen a vevők hitelkeretének főleg viselkedési változókra, és csak másodsorban pénzügyi adatokra támaszkodó meghatározása.

6. táblázat: Hipotézis ellenőrzése illeszkedési mutatók alapján

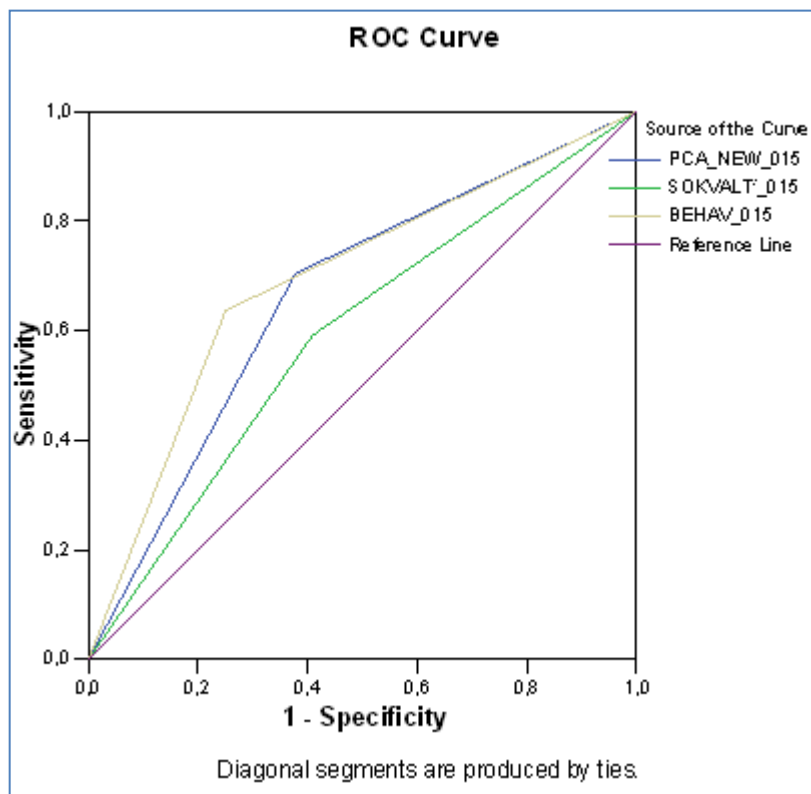
Teljes minta	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
SOKVÁLT_015	470,034	0,119	0,204
BEHAV_015	457,414	0,137	0,234

Forrás: Saját szerkesztés, SPSS

7. táblázat: H6 hipotézis ellenőrzése AUC alapján

Tanulóminta	AUC	Std. Error(a)	Asymptotic Sig.(b)	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
SOKVÁLT_015	0,686	0,029	0,000	0,628	0,743
BEHAV_015	0,703	0,029	0,000	0,646	0,760
Tesztminta					
SOKVÁLT_015	0,591	0,048	0,063	0,497	0,686
BEHAV_015	0,693	0,047	0,000	0,602	0,785

Forrás: Saját szerkesztés, SPSS



1.ábra: ROC görbék a tesztmintán

Forrás: SPSS

6. Konklúzió

A cikkben röviden hivatkoztam arra, hogy a vállalatok a vevőik hitelkeretének meghatározásakor a bankhoz hasonló hitelezési döntéssel szembesülnek. A rendelkezésre álló banki hitelkockázati módszertanból választottam a logisztikus regeressziót annak előrejelzésére, hogy a rendelkezésre álló vevőportfólión a nemfizetést előrejelezzem. A becsült modellek alapján elmondható, hogy a vizsgált hipotézis, mely szerint a viselkedési mutatók önmagukban is képesek előrejelezni a vevői nemfizetést, helytálló. A viselkedési mutatóon alapuló modellek klasszifikáló ereje jobb volt, mint a pénzügyi mutatókból becsült modellé.

Összességében a modellek illeszkedését és klasszifikációs erejét jellemző mutatók segítségünkre voltak a hipotézisek ellenőrzésében, hiszen a különböző modellváltozatok esetén eltérő értékeket vettek fel. Ha azonban bármely más hivatkozott empirikus munkához viszonyítjuk abszolút értéküket, azt vesszük észre, modelljeim teljesítménye gyengébb, mint a más szerzőknél található hasonló mutatók. A magyarázat a függőváltozó definíciójában található.

Egyrészt a fizetési minták feltárásánál nem sikerült egyértelmű nemfizetést leíró késési intervallumot találni. Ezért önkényesen a bázeli mintára alkalmaztam a 90 napon túli késést. Amikor a modelleket újrabecsültem a 120 napos késést nemfizetésként definiáló DEF120 változóra, a modellek illeszkedése és AUC értéke nem mutatott tendenciózus javulást a tanuló és tesztmintákon minden egyes modellváltozatra. Tehát továbbra sem tartottam indokoltnak a DEF90 változó mint nemfizetést leíró mutató lecserélését.

Második lehetséges magyarázat a modellek teljesítményére a következő. A csődnél sokkal gyengébb hitelkockázati esemény, ha egy vállalkozás a szállítójának nem fizet. A fizetőképesség mellett – a BEHAV_015 modell jó eredményei alapján is – legalább annyira fontos a fizetési hajlandóság is, ha csupán a szállító kiegyenlítéséről dönt a vállalkozás. Imre [7], aki a Bazel II. default-definíciónak megfelelő 90 napos banki késedelem előrejelzésére épített modelleket, disszertációja végén hasonló megállapításra jut. Azaz a csődös és nem csődös vállalkozások pénzügyi adatai vélhetően jobban elkülönülnek egymástól, mint a fizető és nemfizető ügyfeleké. Tehát a csődmodellek alkalmazhatóak voltak a 90 napos késedelem előrejelzésére is, de az előrejelzések pontossága elmaradt a csődmodellektől megszokott szinttől. Imre [7] érvelését átvéve, a csődnél gyengébb esemény, ha az ügyfél a banki tartozásán késik 90 napnál többet, de még enyhébb hitelkockázati helyzetet jelez, ha „csak” a szállító az, aki már 90 napnál régebben vár számlája kiegyenlítésére. Ezek alapján modelljeim illeszkedési mutatóit és a kapott AUC értékeket megfelelőnek tekintem, annak ellenére, hogy az irodalom gyakran jobban teljesítő modelleket mutat be.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a meg nem nevezett követeléskezelő cég tulajdonosának, aki az adatokat rendelkezésemre bocsátotta. Továbbá köszönöm konzulenseim, opponenseim észrevételeit, amelyeket a PhD dolgozatomra kaptam, mivel a cikk a disszertáció egyes eredményeit ismerteti.

Irodalomjegyzék

- [1] Altman, E.I. és Sabato, G. [2007]: Modelling Credit Risk for SMEs: Evidence from the U.S. Market. Abacus Vol. 43. No. 3. pp. 332–357.
- [2] Altman, E. I., Sabato, G. és Wilson, N. [2010]: The Value of Non-Financial Information in SME Risk Management. Journal of Credit Risk, Vol. 6, No. 2, pp. 5-25.
- [3] Atiya, A.F. [2001]: Bankruptcy prediction for credit risk using neural networks: A survey and new results. IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 12. No. 4. pp. 929-935.
- [4] Falkenstein, E. G., Boral, A. és Carty, L. V. [2000]: RiskCalc for Private Companies: Moody's Default Model. Global Credit Research, May 2000. Letöltve: <http://ssrn.com/abstract=236011> 2011. április.
- [5] Grunert, J., Norden, L. és Weber, M. [2005]: The role of non-financial factors in internal credit ratings. Journal of Banking & Finance, Vol. 29, No. 2, pp. 509-531.
- [6] Hago, T. M. [2001]: A kereskedelmi hitel néhány problémája. Vezetéstudomány, Vol. 32. No. 3. pp. 27-40.
- [7] Imre, B. [2008]: Bazel II definíciókon alapuló nemfizetés-előrejelzési modellek magyarországi vállalati mintán (2002-2006). PhD. doktori értekezés, Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.
- [8] Kiss, F. [2003]: A credit scoring fejlődése és alkalmazása. PhD. doktori értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem

- [9] Kovács, E. [2006]: Pénzügyi adatok statisztikai elemzése. BCE Pénzügyi és Számviteli Intézet, Budapest
- [10] Kristóf, T. [2008a]: A csődelőrejelzés és a nem fizetési valószínűség számításának módszertani kérdéseiről. Közgazdasági Szemle, Vol. 55. No. 5. pp. 441-461.
- [11] Kristóf, T. [2008b]: Gazdasági szervezetek fennmaradásának és fizetőképességének előrejelzése. PhD. doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem
- [12] Laitinen, E. K. és Laitinen, T. [2000]: Bankruptcy prediction Application of the Taylor's expansion in logistic regression. International Review of Financial Analysis, Vol. 9. No. 4. pp. 327-349.
- [13] Lehmann, B. [2003]: Is It Worth the While? The Relevance of Qualitative Information in Credit Rating (April 17, 2003). EFMA 2003 Helsinki Meetings. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=410186> or doi:10.2139/ssrn.410186
- [14] Oravecz, B. [2007]: Credit scoring modellek és teljesítményük értékelése. Hitelintézeti Szemle. Vol. 6. No. 6. pp. 607-627.
- [15] Oravecz, B. [2008]: A szelekciós torzítás és csökkentése az adóminősítési modelleknél. PhD. doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem
- [16] Sajtos, L., Mitev, A., Pusztai, L. és Juhász, P. [2007]: SPSS kutatási és adatelemzési kézikönyv. Alinea Kiadó, Budapest
- [17] Tseng-Chung Tang és Li-Chiu Chi [2005]: Predicting multilateral trade credit risks: comparisons of Logit and Fuzzy Logic models using ROC curve analysis. Expert Systems with Applications, Vol. 28, No. 3, pp. 547-556.
- [18] Virág, M. [2004]: A csődmodellek jellegzetességei és története, Vezetéstudomány, Vol. 35. No. 10. pp. 24-32.

INCOME, PERCEPTIONS AND SUBJECTIVE WELL-BEING IN HUNGARY

Zsuzsanna Deak ^{1*}

¹Department of Agricultural Economics and Rural Development, Faculty of Horticulture, Kecskemét College, Hungary

Keywords:

Subjective well-being, life satisfaction, income, perceptions, Hungary

Article history:

Received 15 October 2015
Revised 28 October 2015
Accepted 1 November 2015

Abstract

Subjective well-being (SWB) is based on people's personal evaluations of their own lives. Most measurements of SWB are obtained through questionnaires and interviews. Many aspects can influence our life satisfaction and our feeling of happiness such as personality, interpersonal relationships, demographics, environmental and economic factors. These observable facts are what make up objective well-being (OWB). By using OWB data as a proxy we should be able to predict an individual's or society's life satisfaction. This paper focuses on income (an objective component) and satisfaction with income and importance of personal wealth (subjective components) and their effects on SWB data.

1 Introduction

Well-being is not a clearly defined concept. Its measurement is heavily dependent on subjectivity, individual values and different world views. At one end we can find the utilitarian approach of economics (people's "utility" increases with consumption, that is "more is better" which reduces well-being to income and GDP), and on the other end there is the subjective approach favored by psychology. Today it is generally recognized that well-being is a multidimensional notion that covers all facets of human life.

Building on these basic ideas, two main methods, the subjective and the objective, have been developed to quantify well-being. Subjective well-being (SWB) is based on people's evaluations of their own lives. As such, it is strongly influenced by expectations, personality, circumstances, aspirations and interpersonal relations. SWB data are usually obtained via interviews designed to gain self-reported valuations of an individual's life. The surveys can be grouped in three main categories in regards to how the question is phrased: satisfaction with life as a whole, happiness about life as a whole, and some variation based on the Cantril ladder. A combination of these scores what is called "subjective well being" a term coined by Diener (2010) and accepted officially by the OECD in 2013. It is important to mention that life satisfaction is not the same as happiness. Both are equally apt measures of subjective well-being, but have to be evaluated separately (as we will also see in this study). When asked how happy they are, people will immediately think of their current emotional state (how they feel at the moment), while life satisfaction is more of an overall, long-term concept (how pleased they are with how things are working out for them in general).

Objective well-being (OWB), on the other hand, is rooted in the idea that well-being is dependent on a set of easily measurable common factors (such as GDP, unemployment, health, corruption etc.) for all individuals and thus assesses the level of well-being by using these proxies to measure life satisfaction.

* Corresponding author. Tel.: +36 76 517-671
E-mail address: deak.zsuzsanna@kefo.kfk.hu

In recent studies well-being research started to employ a combination of the objective and subjective approaches thus creating composite measures. In this edition, in a series of studies aimed at SWB in Hungary, I have focused solely on income variables as predictors for SWB data to test several theories put forward in literature. Income influences life satisfaction more in poor countries while at the same time those who prize material goals seem to be less happy than others [5]. Recent studies also found that only around 10% of subjective well-being is attributable to income [9][10]. Additionally, it has been shown that there are diminishing marginal returns from income to life satisfaction, that is after a certain level of material wealth it adds no value to one's sense of fulfillment [6][12].

2 Data and Methodology

The study uses data drawn from a series of repeated cross-sectional sample surveys conducted by the European Social Survey (ESS)*. The European Social Survey is a biennial survey of social attitudes and behavior which has been carried out in up to 36 European countries since 2001. The data was collected through a series of hour-long, in-person interviews with individuals aged 15 years or older. There have been six ESS versions published so far.

Ordinary Least Square regressions with heteroskedasticity-robust standard errors were run against the two subjective well-being measures as dependent and three income related questions as independent variables (household income, satisfaction with income and personal importance placed on being rich). Actual income was based on a ten point scale increasing by every 25 thousand, satisfaction and importance of wealth were both graded on a scale between 1-4.

Several demographic factors have shown to affect SWB such as age, employment status and education. For example, studies have found, that being employed, as opposed to retired or taking care of a family will not influence life satisfaction significantly, however, being unemployed has a large, negative impact [4][11]. Age also influence SWB considerably showing a U-shaped curve through a person's life, reaching the lowest level between 30-40 years [1]. Economic factors examined included income, wealth and education [3][8]. Thus I have also incorporated into my model the demographic control variables of age, gender, household size, education level, occupation and place of residence (big city, town or countryside). Time dummies were added to correspond to the ESS rounds.

3 Discussion

Surveys on national happiness have been around for several decades. The earliest such survey that has also included Hungary is from 1981 (World Values Survey wave1). Understandably, due to the political isolation most of Eastern Europe was during these times pollsters asking citizens how happy they are were not looked on favorably. From the early 90's on the frequency of such surveys has increased (from only 5 in the 80's to 20 in the 90's to over 70 after the turn of the century) and most recently, as part of an EU initiative, official KSH (Hungarian Central Statistical Office) surveys have also been conducted (EU-SILC in 2013).

Looking at the multitude of surveys over the years [15] several aspects have to be pointed out. One, that subjective well-being in Hungary remained relatively constant during the last 30 years (Mean 5.48, Range 1.42 on a scale of 0-10), and two that the country has consistently finished as one of the lasts in Europe. On average subjective well-being has remained 13 % lower than the average for other European countries, and there was no observable upward trend even after the fall of the "iron curtain" or after joining the European Union. In fact, there is a slight downward slant of -2.61% compared to the 1980's.

It is not surprising that research has found that life satisfaction is lowest in the newest members of the European Union and that East Europeans value material goods more than their Western counterparts [2][5][13]. When charting happiness and GDP for the EU we can find the

* "Some of the data applied in the analysis in this publication is based on the ESS Multilevel Data. The data is provided by European Social Survey, and prepared and made available by the Norwegian Social Science Data Services (NSD). Neither European Social Survey nor NSD are responsible for the analyses/interpretation of the data presented here."

Eastern European countries in the lower quadrant (circled) along with the Mediterranean states. At first look higher GDP does indeed seem to correlate with happier people. Denmark, with the happiest people, however, does not have the highest GDP. In terms of Hungary, for example, the Baltic-states, Poland and Romania have lower or similar GDPs yet their inhabitants are happier (Figure 1).

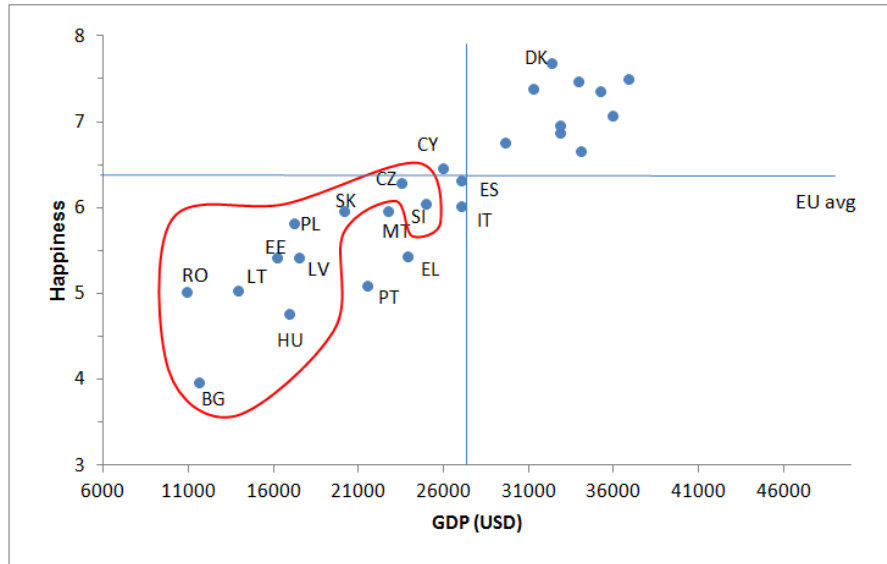


Figure 1. Happiness and GDP within the European Union

Data: United Nations World Happiness Report 2010-12, own composition

The results of the regression for the three income questions and demographic variables can be seen in Table 1 below.

Table 1. Results of the regression (N = 4850)

	Life Satisfaction			Happiness		
	coeff.	tstat		coeff.	tstat	
const	2.4200	8.95	***	3.6636	13.30	***
male	-0.1658	-2.53	**	-0.1883	-2.91	***
age	-0.0093	-2.98	***	-0.0111	-3.57	***
dom2	0.0018	0.02		-0.0012	-0.01	
dom3	0.0151	0.18		0.0971	1.15	
hhmmb	0.0061	0.22		0.1289	4.86	***
YR2	-0.0311	-0.3433		0.0356	0.40	
YR3	-0.3411	-3.5950	***	-0.1187	-1.33	
YR4	-0.3664	-3.8920	***	-0.4049	-4.62	***
YR5	0.1394	1.5430		0.0349	0.41	
YR6	-0.0912	-1.0640		-0.2547	-3.21	***
edu	0.0397	2.2440	**	0.0242	1.46	
working	0.5320	3.66	***	0.2250	1.57	
study	1.4631	7.63	***	0.7044	3.92	***
rtrd	0.7011	4.17	***	0.1221	0.72	
other	1.0299	5.38	***	0.7505	3.96	***
income	0.0700	3.80	***	0.0529	3.00	***
incfeel	1.0024	20.38	***	0.8236	17.18	***
imprich	-0.1303	-5.01	***	-0.0924	-4.15	***

Note: ***, ** and * denote significance at 1%, 5% and 10% respectively (one-tail test) household size (hhmmb), place of residence (dom2-midsize towns and dom3-countryside), time dummies (YR2-YR6), feelings about income situation (incfeel), importance of being rich (imprich)

Compared to the base year of 2002 Hungarians have lost -0.71 points from their happiness and -0.69 from their life satisfaction. Hungarian men are less happy or satisfied than their female counterparts (-0.19 and -0.17 points respectively), and respondents with higher level of education seem to be more satisfied with their life (by 0.4 points) but not significantly happier. Whether the respondent lives in a big city or in the countryside does not influence well-being significantly, although people living in small villages are 0.10 points happier than those in big cities but they are not more satisfied with life. Similarly, people living in big families are significantly happier. Both happiness and life satisfaction decreases with age. As previous studies have shown respondents that are active are much happier than their unemployed counterparts. However, this study has uncovered some differences between the various occupational groups. Students, by far are the most satisfied with how their life is progressing followed by people engaged in other activities. On the happiness side, retired individuals do not seem to be better off and even working folks are not reporting being that much happier than unemployed ones. Some of this discrepancy is clearly explained by the SWB numbers received for the age variable, but in most likelihood there are deeper underlying reasons behind it stemming from the recent socio-economic changes and shifting attitudes within the Hungarian population. As for the specifically income related variables, when respondents considered being rich an important aspect of life it has affected their life satisfaction downward to a higher degree than their happiness (-0.13 compared to -0.9). Income, as expected influenced both measurements upward at about the same rate (even adjusted for household size). When looking at diminishing marginal returns I have found that compared to the base salary rate of 60K HUF or less, both happiness and life satisfaction kept increasing up to 150K (the sample mean) then there was a very slight decline up until 200K then they started to increase again. The biggest upswing, however, came from how individuals evaluated their financial situation. The more satisfied they were with their income level the greater were their SWB numbers (affecting their overall life satisfaction more than their happiness). But even in the top household income brackets some of the respondents still felt that they were just barely getting by underscoring how important perception really is.

4 Conclusions

In this study, in a series of studies examining SWB data for Hungary, I have set out to examine the effects of income, and related perceptions. Additionally, employment status was added to the model where life satisfaction was greater for active citizens than unemployed ones (most significantly for students). Interestingly, however, happiness was less affected, even to the level where retired and working people did not experience a significant increase in happiness. Income was found to be effecting both life satisfaction and happiness (although the later to a lesser degree). There were diminishing marginal returns observed, but not consistently (only within a certain income bracket). Ironically, it is wealth that people expect will bring them satisfaction which actually makes them dissatisfied. Results correspond with previous research findings that those who prize material goals seem to be less happy than others. In Hungary, specifically, materialistic values have gained in significance over the years. I have also found that being happy and being satisfied with life do not overlap in all aspects.

References

- [1] Blanchflower, David G. & Oswald, Andrew J., „Is well-being U-shaped over the life cycle?,” *Social Science & Medicine* 66(8), pp. 1733-1749, 2008.
- [2] Delhey, J., Life satisfaction in an enlarged Europe, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg, 2004.
- [3] Di Tella, R., MacCulloch, R.J., Oswald, A.J., „The macroeconomics of happiness,” *Review of Economics and Statistics* 85 (4), pp. 809-827, 2003.
- [4] Di Tella, R., MacCulloch, R., Oswald, A., „Preferences over inflation and unemployment: evidence from surveys of happiness,” *The American Economic Review* 91 (1), pp. 335– 341, 2001.
- [5] Diener, E. and R. Biswas-Diener, “Will money increase subjective well-being? A Literature Review and Guide to Needed Research,” *Social Indicators Research*, 57, pp.119-169, 2002.

- [6] Diener, E., E. Sandvik, L. Seidlitz, and M. Diener, "The relationship between income and subjective well-being, relative or absolute?," *Social Indicators Research*, 28, pp.195-223, 1993
- [7] Diener, E., Helliwell, J. F., & Kahneman, D., (Eds.), *International differences in well-being*, Oxford University Press, New York, 2010
- [8] Diener, E., Seligman, M., „Beyond money: Toward an economy of well-being,” *Psychological Science in the Public Interest*, 5, pp. 1-31, 2004.
- [9] Headey, B., Muffels, R., Wooden, M., „Money doesn't buy happiness or does it?," A reconsideration based on the combined effect of wealth, income and consumption. *Social Indicators Research* 87, pp. 65–82, 2008.
- [10] Lyubomirsky, S., Sheldon, K.M., Schkade, D., „Pursuing happiness: The architecture of sustainable change,” *Review of General Psychology* 9, pp. 111-131, 2005.
- [11] Oswald, A. J., „Happiness and Economic Performance,” *Economic Journal* 107(5) pp. 1815–31, 1997.
- [12] Sanfey, P. & U. Teksoz, "Does Transition Make You Happy?," *EBRD Working Paper* 58, 2005.
- [13] Somarriba, N. and B. Pena, "Synthetic Indicators of Quality of Life in Europe," *Social Indicators Research*, 94, pp.115-133, 2009.
- [14] United Nations World Happiness Report 2010-12. Edited by John Helliwell, Richard Layard and Jeffrey Sachs Available: <http://www.earth.columbia.edu/sitefiles/file/Sachs%20Writing/2012/World%20Happiness%20Report.pdf> [Accessed: 2015-06-27]
- [15] Veenhoven R., Happiness in Hungary, World Database of Happiness, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands [online]. Available: <http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl>. [Accessed: 2015-06-27]

BIZTONSÁGOS SCRUM VÁLTOZATOK ÁTTEKINTÉSE

SURVEY ON SECURE SCRUM VARIANTS

Johanyák Zs. Cs. *, Bolla K., Alvarez Gil R.P. and Halczman Sz.L.

Informatika Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

scrum,
agilis,
biztonságos,
szoftverfejlesztés

Keywords:

Scrum,
agile,
secure,
software development

Történet:

Beérkezett: 2015. október 10.
Átdolgozva: 2015. október 31.
Elfogadva: 2015. november 7.

Összefoglalás

A hatékony szoftverfejlesztés egyik alapfeltétele a megfelelő módszertan kiválasztása és alkalmazása. Napjaink egyik legelterjedtebb módszertana a Scrum, amit sok ezer projekt során alkalmaztak sikeresen. Számos előnyös tulajdonsága ellenére a Scrum gyenge pontja az, hogy nem kínál teljes értékű megoldást biztonságkritikus szoftverek fejlesztésére, pl. nem tartalmaz explicit módon biztonsági elemzést és tervezést. Cikkünkben két olyan módszertant (S-Scrum és Secure Scrum) is áttekintünk és értékelünk, ami az eredeti eljárást alkalmassá teszi biztonságkritikus szoftverek fejlesztésére újabb lépések és komponensek beépítésével.

Abstract

Selection and application of the proper methodology are basic requirements of efficient software development. Scrum is one of the most spread methodologies being applied in thousands of projects. Despite its numerous advantages its weak point is its lack in giving techniques for the development of security critical applications. In this paper, after presenting the original technique, we present and evaluate two methods (S-Scrum and Secure Scrum) that by defining new steps and components enhance the original Scrum to be able to fulfil the security demands as well.

1. Bevezetés

Életünk szinte minden területén jelen vannak az informatikai eszközök. Elektronikusan kommunikálunk, banki és egyéb ügyeket intézünk, fizetünk, és a szórakozástól a hétköznapi munkáig szinte mindenhol használunk szoftvereket. Az alkalmazott programok hozzáférnek számos bizalmas adatunkhoz, értékeinkhez, ami különös jelentőséget ad a biztonság iránti igénynek. Ezen szoftverek jelentős része nagy bonyolultságú, és együtt kell működjön, adatot kell cseréljen más rendszerekkel. Ezt a kockázati tényezőt még az a tény is erősíti, hogy rohanó világunkban mindent azonnal szeretnénk megkapni, ami a szoftverfejlesztő cégekre nehezedő erős határidőnyomást eredményez.

A hagyományos tervezés és dokumentálás alapú módszertani megközelítések nehezen vagy egyáltalán nem képesek alkalmazkodni a gyorsan változó felhasználói követelményekhez, a megrendelő bizonytalanságához és a rövid fejlesztési határidőkhöz. Ennek felismerése az agilis módszertanok (pl. [2][3][4][5][6]) megjelenését és elterjedését eredményezte a 90-es évek második felétől kezdődően. Bár már az ezredforduló környékén történtek kezdeményezések az egységesítés érdekében (pl. agilis kiáltvány [1]) de ezek akkor csak részben bizonyultak sikeresnek. Napjainkra a Scrum [6] vált legjobban elterjedt agilis szoftverfejlesztési módszertanná.

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 413; fax: +36 76 516 399
E-mail address: johanyak.csaba@gamf.kefo.hu

A Sutherland és Schwaber nevével fémjelzett keretrendszer alap gondolata abból a megfigyelésből indul ki, hogy új komplex termékek fejlesztése során jobb teljesítmény érhető el kis létszámú, önszerveződő, önálló csapatok felállításával úgy, hogy nem feladatokat, hanem célokat határoznak meg számukra.

Több mint húsz éves története során a Scrum keretrendszert sikeresen alkalmazták számos szoftver projektben, több mint ezer könyv témájául szolgált, valamint alkalmazást nyert olyan területeken is, mint a gyártás, marketing és oktatás [7]. Számos előnyös tulajdonsága és széleskörű elterjedtsége ellenére ennek a módszertannak gyenge pontja az, hogy nem kínál teljes értékű megoldást biztonságkritikus szoftverek fejlesztésére. Biztonsági szempontból jelentős hiányosság például, hogy nem tartalmaz explicit módon biztonsági elemzést és tervezést, valamint a fejlesztési tevékenységekhez nem kapcsolódik pontos dokumentálás [9]. Ezen hiányosságok felismerése olyan új Scrum változatok megjelenését eredményezte, amelyek lehetővé teszik a biztonsági kihívásoknak történő megfelelést is.

Cikkünkben két ilyen módszertan, az S-Scrum [8] és a Secure Scrum [10], fontosabb jellemzőit tekintjük át és értékeljük. A cikk további részének felépítése a következő. A 2. szakaszban az alap Scrum módszertan lényegi elemeit ismertetjük. A 3. és a 4. szakaszban az S-Scrum és a Secure Scrum változattal foglalkozunk, majd a következtetésekre és összegzésre az 5. szakaszban kerül sor.

2. Scrum

Ebben a fejezetben összefoglaljuk a Scrum módszer [6] meghatározó elemeit és röviden bemutatjuk annak működését a gyakorlatban. A Scrum kilenc elemből épül fel. Ezek a következők: három szerepkör, három értekezlet típus, és három dokumentum. A szerepkörök termékgazdára (Product Owner - PO), Scrum Master-re (SM) és a csapatra (Team - T) bontódnak szét. A Scrumban a szerepkörök úgy vannak kialakítva, hogy nincsen közöttük alá- és fölérendeltség, így aki részt vesz az adott projektben - a fejlesztőtől egészen az ügyfél kapcsolattartóig - mindenki egyenrangú. Az alábbiakban részletezzük az egyes szerepköröket betöltő emberek feladatait.

A termékgazda (PO) feladata az, hogy megtestesítse az ügyfél hangját, mivel az ügyfél a PO-val tartja a kapcsolatot. Erre a feladatra egy olyan személy a legmegfelelőbb, aki precíz, valamint képes szót érteni és megegyezni az ügyféllel. A PO tisztában kell legyen a fejlesztéshez szükséges időkerettel, és a fejlesztés által termelt bevétel mennyiségével. Egyik legfontosabb feladata, hogy megfelelően átlássa az üzleti és pénzügyi folyamatokat. Másik fontos feladata, hogy az elvégzendő munkát a fejlesztőkkel ismertesse, és elkészítse a fejlesztési igényeket tartalmazó táblázatot (Product Backlog - PB). A PB elkészítése során a teljes feladatot kisebb részfeladatokká alakítja, és fontossági sorrendet állapít meg. Amennyiben a feladatok szétbontásához nem rendelkezik elegendő információval, kérheti a Team segítségét. Mivel a PO és a Team egyenrangú, a fejlesztők is tehetnek javaslatokat a részfeladatok meghatározására.

A Scrum Master egyfajta ellensúlyt képez a PO-val szemben. Elsődleges feladata az, hogy képviselje a csapatot. Biztosítani kell azt, hogy a csapat előtt ne legyenek akadályok, és zavartalan legyen a munkavégzés folyamata. A SM feladata az is, hogy a projektben elengedhetetlen, a fejlesztéshez és teszteléshez szükséges eszközöket beszerezze, az ő felelőssége a projekt zavartalan előrehaladása. Mindezek mellett az SM-nek az értekezletek (meeting-ek) megtartásában fontos szerepe van, valamint azok hatékonyságának ellenőrzésében, mely alatt azt értjük, hogy amennyiben egy megbeszélésen nem a termékről van szó, az SM-nek minden esetben vissza kell terelnie a szót az eredeti feladatra. Egy jó Scrum Master céltudatos személyiség, aki kiáll véleménye mellett, és jól képviseli csapata érdekeit. Az SM akkor dolgozik jól, ha a csapat ebből nem vesz észre semmit, és mindenki számára úgy tűnik, hogy nincs is igazán munkája. Egy SM több csapat munkáját is segítheti egyszerre.

Az utolsó ismertetésre kerülő szerepkör a fejlesztő csapat. A tapasztalatok azt mutatják, hogy igazán hatékonyan 4 főből egészen 8 főig működik egy csapat. Egy szoftverfejlesztési projektben a csapat tagjai között általában tesztelőt, designer-t, adatbázis specialistát és a különböző alkalmazásrétegek megvalósításért felelős szoftverfejlesztőket vesznek részt. A Scrum módszertan hangsúlyt helyez arra, hogy minden tudást és információt meg kell osztani a

csapattagok között, így nem lesznek pótolhatatlan személyek, és a projekt akkor sem válik sikertelenné, ha egy vagy több személy távozik a cégtől.

A fejlesztés 2-3 hetes időszakokra, ún. futamokra (Sprint) bontottan történik. Egy projekt indítása mindig a futamtervezéssel (Sprint Planning) kezdődik, amely a három értekezlet típus közül az első. Ezen a megbeszélésen az összes résztvevőnek (PO, SM, T) jelen kell lennie. A PO feladata a résztvevők tájékoztatása a projekt részleteiről, illetve annak bemutatása, hogy a teljes projektet milyen elvégzendő részfeladatokra, ún. történetekre (Story) bontotta. Előfordulhat olyan eset, hogy a PO nem tud mindenkinek kielégítő magyarázatot adni egy történethez, ilyenkor a Story-hoz felírják a fontosabb kérdéseket és a PO feladata megszerezni az ügyféltől a szükséges információt. A PO feladata, hogy ellássa a csapatot az összes fontos információval, míg a csapat mindent olyan tudnivalót át kell adjon a PO-nak, ami a megrendelővel történő tárgyaláshoz szükséges a fejlesztés szempontjából. A futamtervezés során az SM kérdéseket tehet fel, közvetítő szerepet láthat el a csapat és a PO között. Szükség esetén a PO a történeteket felbonthatja, és kisebb feladatokat alakíthat ki. A PO és a csapat közösen becsülik meg a történetek elvégzéséhez szükséges időmennyiséget. Mivel az egy-egy feladatra szánt idő hozzávetőleges megállapítása egy tapasztaltabb fejlesztőnek is fejtörést okozhat, ezért az óra és ember nap alapú becslés mellett történet pontokat (Story Point) is használhatnak. Ebben az esetben komplexitási pontokat határoznak meg mindenki által jól ismert mértékekkel dolgozva (pl. 1. táblázat). Ilyen pl. a póló méretsor (XS, S, M, L, XL, stb.), a kettő hatványai (1,2,4,8, stb.) vagy a Fibonacci számsor (1, 2, 3, 5, 8, stb.) kiválasztott tartománya [11]. A történeteket úgy helyezik el, hogy minden számhoz csak egy Story-t rendelnek. A kisebb számok jelentik a könnyen végrehajtható feladatokat, a nagyobbak pedig a komplexebb Story-kat. A nagyobb értékekkel akár azt is kifejezhetik, hogy az adott feladathoz nem áll rendelkezésre megfelelő kompetencia az adott pillanatban. A sorba rendezési technika azon az alapvető emberi tulajdonságon alapszik, hogy könnyebben meg tudjuk becsülni egy feladat bonyolultságát egy korábbi feladathoz viszonyítva.

1. táblázat. Scrum történet pontozás [12]

<i>Fibonacci</i>	<i>Póló</i>	<i>Starbucks Coffee</i>
1	XS	espresso shot
2	S	short
3	M	tall
5	L	grande
8	XL	venti
13	XXL	trenta

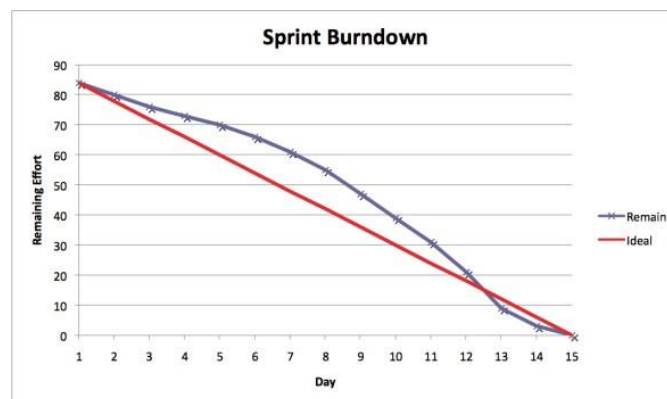
A projekt indulása után napi megbeszéléseken (Daily Standup) mutatják be a fejlesztők, hogy hogyan haladnak a munkával. Személyenként másfél-két perc áll rendelkezésre, amely során röviden elmondják, hogy mit csináltak az előző napon és mit fognak csinálni aznap. Egy ilyen megbeszélésen a fejlesztők egyesével kiállnak a csapat, a PO (neki nem kötelező jelen lennie) és a SM elé, röviden elmondják, hogy melyik történeten dolgoznak, hátráltatja-e a munkájukat valami (pl. információ- vagy eszközhiány). Mivel minden felhasználói történet esetén ismert, hogy ki dolgozott rajta, ezért a felelősök mindig jól beazonosíthatóak, és hiba esetén a feladat felelősét kötelezik a javításra. Ez a meeting akkor működik jól, ha minden nap ugyanabban az időpontban tartják meg, és mindenki részt vesz az eseményen. Egy jól működő, összeszokott csapatnál akár 15 perc alatt 15 főt is meg tudnak hallgatni.

Minden futam végén egy ún. futamáttekintés (Sprint Review) keretében a csapat bemutatja az elkészített produktumot. A megbeszélés során két lépcsőben, demóval és értékeléssel foglalják össze a futam eredményeit. A csapat bemutatja az elvégzett tevékenységet az ügyfél és a PO számára nagyjából 30-60 percben, majd ezt követően az ügyfél és a PO minden egyes történetet értékel abból a szempontból, hogy elfogadja vagy elutasítja azt. Elutasítás esetén alapos indoklás szükséges. Amennyiben egy feladatot az ügyfél elfogadott, a későbbiekben hivatkozhat arra, hogy ő másként gondolta, minden ilyen esetben új történetet kell felvenni a módosítások elvégzéséhez.

Az előzőekben ismertetett három megbeszélés mellett nem kötelező jelleggel lehet még egy úgynevezett visszatekintő értekezletet (Retrospective Meeting) is tartani a projekt befejeztével. A résztvevők megbeszélhetik mivel voltak elégedettek és mivel nem, áttekinthetik hogyan teljesítettek a résztvevők, objektív és szubjektív szempontokból egyaránt. A projekt során felmerült hiányosságokra, problémákra megoldásokat, akciókat definiálnak, amelyek a későbbi projekteknél hasonló helyzetekben segítséget nyújthatnak.

A Scrum alkalmazása során három dokumentum keletkezik. Az első a termék teendőlistája (Product Backlog), amely a termék fejlesztésével kapcsolatos feladatokat (történetek) tartalmazza fontossági sorrend meghatározásával. A projekt indulásakor nem kell a teljes feladatot történetekre bontani, általában két futamra való fejlesztést helyeznek el a termék teendőlistájában. Az elvégzendő feladatok tisztázása után a PO kialakítja a soron következő futam teendőlistáját (Sprint Backlog). A Sprint Backlog a Scrum második dokumentuma. Ebben is fontossági sorrendben jelennek meg a történetek. Ezeket a csapat tagjai egyesével, a fontossági sorrend figyelembevételével választják ki. A futam lezárultát követően a PO újból értékeli a történetek fontosságát, esetenként új Story-kat hoz létre, majd ezekből kialakítja a következő fejlesztési időszak teendőlistáját.

A fejlesztési folyamat harmadik dokumentuma az úgynevezett eredmény kimutatás diagram (Burn Down Chart), amelyből van futamra (1. ábra) és teljes fejlesztésre vonatkozó változat is. A diagramban a vízszintes tengely az időt jelképezi, míg a függőleges tengelyen a még hátra levő feladatokhoz szükséges tevékenységek és erőforrások nagysága jelenik meg. Minden elvégzett feladattal a további fejlesztéshez szükséges munka mennyisége csökken. A cél az, hogy a futam végére elfogyjanak a megvalósítandó feladatok. Az ideális haladást egy kontrolvonal jelzi. A PO feladata olyan nagyságú részfeladatok kialakítása, hogy a fennmaradó fejlesztési munka mindig a kontrolvonal alatt legyen. Túl nagy történeteknél ez a módszer nem használható, ezért fontos a kisebb feladatok definiálása. A dokumentumot a Daily Standup-ok során frissítik. A teljes projektre vonatkozó kimutatás diagram a futamhoz készített változathoz hasonló felépítésű, de ebben az esetben a vízszintes tengely egységei futamok.



1. ábra. Futam eredmények kimutatása [13]

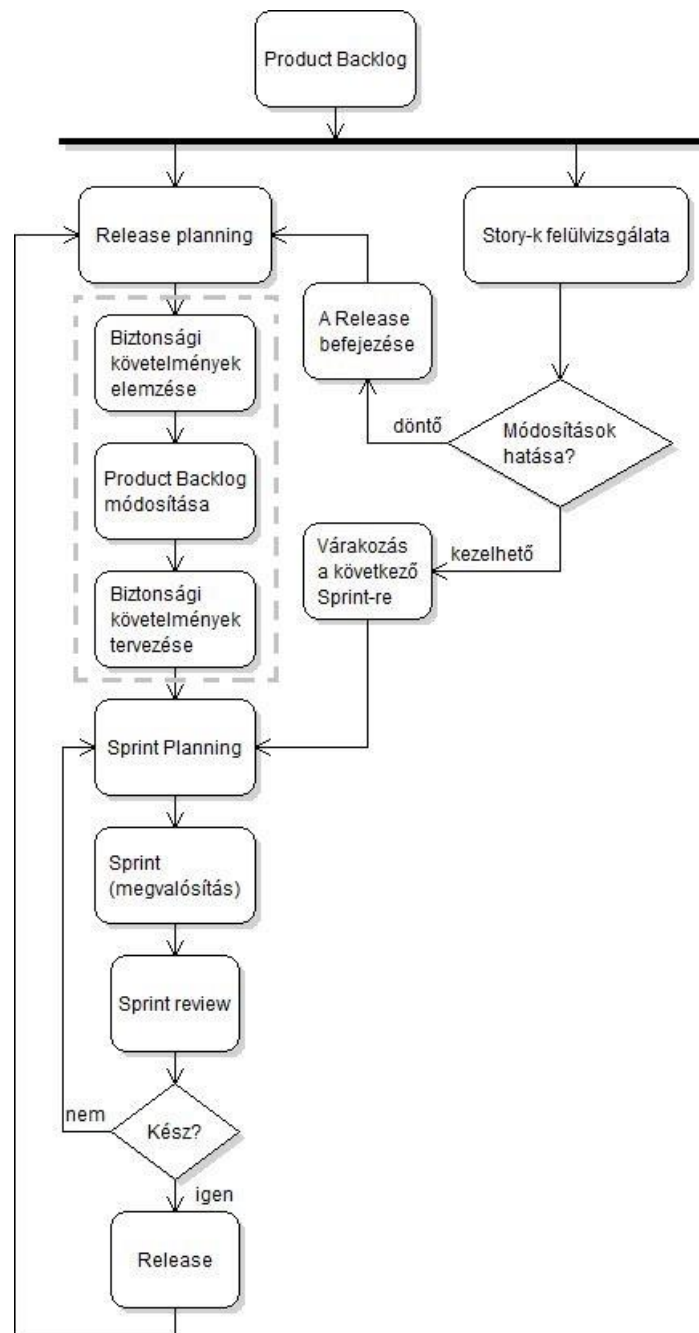
3. Biztonságos Scrum

A Scrum módszert sikeresen alkalmazták számos szoftver létrehozása során jelentősen javítva ezzel a fejlesztési munka hatékonyságát. Megjelenése óta a módszer sokat csiszolódott és fejlődött, valamint néhány hiányosságára is fény derült, ami újabb specifikus változatok kidolgozását eredményezte. Egy ilyen hiányosságként értékelhetjük azt, hogy a módszertan nem ír elő biztonsággal foglalkozó tevékenységeket. Számos területen (pl. web alapú szolgáltatások, hálózati kommunikációt alkalmazó egyéb alkalmazások, stb.) a fejlesztés során kiemelt figyelmet szükséges fordítani a biztonság kérdésére, sőt egyes szoftverek esetében gyakran a biztonságot alapvető minőségi jellemzőnek tekinti a piac. Ezen igény felismerése a biztonsági lépéseket is

integráló Scrum változatok megjelenését eredményezte. Az alábbiakban két ilyen módszert, az S-Scrum-ot és a Secure Scrum-ot tekintjük át.

3.1. S-Scrum

Az S-Scrum-ot (Secure Scrum) [8] eredetileg webes alkalmazások fejlesztéséhez dolgozták ki. A módszer alap gondolata a Scrum bővítése biztonság elemzésével és tervezésével foglalkozó tevékenységekkel. Az S-Scrum folyamatát a 2. ábra mutatja be. Első lépésként itt is a termék teendőlista (Product Backlog) elkészítésével találkozunk, majd ezt követően a folyamat két ágban folytatódik.



2. ábra. Az S-Scrum folyamata

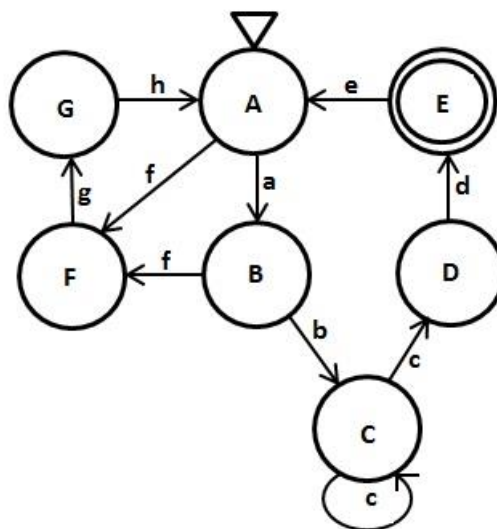
A jobb oldali ág a történetek felülvizsgálatával kezdődik, amely lépés követi a rendszerkövetelmények lehetséges változásait is. Amennyiben a változások hatása oly mértékű,

hogy az aktuális kiadás (Release) nem folytatható, akkor a kiadás befejeződik, és új kiadás tervezését (Release Planning) indítják. Kismértékű változások esetén a módosítások a következő futamtervbe (Sprint Plan) kerülnek.

A bal oldali ág a kiadástervezéssel indul és terméke a kiadástervezési terv (Release Plan - RP), amely egy több futamot magába foglaló magas szintű terv [14]. Ez a terv tükrözi a megvalósítandó funkciókkal kapcsolatos elvárásokat, és segíti a projekt előrehaladásának követését. Kiadás történhet a projekt során, amikor a tervezett részfeladatok elkészülnek, vagy a projekt végén. A kiadástervezési terv elkészítését a biztonsági követelmények elemzése követi. Ez a lépés maga után vonhatja a termék teendőlista módosítását. A biztonsággal kapcsolatos (szaggatott vonallal jelölt rész) utolsó lépése a biztonsági követelmények tervezése, azaz a biztonsági modell kialakítása. Itt épülnek be a kiadásba a biztonsági követelmények elemzésének eredményei.

A továbbiakban a folyamat a Scrum módszertannál megismert módon folytatódik, azaz a futamtervezés (Sprint Planning), a futam és a futamáttekintés következik. A futamáttekintés után, amennyiben elkészült és el lett fogadva az összes történet, akkor kiadásra kerül sor. Egyéb esetekben újabb futamokra lesz szükség. Mivel az S-Scrum középpontjában a biztonság áll, a futamtervezés során a kialakított történetekben figyelembe veszik a biztonsági modellben az adott történetre vonatkozó követelményeket, majd a futamáttekintés során elvégzik a szükséges biztonsági teszteket.

Az S-Scrum módszertan formális modellje a 3. ábrán bemutatott nem determinisztikus véges automatával is leírható. Az ábrán követhetőek a módszer lépései és átmenetei. Az egyes állapotok leírását a 2. táblázat ismerteti, míg az átmeneteket értelmezése a 3. táblázatban szerepel.



3. ábra. S-Scrum automata modellje

2. táblázat. S-Scrum automata modelljének állapotai

Állapot	Leírás
A	Biztonsági követelmények elemzése
B	Biztonsági követelmények tervezése
C	Futam
D	Utolsó futam
E	Kiadás
F	Új követelmények
G	Teendőlista módosítása

3. táblázat 2. S-Scrum automata modelljének átmenetei

Átmenet	Leírás
a	Biztonsági követelmények elemzése kész
b	Biztonsági követelmények tervezése kész
c	Történetek megvalósítva
d	Kész
e	Új kiadás
f	Új követelmények
g	Új követelmények prioritás értékekkel
h	Teendőlista módosítva

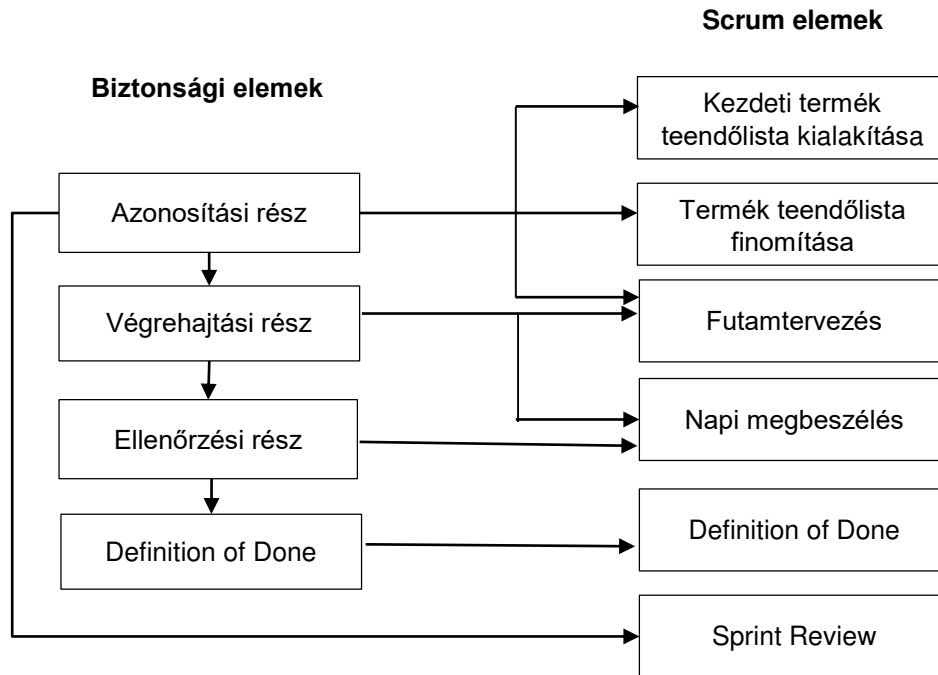
Az S-Scrum nem nevez meg ajánlott technikákat a biztonság elemzésére és tervezésére, a gyakorlatban bármelyik erre a célra kifejlesztett eljárás használható a módszertan alkalmazása során.

3.2. Secure Scrum

A Secure Scrum (SS) [10] a Scrum keretrendszer egy olyan változata, amely kiemelt figyelmet fordít a biztonsággal kapcsolatos problémák kezelésére a teljes fejlesztési folyamat során. A Secure Scrum lehetővé teszi még a nem biztonsági szakemberek számára is, hogy észrevegyék a biztonsági problémákat, bevezessenek biztonsági funkciókat és ellenőrizzék a végrehatást. A Secure Scrum négy komponensből áll:

- Azonosító komponens,
- Implementációs komponens,
- Ellenőrzési komponens,
- Megvalósulási (Definition of Done) komponens.

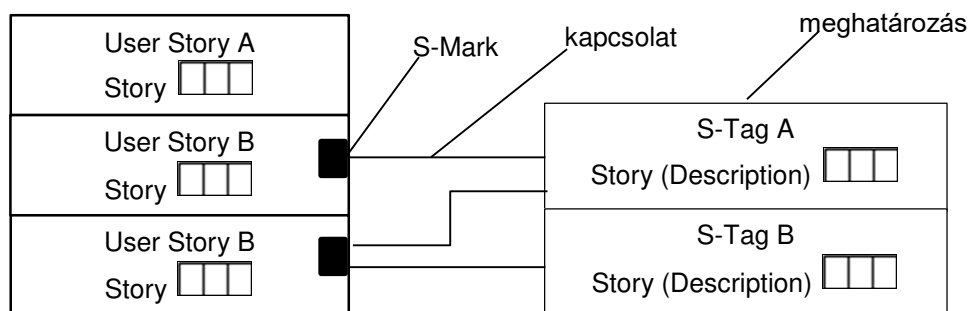
A Secure Scrum által definiált komponensek a standard Scrum folyamat hat szakaszát befolyásolják a 4. ábrán bemutatott módon. Az azonosítási komponens a biztonsági problémák meghatározására, valamint a biztonságot érintő felhasználói történetek azonosítására és jelölésére szolgál.



4. ábra. A Secure Scrum komponensek integrálása a standard Scrum-ba [10]

Ez a komponens a kezdő termék teendőlista kialakítása, a futamtervezés és a Product Backlog finomítása során használatos. Először a megrendelő és a csapattagok rangsorolják a történeteket aszerint, hogy a feldolgozandó adatokhoz való illetéktelen hozzáférés esetén mekkora a veszteségértéke pénzben kifejezve. Ezután értékelik a visszaélési lehetőségeket és rangsorolják azokat kockázatuk szerint. Ebben a fázisban hasznos lehet külső biztonsági szakértő bevonása annak érdekében, hogy a megfelelő kérdések feltevésével és biztonságos felhasználói történetek ajánlásával segítse a csapat munkáját.

Az azonosítást követően a megrendelő és a csapattagok a termék teendőlistában rögzítik a közösen megállapított biztonsági kockázatokat. Ezek dokumentálására a Secure Scrum úgynevezett S-Tag-eket (biztonsági címkéket) használ, amelyek egy-egy biztonsági kockázatot írnak le. Az S-Tag S-Mark-kal (biztonsági jel) jelöli meg azokat a teendőlista elemeket, amelyeknek biztonsági szempontból kockázatot jelentenek. Az S-Tag-eket és S-Mark-okat ún. kapcsolatok kötik össze (ld. 5. ábra). A biztonsági probléma részletes leírása az S-Tag-en segíti a csapatot a biztonsági kockázat megértésében. A biztonsági aggályok külön teendőlista elemekben például felhasználói történetben, helytelen használat/visszaélés-történetben (misuse/abuse story) is meghatározhatók. Egy biztonsági kockázat több teendőlista elemhez is kapcsolódhat. Az S-Mark-ok és S-Tag-ek használatának fontos célja, hogy tudatosítsák a fejlesztőkben az egyes részfeladatokhoz (felhasználói történetekhez) kapcsolódó biztonsági kockázatokat.



5. ábra. S-Tag-ek és S-Mark-ok [10]

Az S-Tagek nemcsak a fejlesztés, hanem az ellenőrzés szakaszában is elősegítik a fejlesztői tudatosságot. Pontosabban azonosítják a szoftver azon részeit, ahol biztonsági ellenőrzés szükséges, és hasznosak az ellenőrzés erőforrás-igényeinek megbecsüléséhez is.

A Definition of Done (DoD) [15] egy ellenőrzési lista, ami rögzíti azokat a feltételeket, amelyek teljesülése esetén egy felhasználói történetet megoldottnak tekinthetünk. A Secure Scrum az ellenőrzésre és a DoD-ra két megoldást is kínál. Abban az esetben, ha az ellenőrzési folyamat teljesíthető ugyanabban a futamban, ugyanazon fejlesztő által, akkor az a DoD része kell, hogy legyen. Amennyiben azonban a fejlesztőnek nincs meg a szükséges tudása az ellenőrzéshez, vagy külső erőforrást, extra tesztelési időt igényel, akkor az ellenőrzés nem lehet része a DoD-nak. Ekkor az ellenőrzésre egy új feladatot hoznak létre, és S-Mark-kal megjelölik azt. Ezen feladatnak kapcsolódnia kell az eredeti S-Tag-hez is. Így a fejlesztő a saját DoD-ját meg tudja határozni az ellenőrzés nélkül, és a jelölésnek köszönhetően a biztonsági kockázat tesztelésére is sor kerül.

Mivel magas szintű biztonságtechnikai ismeretek nem állnak mindig rendelkezésre, ezért külső tanácsadó bevonása is szükségessé válhat. Ez alapvetően három úton lehetséges. A meghívott szakértő tarthat biztonsági témájú képzést, a tanácsadó megoldhatja az érintett feladatrészt, vagy a tanácsadó felkért támadóként teszteli a rendszert.

4. Következtetések

A Scrum széleskörű elterjedése a hatékony erőforrás-kihasználásnak, egyszerű szerkezetnek és a kommunikációra helyezett erős hangsúlynak köszönhető. Biztonságkritikus feladatokat megoldó és folyamatokat támogató szoftverek fejlesztése során az eredményesség és a megkövetelt minőség biztosítása érdekében az alap Scrum folyamatot olyan elemekkel és lépésekkel szükséges kiegészíteni, amelyek a szoftverfejlesztési folyamat szintjén biztosítják azt, hogy a fejlesztő csapat az elvárható legnagyobb gondossági szinten kezelje és értékelje a biztonsági kockázatokat.

Az elsőként bemutatott S-Scrum módszer egyszerű, és az alap módszertanba könnyen beilleszthető megoldást kínál a biztonsági kérdések kezelésére három lépésben összefoglalva a biztonsági kockázatokkal kapcsolatos teendőket. Hátránya, hogy nem határozza meg részletesen, hogy a kapcsolódó elemzési és követelmény tervezési lépéseket milyen technikákkal és hogyan célszerű végrehajtani. Emellett nem fedi le a teljes fejlesztési folyamatot. Ezzel szemben a másodikként ismertetett Secure Scrum sokkal részletesebb útmutatást ad a biztonsági kérdésekkel kapcsolatos teendők végrehajtására, és négy komponensével lefedi a teljes Scrum folyamatot.

Irodalom

- [1] Manifesto for Agile Software Development - 2001. <http://www.agilemanifesto.org/>. [Hozzáférés: 2015.09.12.].
- [2] Highsmith, J.: Messy, exciting, and anxiety-ridden: Adaptive software development, American Programmer, Vol. 10, No. 4 (April), 1997, pp. 23-29.
- [3] Beck, K.: Embracing Change with Extreme Programming, IEEE Computer 32(10), 1999, pp. 70-77.
- [4] Palmer, S.R., Felsing, J.M.: A Practical Guide to Feature-Driven Development. Prentice Hall. 2002.

- [5] Poppendieck, M., Poppendieck, T.: Lean Software Development: An Agile Toolkit, Addison-Wesley Professional, 2003.
- [6] Sutherland, J.V.; Schwaber, K.: Business object design and implementation. In OOPSLA '95 workshop proceedings, The University of Michigan, 1995, p. 118.
- [7] The History of Scrum
<http://www.scrumguides.org/history.html>. [Hozzáfézés: 2015.09.12.]
- [8] Mougouei, D., Sani, N.F.M., Almasi, M.M.: S-Scrum: a Secure Methodology for Agile Development of Web Services, World of Computer Science and Information Technology Journal, Vol. 3, No. 1, 2013, pp. 15-19.
- [9] Wäyrynen, J., Bodén, M., Boström, G.: Security Engineering and eXtreme Programming: An Impossible Marriage?, in Extreme Programming and Agile Methods - XP/Agile Universe 2004 vol. 3134, C. Zannier, H. Erdogmus, and L. Lindstrom, Eds., ed: Springer Berlin / Heidelberg, 2004, pp. 152-195.
- [10] Pohl, C., Hof, H.J.: Secure Scrum: Development of Secure Software with Scrum, arXiv:1507.02992v1 [cs.CR] 10 Jul 2015, <http://arxiv.org/pdf/1507.02992.pdf>. [Hozzáfézés: 2015.09.12.]
- [11] Scrum Effort Estimation and Story Points
<http://scrummethodology.com/scrum-effort-estimation-and-story-points/> [Hozzáfézés: 2015.10.26.]
- [12] Scrum Story Points
<http://www.powerhouse360.com/2012/03/story-points/> [Hozzáfézés: 2015.10.26.]
- [13] Sprint Burndown Reports / Charts
http://www.scrum-institute.org/Sprint_Burndown_Reports.php [Hozzáfézés: 2015.10.26.]
- [14] Scrum Release Planning
http://www.scrum-institute.org/Release_Planning.php [Hozzáfézés: 2015.09.28.]
- [15] Definition Of Done
<http://guide.agilealliance.org/guide/definition-of-done.html> [Hozzáfézés: 2015.10.26.]

SZIMULÁLT VILÁGOK

SIMULATED WORLDS

Nagy Péter*

Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar,
Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

Turing-gépek
szimuláció
fizika

Keywords:

Turing-machines
simulation
physics

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 19.
Átdolgozva 2015. október 27.
Elfogadva 2015. november 1.

Összefoglalás

Az első fejezetben rögzítjük a modern tudomány alapeszményét és tárgyaljuk az univerzális Turing-gépet, mint a klasszikus fizikai világ tökéletes szimulátorát. Ezután felvázoljuk a virtuális valóság megjelenítését számítógépeken és társadalmi hatásait, majd konkrét (saját kutatási) példákon keresztül bemutatjuk fizikai szimulációk jelentőségét. Az utolsó fejezetben elmélkedünk a szimulált univerzum lehetőségéről.

Abstract

The Universal Turing machine as perfect simulator of classical physics. The relevance of physical simulations. Virtual reality on computers. Considerations about simulated universes.

1. Matematikai és fizikai valóság

A természettudományok által vizsgált *menyiségek* az anyagi világ olyan releváns tulajdonságai, amelyek számszerűen jellemezhetők, ezért a természettudományok a matematika nyelvén beszélnek. A tudomány modern eszménye, hogy pontos matematikai összefüggést teremtsen az adatok között, mely összefüggések tudományos értékét az adja, hogy a valóság valamilyen lényegi tulajdonságát teszik megfoghatóvá számunkra. Ezt az eszményt nagy gondolkodók, filozófusok, matematikusok és fizikusok már régóta hiszik és fogalmazzák meg különböző formában.

Kettőt idézünk közülük:

„...bizonyosnak mondták, hogy az istenek ítélezései messze meghaladják az emberi felfogást, s bizonyára már ez egymagában azt okozhatta volna, hogy az igazság mindörökké rejtve maradt volna az emberiség előtt, ha a matematika, amely nem a célokkal foglalkozik, hanem a dolgok lényegével és tulajdonságaival, az igazság más normáját meg nem mutatta volna az embereknek.”

(Spinoza) [1]

”A matematikai szellem tanít meg bennünket arra, hogy felismerjük az igazi, mély analógiát, melyet a szem nem lát, csak az ész sejt. A matematikai nyelv nélkül a dolgok belső analógiájának legnagyobb része ismeretlen maradt volna előttünk örökre.”

(Poincare) [2]

A következőkben egyszerű példával illusztráljuk a problémát, majd erre alapozva absztrakt definíciókat és tételeket fogalmazzunk meg, amelyek jelenlegi számítógépes, valós és virtuális világunk alapjait jelentik.

A példa négyezer éves: mekkora az egységoldalú négyzet átlója? A válaszhoz az első lépés egy nagy jelentőségű matematikai állítás, a Pitagorasz-tétel:

$$a^2 + b^2 = 1^2 + 1^2 = 2 = c^2 \rightarrow c = \sqrt{2}$$

* E-mail cím: nagy.peter@gamf.kefo.hu

(A Pitagorasz-tétel igen látványos és ötletes bizonyítása az [3] linken található.)

A tétel mutatja, hogy azt a számot (a „négyzetgyök 2” számot) keressük, amelyet önmagával megszorozva 2-t kapunk. Ez nagyon különös szám! Pitagorasz tanítványa Hipposzus megmutatta, hogy olyan végtelen jegyű tört, amely nem állítható elő két egész szám hányadosaként, azaz irracionális szám. (Pitagorasz, aki a számok szépségének bűvöletében élt, megölette Hipposzust, hogy ez az undok tulajdonság titokban maradjon).

Próbáljuk ezt a különleges számot „méréssel” meghatározni, azaz mérjük hozzá a négyzet átlójához az egységnyi hosszúságú tekintett zsineget (amivel a négyzet oldalait kijelöltük). Mivel a hossz nem egész, marad kicsiny, egységnél rövidebb rész, ehhez mérjük hozzá a félbe hajtott egységnyi hosszúságú zsineget és nézzük meg ráfér-e. Az újabb maradékokkal ismételjük ezt az eljárást minden lépésben újra és újra félbehajtva a madzagot. Mindig azt jegyezzük fel, hogy az aktuális zsineghossz ráfér-e(1), vagy sem (0), így kapjuk, hogy:

$$\sqrt{2} = 1,414... = \left(1 \cdot 1 + 0 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{1}{4} + 1 \cdot \frac{1}{8} + 0 \cdot \frac{1}{16} + 1 \cdot \frac{1}{32}\right) + \dots = \frac{32+8+4+1}{32} + \dots = \frac{45}{32} + \dots = 1,40625 + \dots$$

Minél több mérési lépést (félbehajtást) teszünk, annál pontosabban közelítjük a keresett számot (de vajon hányszor tudjuk félbehajtani a zsineget?!).

A fenti „mérés” lényegileg egy szisztematikus eljárás, ún. *algoritmus*. Algoritmuson olyan megengedett lépésekből álló módszert, utasítássorozatot, részletes útmutatást, receptet értünk, amely adott, konkrét probléma megoldására alkalmas. Az „algoritmus” kifejezés a bagdadi arab tudós, al-Hvárizmi (Abu Dzsafar Muhammad bin Múza al-Hvárizmi, élt kb. 780-tól kb. 845-ig, Al-Khvorizmi, Al-Khorizmi stb.) nevének eltorzított, rosszul latinra fordított változatából ered [4].

Adhatunk más jellegű ún. *rekurzív* algoritmust is a keresett szám közelítésére:

$$x_{i+1} = \frac{1}{2} \left(x_i + \frac{r}{x_i} \right) \Rightarrow x_i \rightarrow x^* = \sqrt{r} \quad (\text{pl. } x_0=1).$$

Ez esetben is a rekurzív lépések számának növelésével egyre több jegy pontossággal kapjuk meg a keresett számot.

A fenti illusztráció alapján érdemes néhány általánosított fogalmat definícióval rögzíteni:

Algoritmus: szisztematikus, egyértelmű és véges művelet sor.

Kiszámítható számok: olyan valós számok, amelyek algoritmussal előállíthatók (minden ilyen szám esetén kell léteznie egy algoritmusnak, amely a 0-hoz a szám első jegyét rendeli, az 1-hez a második jegyét, ...).

Jelprocesszor: . Az algoritmus fizikai megvalósítása: olyan fizikai rendszer, amelynek állapotváltozóit felbonthatjuk *bemeneti* (a feldolgozás kezdeti időpontjában megfelelően előállítható) *változó*kra és *kimeneti* (a rendszer meghatározott dinamikai változása után mérhető) *változó*kra.

Programozható jelprocesszor: a bemenet tovább osztható a „valódi” kezdeti értékeket jelentő *bemenetre* és a rendszer időváltozását (dinamikáját) megszabó *programra*.

Processzási képesség: az adott fizikai rendszer által kiszámítható függvény-halmaz.

Alan Turing angol matematikus megmutatta, hogy a számítást végző fizikai rendszer bővítése, komplexitásának növelése nem sokáig gazdagítja a kiszámítható függvények körét; igen gyorsan eljutunk ahhoz a „legegyszerűbb” processzorhoz, amely ki tud számítani minden kiszámítható függvényt.

A Turing-gép szerkezeti elemei:

- megszámlálható (tehát indexelhető) lehetséges belső állapot,
- léptethető »végtelen« hosszúságú bináris adatszalog (memória),
- bináris író-olvasó fej (input-output kommunikáció),
- utasítás-lista (dinamika).

Az utasítás-lista szintaktikája:

[aktuális belső állapot; input bit] → [új belső állapot; output bit; adatszalog léptetés]

Turing-gép sorszáma: az adott Turing-gép utasítás-listáját átkonvertálhatjuk bináris számokba, majd sorfolytonosan leírva egy hosszú bináris számot kapunk. Ezt nevezzük a Turing gép sorszámának

Bár léteznek nem-algoritmizálható problémák és nem-kiszámítható számok, de MINDEN kiszámítható számhoz létezik algoritmus és minden algoritmus megvalósítható egy konkrét Turing-géppel.

Tétel: MINDEN kiszámítható függvény kiszámítható a megfelelő utasítás-listával adott Turing-géppel.

Univerzális Turing-gép: egyetlen, rögzített utasítás-listával rendelkező Turing-gép, amely tetszőleges Turing-gép működését szimulálja, ha bementére a kérdéses gép sorszámát visszük.

Számítógép: az univerzális Turing-gép elektronikus megvalósítása.

Összefoglalva:

Minden:

- *algoritmizálható probléma megoldható,*
- *kiszámítható szám kiszámítható,*
- *klasszikus fizikai „valódi” rendszer szimulálható*
- *klasszikus (pl. elektronikus) számítógépen, azaz tökéletes eszköze a megismerési folyamatnak.*

Ezekre az elvekre alapozva hozta létre Neuman János az első számítógépet és számítógépes világunk, ma is ezekre alapozva működik.

A számítógép tehát a klasszikus fizikai világ tökéletes szimulátora. A 3. fejezetben néhány önkényesen (a saját kutatási területeimről) választott példán illusztrálom a számítógépes szimulációk jelentőségét és hatékonyságát a fizikai kutatásokban, előtte azonban érdemesnek tűnik egy érdekes gondolati kitéréssel a számítógépeknek a virtuális valóságban betöltött szerepét is megvizsgálni.

2. Virtuális valóság

Nem szükséges és célszerű mindig „szigorúan” ragaszkodni a valóság racionális leképezéséhez (vagy, mert a priori módon kívül esik a racionalitás hatókörén, vagy, mert aktuálisan még nem vihető végig racionális úton), sokszor hatékonyabb a nem-racionális megközelítés (esztétika, morál, politika, hit stb.) Erre mindnyájan ismerünk példákat, a gyermekmesék, a zene és a képzőművészet világa sem közelíthető racionálisan. A képzőművészeti alkotások akár homlokegyenest ellenkező értelmezést is nyerhetnek. (pl. Wagner Sándor: Dugovics Titusz önfeláldozása, 1853),(magyar és török megközelítés: ki rántott le kit?!).



Az emberi gondolkodásban és lélekben permanensen jelenlevő és termelődő igény van a képzelte, de a valósághoz kapcsolódó, azzal összefonódó történésekre, történetekre:

- mitológia (pl. Prométheusz tüzet lop),
- regék (pl. Alexandrosz látomása „Bátraké a szerencse.”),
- mondák (pl. csodaszarvas),
- mesék (pl. Mátyás király),
- költészet (pl. Arany János: Walesi bárdok),
- regények (pl. Balzacot egyszer asztalára borulva, sírva találták barátai. „Mi történt?” kérdezték megrendülve, mire az író zokogva felelte: „Most halt meg Goriot apó...”).

A modern kor minden bizonnyal a klasszikus hagyományok fantáziadús folytatásaként új világokat is teremtett:

Oxford (1930-as 40-es évek): az Inkling-ek társasága forradalmasítja a „mesemondás technológiáját”, teljes virtuális világokat teremtenek (történelemmel, nyelvészettel, politikával, kultúrával):

C. Lewis: Narnia,

J. R. R. Tolkien: Középfölde (amerikai kiadás 1958., mi áll a siker hátterében?)

A számítógépek itt is új dimenziót nyitottak, csak felsorolva megemlítünk néhányat:

1974: Dungeons & Dragons

az első komplex, kereskedelmi szerepjáték: csapatok, versenyek.

1984: Islands of Kesmai

az első szemi-grafikus számítógépes szerepjáték.

1991: Neverwinter Nights

az első sok-felhasználós grafikus számítógépes szerepjáték.

1997: Ultima Online és Everquest

MMORPG (Massively Multiplayer Online Role-Playing Game).

2000: World of Warcraft

az első MMORPG játék, amely átlépi az 1 milliós határt.

2003: Second Life és Entropia Universe

új dimenzió: a virtuális és a valódi világ integrálása!!!

A számítógép virtuális világa nagyon hamar integrálódott a valóságba:

- A valódi gazdaság szereplői megjelennek a virtuális világokban áruikkal és szolgáltatásaikkal: pl. McDonalds (a játékban betérünk egy pizzériába, rendelünk pizzát és nemsokára tényleg csenget a pizza-futár), Philips Design, Wired, Cnet, Mark & Spencer, Reuters és Index (magyar) stb.
- Valódi nagykövetségeket nyitottak a virtuális világokban (első a Svéd Nagykövetség volt a Second Life-ban 2005-ben, amelyben útlevél ügyeket lehetett intézni).
- Virtuális mulatók, szexuális szolgáltatások megjelenése (az FBI is érdeklődik...).
- Egyetemek: Harvard, New York University, New Oxford valós képzési lehetőségek.
- 2006-os Nobel-díj estélyen személyes beszélgetések, Entropia Universe (Mindark)

Ez a összefonódás komoly következményekkel jár és hasznossága mellett súlyos problémákat is felvet. Néhány következmény:

- Kísérleti szociológia, ökológia, ökonómia megvalósítási lehetősége (pl. ARDEN).
- Avatar és virtuális javak kereskedelme (IGE, Ebay).
- Bérjátékosok megjelenése (mintegy 80 jüan = 1800 forint napszám).
- MMORPG bevételek 2005-ben meghaladták a 2,5 milliárd USD-t (Norrath-nak az Everquest virtuális országának nagyobb a GDP-je, mint Bulgáriáé), (adótörvények vannak készülöben a virtuális (?) jövedelmekre!).

A legsúlyosabb következmény talán a szenvedélyes játékosok pszichikai változása, ami komoly viselkedési zavarokra is vezethet. Az MMORPG játékosok:

- 46 %-a ugyanolyan értékesnek tartja a játék során kialakult kapcsolatokat, mint a mindennapi életben levőket.
- 21 %-a fontosabbnak, sikeresebbnek véli a játékban megélt életét, mint a „hétköznapi” életét.
- 14 %-a több aktív időt tölt a virtuális világban, mint a „valódi” világban.

A XXI. század elején tehát nem csupán azt jelenthetjük ki, hogy a számítógépes virtuális valóság fontos része az életünknek, hanem, hogy sokszor igazából már keveredik a valós világgal, néha szinte nem is különíthető el tőle.

3. Szimulációk a fizikában

A számítógépek a fizika számára is új dimenziót nyitottak, létrejött a *számítógépes kísérleti fizika*, mint teljesen újszerű vizsgálati módszer. A számítógépes szimulációk segítségével olyan modellekről tudunk releváns kvantitatív információkat nyerni, amelyek korábban egyáltalán nem, vagy csak kvalitatív módon voltak tárgyalhatók. A fizika számos területén használnak szimulációkat a tudományos kutatás eszközeként, e helyen két olyan példát mutatok be, amelyeken magam is intenzíven alkalmazom.

3.1. Káoszelmélet

A kaotikus rendszerek vizsgálata az egyik legfontosabb és legismertebb példája a számítógépes kísérleti fizikának. Az alábbiakban bemutatott szimulációkat a [5] honlapról ingyenesen letölthető *Dynamics Solver* programban készítettem.

Azokat a rendszereket, amelyek időbeli változását (dinamikáját) egyértelmű szabályok határozzák meg, *determinisztikus rendszereknek* nevezzük. A *káosz* determinisztikus rendszerekben megjelenő olyan mozgás (változás), amely:

- *szabálytalan, nem ismétli önmagát, nem periodikus,*
- *előrejelezhetetlen, érzékeny a kezdőfeltételekre, hosszútávon valószínűségi leírás,*
- *határozott struktúrájú, a fázistérben: fraktál szerkezetű.*

Folytonos időváltozójú dinamika esetén a káosz feltétele, hogy a fázistér legalább 3 dimenziós és legalább egy vezérlőfüggvénye nemlineáris jellegű legyen.

Egyszerűen megvalósítható kaotikus mechanikai modellként tekintünk egy *bonyolult alakú tálban mozgó golyó dinamikai viselkedését* [6]. A tál felületi pontjainak $z(x,y)$ magasságát megadó függvényt gravitációs potenciálként tekinthetjük, adott $V(x,y)$ potenciálban mozgó (egységnyi tömegű) test mozgásegyenletei könnyen felírhatók:

$$\ddot{x} = -\frac{\partial V}{\partial x} - \alpha \dot{x}, \quad \ddot{y} = -\frac{\partial V}{\partial y} - \alpha \dot{y}$$

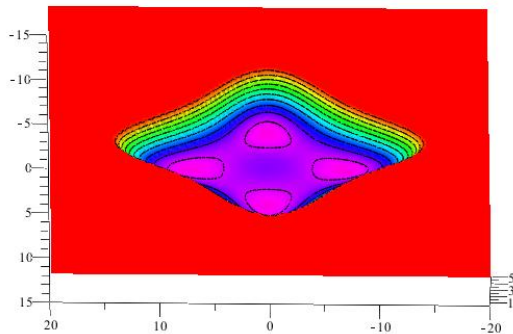
Az egyenletekbe beillesztettünk egy súrlódásos (disszipatív) erőt is α súrlódási tényezővel, $\alpha=0$ érték esetén a rendszer súrlódásmentes (konzervatív). Sebességváltozók bevezetésével alakítsuk az egyenleteket a szokásos elsőrendű differenciálegyenlet-rendszerre:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= f_1(x, y, u, v) = u \\ \dot{u} &= f_2(x, y, u, v) = -\frac{\partial V}{\partial x} - \alpha u \\ \dot{y} &= f_3(x, y, u, v) = v \\ \dot{v} &= f_4(x, y, u, v) = -\frac{\partial V}{\partial y} - \alpha v \end{aligned} \right\}$$

A tál z magasságának x és y függését az alábbi (széles függvényosztályból ad-hoc paraméterekkel választott) függvényvel közelíthetjük, amely egyúttal (ha a tálat vízszintes felületre helyezzük) a V gravitációs potenciált adja (x, y és V centiméter egységben értendő):

$$z(x, y) = V(x, y) = 10^{-4} (x^4 + 9y^4 + 26x^2y^2 - 100x^2 - 300y^2 + 5000)$$

Fontos megjegyezni, hogy a fenti potenciál esetén a tál legmélyebb része nem a közepén van, hanem a tál négy „csúcsa” közelében, tehát ezek jelentik az energia-minimumokat, azaz a golyó lokális stabil egyensúlyi helyzeteit. A fenti potenciálú tál esetén a minimumhelyek rendre $(x_1=0; y_1=4,0825)$, $(x_2=0; y_2=-4,0825)$, $(x_3=7,0711; y_3=0)$ és $(x_4=-7,0711; y_4=0)$.



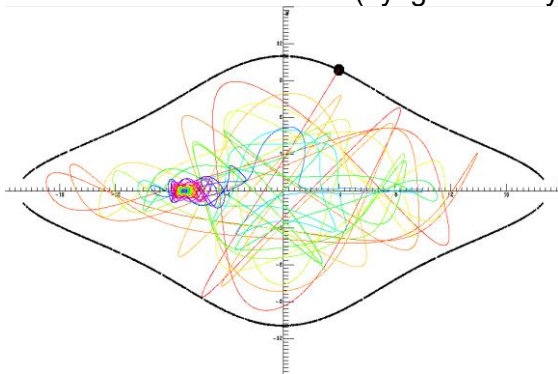
(a) MAPLE megjelenítés



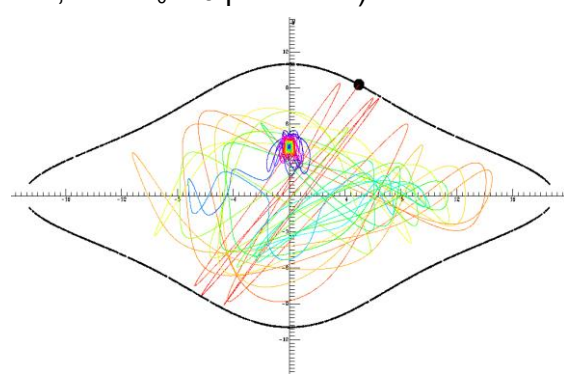
(b) kép egy hasonló alakú tálról

3.1.1. ábra.

Az alábbi ábrán a tálban súrlódásos mozgást ($\alpha=0.005$) végző golyó szimulációit mutatjuk be két különböző kezdeti feltételből (nyugalmi helyzetből, a tál $E_0=10$ pereméről) indítva.



(a) $(x_0=4; y_0=9.86)$

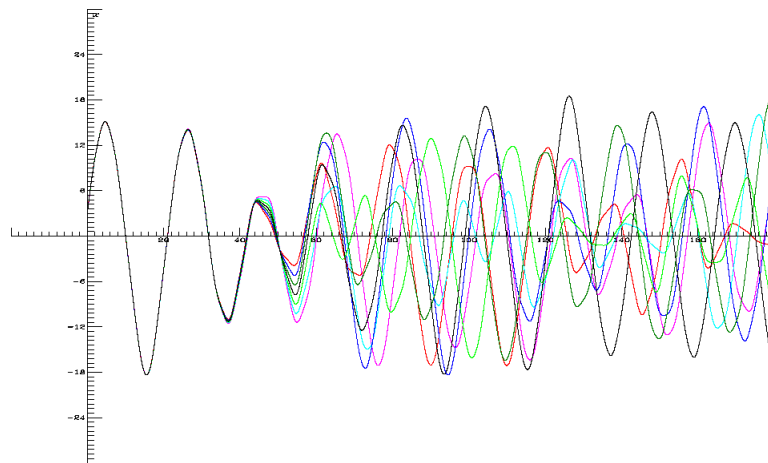


(b) $(x_0=5; y_0=9.2796)$

3.1.2. ábra. A tálban súrlódásosan mozgó golyó ($E_0=10$).

Két fontos észrevételt tehetünk:

- (1) A golyó mozgása teljesen véletlenszerű, kaotikus.
- (2) A két közeli pontból indított golyó igen rövid idő után már teljesen eltérő pályán mozog, azaz a mozgás roppant érzékeny a kezdőfeltételre.

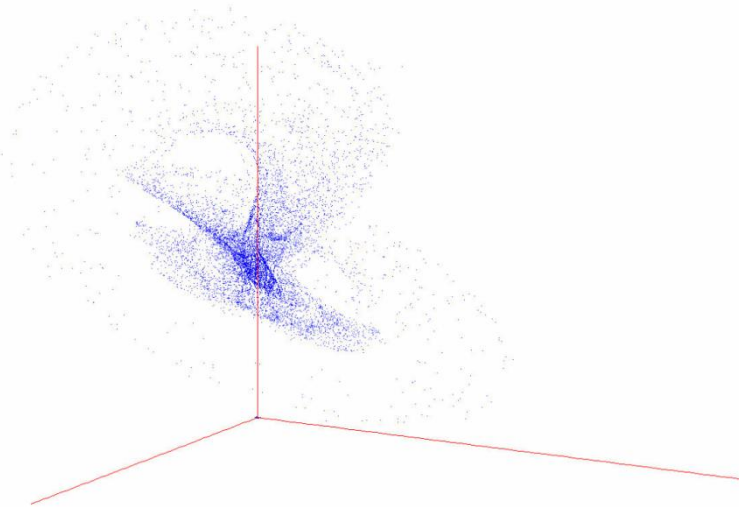


3.1.3. ábra. Fáklyadiagram $E=10$, $y_0=5$, $v_0=0$ és 7 különböző x_0 kezdőfeltétel mellett.

A káosz egyik legalapvetőbb vonása a kezdőfeltételekre mutatott extrém érzékenység, amelyet legszemléletesebben az úgynevezett *fáklya-diagrammon* mutathatjuk be. A diagramon különböző, egymáshoz nagyon közeli kezdőfeltételekből indított mozgások valamelyik jellemzőjét (például a helykoordináta egyik komponensét) ábrázoljuk az idő függvényében. A tipikus fáklya-diagram valóban fáklya alakra emlékeztet: bizonyos ideig a különböző mozgások együtt haladnak, később azonban drasztikusan szétválnak, és egy idő után jól látszik, hogy teljesen lehetetlen előrejelezni a golyó mozgását.

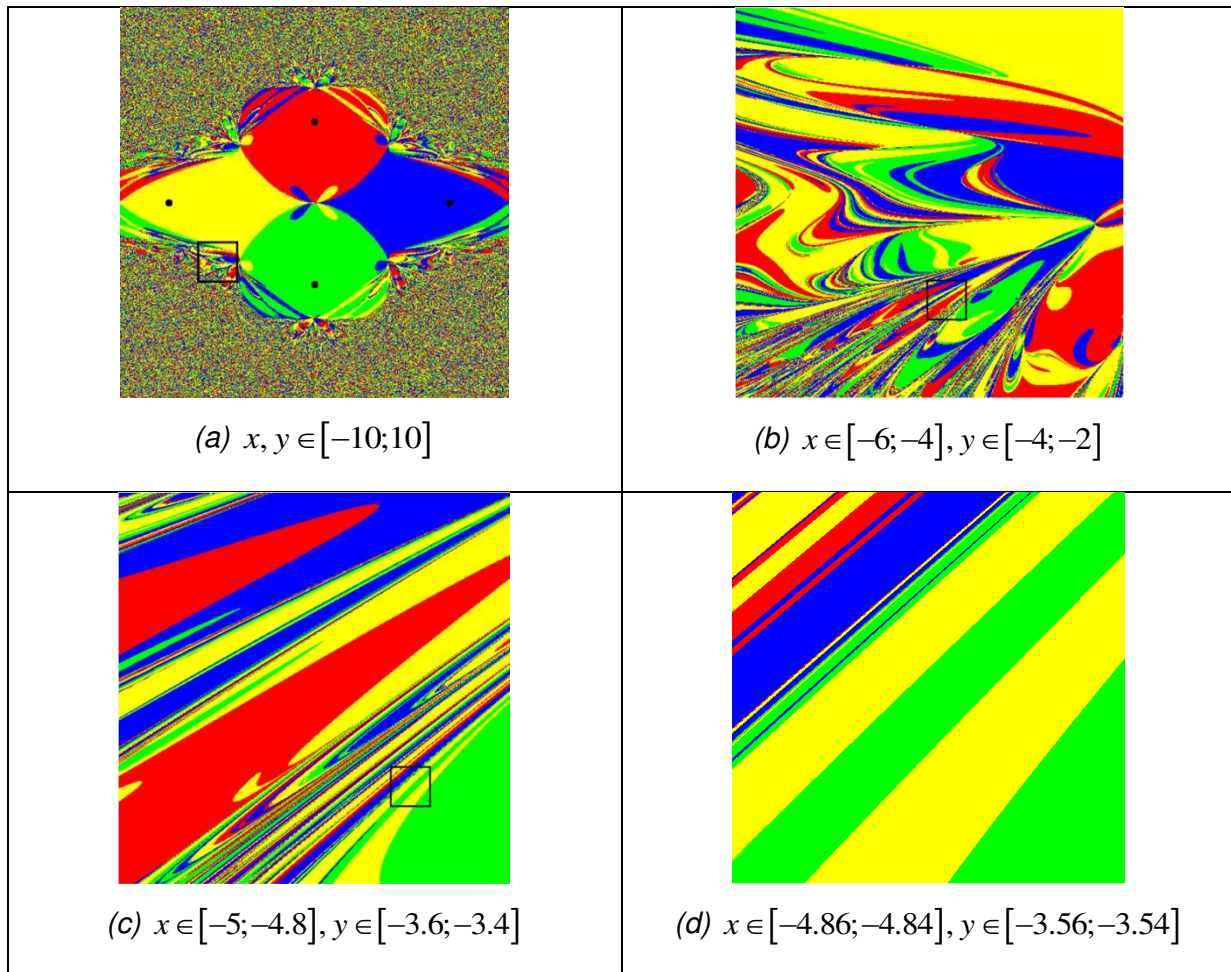
A fenti potenciállal adott tálban történő súrlódásmentes mozgás x - t grafikonját 7 különböző, de egymáshoz nagyon közel eső ($x_0=2.97, 2.98, 2.99, 3.00, 3.01, 3.02$ és 3.03) kezdőfeltételekkel indítva ábrázoltuk (3.1.3. ábra). Látszik, hogy $t=50$ időpontig a grafikonok együtt mozognak, majd $t=50$ után markánsan szétválnak. A mozgás tehát csak kb. 50 időegységig jelezhető előre. Ennél hosszabb időkre az adható meg, hogy milyen valószínűséggel kerül a mozgó test adott állapot környezetébe. Mivel a bonyolult tálban mozgó golyó konzervatív rendszer, így az x értéke csak az E paraméter által meghatározott értékeken belül mozoghat, ezért a fáklya nem nyílik teljesen szét.

A kezdeti feltételekre való extrém érzékenységet még jobban szemlélteti a „fáziscsepp szétterjedése” jelenség, amely azt mutatja be, hogy egy dinamikai rendszer fázissterében kijelölt kicsiny méretű „fáziscseppjében” levő különböző kezdeti feltételeket jelentő fázispontok miként távolodnak el egymástól az időfejlődés során. Az alábbi ábrán az látható, hogy a híres Lorenz-modell 3 dimenziós fázissterének origója közelében felvett parányi fáziscsepp belsejében levő 10000 kezdőfeltételt reprezentáló fázispont hogyan terjedt szét 25 időlépés alatt. (A [7] linken megtekinthető a Dynamics Solverben készített szimuláció alapján készült videó.)



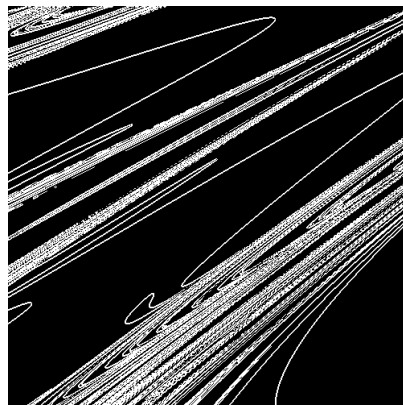
3.1.4. ábra. „Fáziscsepp szétfolyás” a Lorenz-modellben.

Visszatérve a 3.1.2. ábrához megállapíthatjuk, hogy a fizikai szemléletnek megfelelően a trajektóriák kaotikus mozgás után valamelyik fentebb megadott minimumhelybe tartanak. Az ilyen típusú mozgást tranziens káosznak nevezzük: a rendszer eleinte kaotikus, de végül valamilyen periodikus mozgáshoz, vagy nyugalmi helyzethez jut el, tehát a káosz csak véges időtartamú. Esetünkben a kaotikus mozgás attraktorai a négy (energia) minimumhely által meghatározott nyugalmi helyzetek. Térképezzük fel a tranziens káosz négy attraktorának (a tál 3.1.1 (a) ábrán látható négy gödrének) vonzási tartományait a Dynamics Solver programmal. A négy attraktorhoz különböző színeket rendelünk és a térkép minden pontja olyan színt kap, mint a pontból kezdősebesség nélkül indított golyó végállapot-gödre (amelyben végül megáll). A négy attraktor színkódja rendre: ($x_1=0; y_1=4,0825$) attraktor piros, ($x_2=0; y_2=-4,0825$) zöld, ($x_3=7,0711; y_3=0$) kék és ($x_4=-7,0711; y_4=0$) sárga, az (a) ábrán a kis fekete karikák jelzik az attraktorokat (gödröket).



3.1.4. ábra. A tál vonzási tartományai a Dynamics Solver program segítségével ($\alpha = 0,01$ súrlódási együttható, 500×500 felbontás, nulla kezdősebességgel indítva).

A vonzási tartományok ún. fraktálgeometriát mutatnak, amely leginkább azzal a furcsa, szokatlan tulajdonsággal illusztrálható, hogy a tartományok határának dimenziója nem egész szám (jelen esetben 1 és 2 közé esik, miként az alábbi ábrán érzékelhető) [8].



3.1.5. ábra. A 3.1.4.(c) ábrán látható tartomány vonzáshatárai.

3.2. Komplex rendszerek

A komplex rendszer fogalmát eredendően a fizikában vezették be olyan rendszerekre, ahol az alkotóelemek nagy száma és a közöttük lévő kölcsönhatás révén a rendszer globális

viselkedése az egyes elemekétől lényegesen eltérő sajátosságokat mutat. Másképpen fogalmazva: az ún. kooperatív viselkedés miatt az egész több mint részeinek összege.

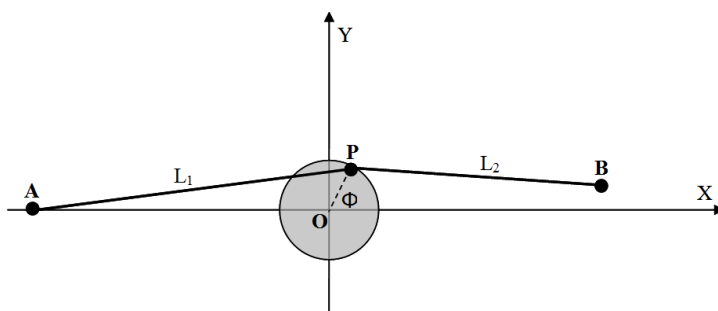
A komplex rendszerek fogalma azonban napjainkra interdiszciplinárissá alakult, a tudomány számos területén megjelennek olyan kölcsönható rendszerekben, ahol az egyes egyedek valamilyen optimális állapot elérésére törekednek. Ilyen típusú viselkedés megfigyelhető a gazdaságban, a szociológiában, a biológiában vagy fizikai rendszerekben is, ahol ugyan a kölcsönható elemeket (ágenseket) eltérő módon definiálják, de hasonló korrelatív viselkedésük a háttérben univerzális törvényeket sejtet. Ezekben a rendszerekben a komplexitás az egyszerre jelenlévő különböző tényezők eredő hatásaként jelenik meg.

A komplex rendszerek igen széles modell-osztálya írható le az alábbi tulajdonságokkal:

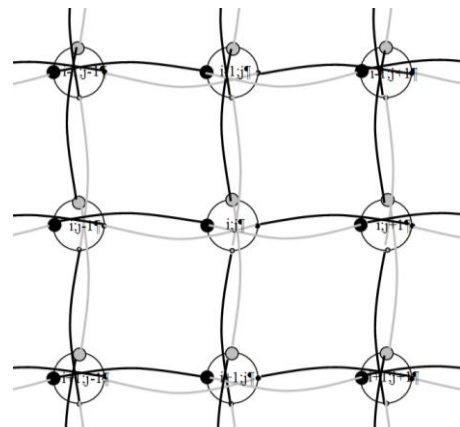
- azonos típusú, véges sok lehetséges állapottal rendelkező ágens (elemet) tartalmaznak,
- az ágensek száma igen nagy (termodinamikai határesetben végtelen),
- az ágensek egy meghatározott topológiában (többnyire valamilyen rácsstruktúrában) helyezkednek el,
- az ágensek között *lokális* (rövidtávú „szomszéd-szomszéd”) *kölcsönhatások* vannak,
- létezhetnek a rendszer egészét (azaz minden ágens) érő *globális* (külső) *hatások*,
- az ágensek szintjén *véletlenszerű állapotváltozások* (fluktuációk) történnek.

A fenti tulajdonságokkal bíró ún. *Potts-modell* számos különböző tudományterületen használatos, mint pl. fizika (mágnesek, gázok, rugalmas testek, ...), kémia (oldatok, autokatalitikus reakciók, ...) és humántudományok (szociológia, makrogazdasági folyamatok,...).

A *katasztrófaelmélet* olyan determinisztikus rendszerek leírásával foglalkozik, amelyekben egy vagy több paraméter folytonos, kicsiny változtatása a rendszer állapotában hirtelen, ugrásszerű, nagymértékű változást hoz létre. A katasztrófajelenség szemléltetésére és tanulmányozására alkotta meg az 1970-es években E. C. Zeeman a nevét viselő katasztrófagépet (3.2.1. (a) ábra).



(a) A Zeeman-féle katasztrófagép.



(b) Egy lehetséges Zeeman-kristály

3.2.1. ábra.

Egy új, korábban nem vizsgált modell-osztályt alkottunk meg [9] által, hogy a Zeeman-gépeket hálózatba kötöttük, legegyszerűbb topológiaként négyzetrács hálózatba. Bármely (i;j) ágens (Zeeman-gép) pillanatnyi állapotát (helyzetét) jellemezzük egy szöggel, például a kis fekete ponttal jelölt rögzítési hely $\Phi_{i,j}$ szögét a jobbra mutató iránnyal. Érdekes dinamikához jutunk, ha a

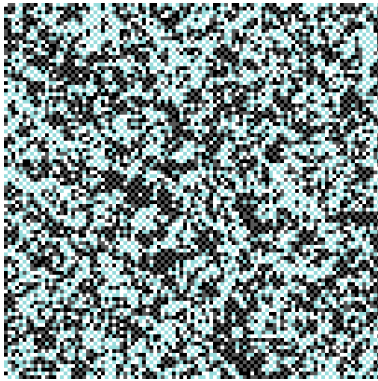
$\Phi_{i,j}$ szögváltozóknak csak *diszkrét* értékeket engedünk meg, például legyen csak négyértékű

$$\Phi_{i,j} \in \left\{ 0; \frac{1}{2}\pi; \pi; \frac{3}{2}\pi \right\}.$$

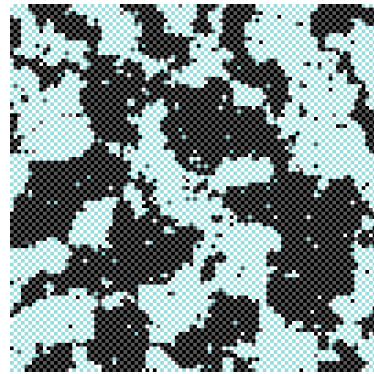
Kézenfekvő, hogy a Zeeman-hálózat az alfejezet elején felvetett modell-osztályra jellemző első négy tulajdonsággal már rendelkezik, az utolsó kettőt pedig heurisztikus módon illeszthetjük be a modellbe. A globális hatást úgy, hogy a potenciális energiába teszünk be megfelelő $H(\Phi)$ új tagot olyan formában, hogy az energiaminimum elvét követve a külső térrel erősítő („vonzó”) kölcsönhatásban levő állapotok csökkentsék, a gyengítő („taszító”) kölcsönhatásban levő állapotok növeljék az energiatag értékét. A fluktuációt pedig az ún. *Boltzmann-faktor* beillesztésével vihetjük a modellbe. Az így kapott sztochasztikus Zeeman-hálózat modellt *Zeeman-kristálynak* neveztük el (3.2.1. (b) ábra).

A Zeeman-kristály modell szimulációját *NetLogo* programban valósítottuk meg. A NetLogo ágens alapú komplex rendszerek szimulációjára kifejlesztett ingyenes, barátságos programozási környezet, amely telepítő fájlja letölthető a [10] honlapról.

Az alábbiakban a szimulációk néhány eredményét mutatom be.



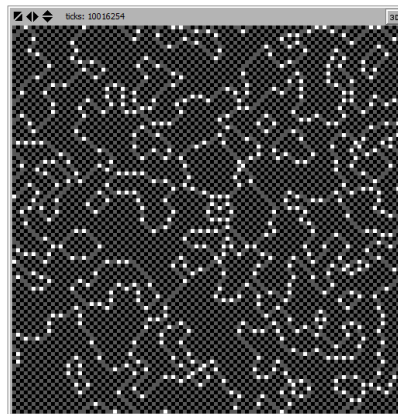
(a) A kritikus hőmérséklet felett



(b) A kritikus hőmérséklet alatt

3.2.2. ábra. Fázisátalakulás a Zeeman-kristály modellben.

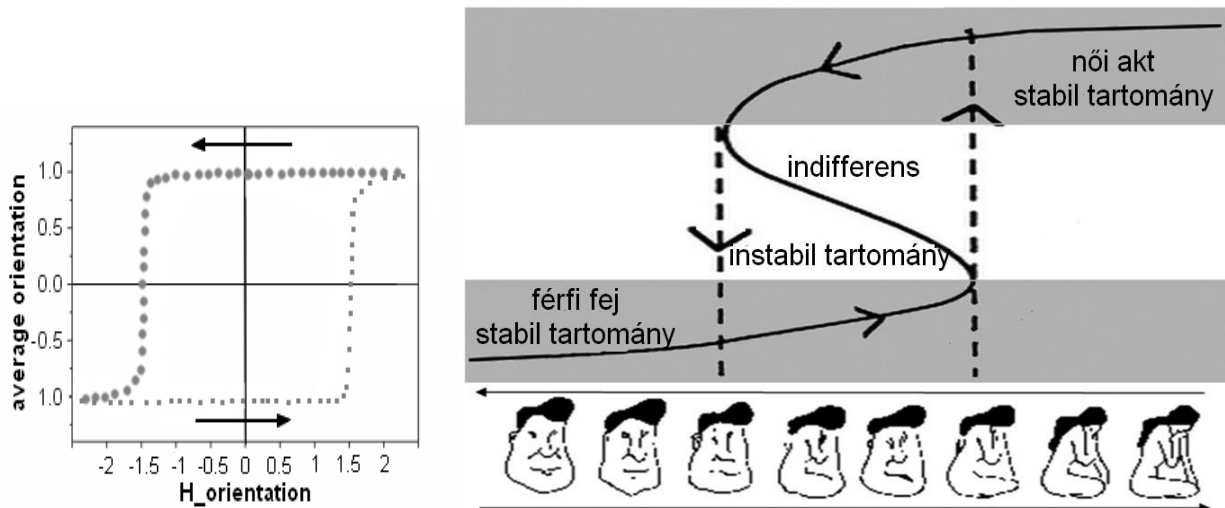
A 3.2.2. ábrán a (4-állapotú) kristály *fázisátalakulását* szemlélhetjük: egy kritikus T hőmérséklet (fluktuációs paraméter) felett a Zeeman-kristály modell rendezetlen (diffúz) állapotban van, alatta pedig rendezett (fragmentált) állapotban láthatjuk a rendszert (a rendezett állapot fő ismértékének tekintjük, hogy a rendszer méretével összemérhető nagyságú egybefüggő domének jönnek létre).



3.2.3. ábra. Diszlokációk „befagyása”

Érdekes és sokféle értelmezést kínáló térbeli mintázatok jönnek létre a fentebb bevezetett külső terek használatával. A 3.2.3. ábrán például egy olyan mintázatot látunk, amely külső tér nélkül nem lehetséges: sötétszürke-fehér csempézésű domének nem alakulnak ki külső tér hiányában, továbbá a szabályos mozaik mintázatba diszlokációk fagynak be, amelyek alakja és kiterjedése függ a hűtés (T hőmérséklet csökkentésének) dinamikájától.

A szimuláció során azt találjuk, hogy a kristály makroszkopikus rendparamétere a globális hatás paraméterétől irányfüggően, ugrásszerűen változik. A 3.2.4. (a) ábrán látható jelenség neve *histerézis*, és az egyik legalapvetőbb és legnagyobb jelentőségű kooperatív jelensége a komplex rendszereknek: a rendszereknek az állapota függ az előéletüktől, ez minden memóriával rendelkező rendszer fundamentális alapja (pl. mágneses adattárolók, emberi agy, stb.). A 3.2.4.(b). ábrán nyolc kis rajzot láthatunk. Ha a rajzokat nem egyszerre, hanem sorban egymás után jelenítjük meg, akkor kiderül, hogy attól függően, hogy jobbról-balra, vagy pedig balról-jobbra jelenítjük meg őket a középen levő rajzokon mást figurát érzékelünk (jobbról-balra sorrendben sokáig női akt figurát, balról-jobbra sorrendben pedig sokáig férfi fej karikatúrát látunk). Az ábra értelmezése rávilágít arra, hogy agyunk vizuális információfeldolgozása (a fentiekkel analógiában) tipikus histerézis jellegű viselkedést mutat.



(a) Histerézis jelensége a Zeeman-kristály modellben (b) Histerézis a vizuális felismerésben
3.2.4. ábra.

A Potts típusú modellek széles alkalmazási lehetőségeire érdekes példaként említhető a japán fizikusok által kidolgozott keresztretjévtény-fejtő algoritmus [11], amely minden eddigi algoritmusnál nagyságrendekkel (!) gyorsabban képes a megfejtésre.

4. Szimulált univerzumok, kérdések és kétségek

A komplex rendszerek nagy családját alkotják az ún. *sejtautomaták*, amelyek struktúrák modellezésére használt diszkrét modellek. A modell elemei szabályos rácsozatban elrendezett cellák (sejtek), mindegyik véges számú állapot valamelyikét veheti fel. Az idő a modellben szintén diszkrét, és a sejtek t időbeli állapota véges számú sejt (az adott sejt „szomszédjai”) ($t-1$) pillanatbeli állapotától függ. Minden sejt ugyanazon szabályok alapján működik, és minden alkalommal, amikor a szabályokat végrehajtják, egy új *generáció* jön létre. A szabályok a legtöbb sejtautomata modellben teljesen determinisztikusak, de lehetnek statisztikus jellegűek is, ezáltal véletlenszerűséget is csempészve a modellbe.

A sejtautomata modellek egyik fő inspirációja annak vizsgálata, hogy milyen bonyolultságú modellben jelenhetnek meg az élet bizonyos aspektusait szimuláló jelenségek (pl. Neumann János már az 1950-es években bizonyította az önreprodukció lehetőségét).

A legismertebb sejtautomata modell a John Conway matematikus által konstruált „Életjáték”:

- minden cella *kétállapotú*, vagy van benne „sejt”, vagy nincs,
- *az időfejlődés diszkrét* jellegű, azaz adott időpillanatokban történik meg a teljes rácson (élettéren) változás, adott pillanatban a rácson található sejtek összességét *generációnak* nevezzük,
- minden cella következő generációbeli állapotát az aktuális generációban a saját és az öt körbevevő 8 szomszédos cella állapota határozza meg az alábbi szabályok szerint,
- a sejt *túléli* a kört, ha két vagy három szomszédja van,
- a sejt *elpusztul*, ha kettőnél kevesebb (*elszigetelődés*), vagy háromnál több (*túlnépesedés*) szomszédja van,
- új sejt *születik* minden olyan cellában, melynek környezetében pontosan három sejt van.

A Conway-féle életjátékban az a döbbenetes, hogy a végtelenül egyszerű definíciója mellett mérhetetlen gazdagságú és változatosságú struktúrávilág jelenik meg benne [12]. Ajánlom megtekintésre a [13] oldalon található videót.

A meglepő tulajdonságokkal bíró struktúrák keresése 40 év elteltével is kimeríthetetlennek tűnik. Nemrégiben megdöbbentő konstrukció jelent meg: olyan struktúra, amely egy cella-hálózatot működtet a Conway-féle szabályokkal. Azaz, *a Conway-világban valósítja meg a Conway-féle életjátékot*. A [14] oldalon videón tekinthető meg a *Élet-univerzum* szimulációját az *Élet-univerzumban*.

Fokozzuk az izgalmakat! A [15] oldalon látható videón nem kisebb csodát láthatunk, mint az univerzális Turing-gép megvalósítását a Conway-féle életjátékban. *Mivel az univerzális Turing-gép a klasszikus fizikai világ tökéletes szimulátora és Conway-féle életjátékban megvalósítható, így a Conway-féle életjáték egyszersmind alkalmas a fizikai valóság tökéletes szimulációjára*.

Rögtön felmerül néhány súlyos kérdés. *Vajon megkülönböztethető a „valós” világ a szimulált világtól? Lehetséges, hogy mi magunk szimulált világegyetemben élünk?* A részletes végiggondolás messze túlmutat jelen tanulmány keretein, de szerepeljen itt néhány erős érv a szimulált univerzum lehetősége mellett.

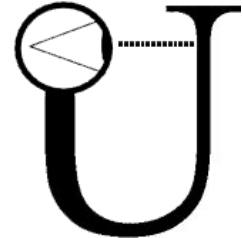
(1) Az ún. *antropikus elv* szerint a természeti állandók olyan módon vannak finom hangolva, hogy lehetővé tegyék az élet és az értelem megjelenését az univerzumban. Az állandók ilyen pontos beállítása véletlenszerűen mérhetetlenül kis valószínűségű. Vagy feltételezzük egy magasabb rendű, külső intelligencia (Isten, programozó) létét, tehát rögtön elérkezünk a szimulált világ lehetőségéhez, vagy a véletlenszerűen létrejövő univerzumok sokaságát feltételezzük, ez az ún. *multi-univerzum elmélet*, amelyben a miénk roppant szerencsés adottságokkal született.

(2) A multi-univerzum elmélet a kvantumfizika egyik (jelenleg talán legsikeresebb) interpretációja, amelynek alapján magyarázhatók a kvantumvilág (a klasszikus fizikai világra épülő gondolkodásunk számára) egzotikus tulajdonságai (pl. a mérések valószínűségi jellege, a kvantum-összefonódás).

(3) Egyáltalán mi a „valóság”? Mi a „valóságosság” kritériuma? A valóság független a tudatunktól? A kvantumelmélet szerint a valóság nem csak, hogy nem független a tudatunktól, de a tudat nélkül egyáltalán nem is létezik! Vajon ami a tudatunkban megjelenik az valóságos? Vegyük például a [16] linken található animációt: először kövessük szemünkkel körbe-körbe az eltűnő lila korongot, majd koncentráljunk erősen a közepén látható keresztre. Vajon a megjelenő körbehaladó zöld korong valóságos, vagy sem? A kvantumelmélet az elemi részecskék közötti erőket kölcsönhatási részecskék cseréjével írja le. Vajon ezek a kölcsönhatási részecskék akkor is valóságosnak tekinthetők, ha közvetlenül nem figyelhetők meg, csupán a megfigyelhető fizikai valóság legegyszerűbb magyarázatát jelentik? Tekintsük például a [17], illetve [18] videókat. Az első felvételen valóságos focimeccset látunk, de a játék csak képzelt labdával folyik. Mégis mindnyájan igen jól oda tudjuk képzelni a labdát. A második felvétel foci-szimulációs programról

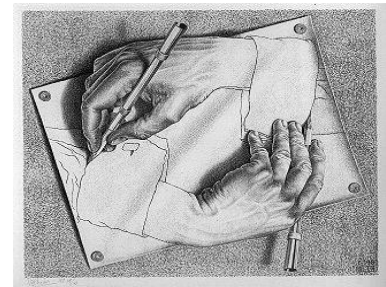
készült úgy, hogy a labda megjelenítését kivettük. Mondjuk például, hogy olyan úrlények vagyunk, akiket földi vendéglátóik kivettek egy mérkőzésre, de mi nem érzékeljük a pöttyös dolgokat, így nem látjuk a labdát sem. A játékosok kollektív mozgásának magyarázataként azonban racionálisan gyorsan eljutnánk a labda feltételezéséhez, mert ez adja a legegyszerűbb leírást (szabályokat, törvényeket) a jelenségre. Sőt néha egy-egy jól megfigyelhető esemény egészen konkrét közvetett bizonyosságát adja a labdának: a felvétel 49. másodpercében a kapuháló kidudorodik, kileng (olyan, mint egy részecskedetektor, ami számunkra megfoghatatlan részecskét jelez).

(4) A kvantumelmélet központi kérdése a mérés és megfigyelő kapcsolata. Minden tudatos létet melengető Univerzumot egyúttal érzékelnek is, másképpen fogalmazva: azok a „programok” (szimulációk), amelyek tudatos lények létezésére alkalmatlan univerzumokat kódolnak, megfigyelő nélkül maradnak, azaz nem tekinthetők valóságosnak. („A Világegyetem az emberben ismer önmagára. A Világegyetem az emberben látja először önmagát, az emberben ismeri föl léte anyagát és elvirágzó állapotait.” Juhász Ferenc.)



(5) Ha egy szimuláció tökéletes, akkor a szimuláció kérdése metafizikai kérdés. Ha a szimuláció metafizikai kérdés, akkor a szimuláció és a valóság ekvivalens, vagyis a szimuláció valóság. Ha tehát létezik egy „valódi” világ, amelynek a mi világunk tökéletes szimulációja, akkor értelmetlen és felesleges azon gondolkodni, hogy valós, vagy szimulált világban élünk-e.

A kvantumfizika képes lehet további válaszokat találni (pl. David Deutsch által javasolt mérési eljárás a multi-univerzumok léte), jelen pillanatban azonban inkább a hitünkre, fantáziánkra semmint tudásunkra támaszkodhatunk e kérdésben.



„...és most már azt hiszem, hogy nincs igazság,
már azt, hogy minden kép és költemény,
azt, hogy Dsuang Dszi álmodja a lepkét,
a lepke őt és mindhármunkat én.”
(Szabó Lőrinc: Dsuang Dszi álma)

Irodalomjegyzék

- [1] B. Spinoza: Etika, Első rész, 36. Tétel
- [2] H. Poincare: A tudomány értéke
- [3] http://indavideo.hu/video/Pitagorasz-tetel_latvanyos_bizonyitas
- [4] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Algoritmus>
- [5] <http://tp.lc.ehu.es/jma/ds/ds.html>
- [6] Péter Nagy, Péter Tasnádi: *Chaotic Motion of Ball in a Vessel*, Book of Abstract of Chaos 2015 Conference, Paris:2015. pp. 88-89.
- [7] http://indavideo.hu/video/Faziscsepp_szetfolyas_a_Lorenz-modellben
- [8] Péter Nagy, Péter Tasnádi: *Irregular chaos in a bowl*, Key Competences in Physics Teaching and Learning: Program and book of abstracts: International Conference GIREP EPEC 2015., 2015.07.06-2015.07.10. Wrocław: pp. 153-154.
- [9] Péter Nagy, Péter Tasnádi: *Networks of Zeeman catastrophe machines for the investigation of complex systems*, EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS 35: Paper 045010. 18 p. (2014)
- [10] <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [11] Kazuki Jimbo, Hiroya Takamura, Manabu Okumura: Solving Crossword Puzzles Using Extended Potts Model, H. Hattori et al. (Eds.): JSAI 2008, LNAI 5447, pp. 39–47, 2009. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [12] <http://www.conwaylife.com>
- [13] http://indavideo.hu/video/Elet_a_Conway-fele_sejtautomataban
- [14] http://indavideo.hu/video/Eletjatek_az_Eletjatek_univerzumaban
- [15] http://indavideo.hu/video/Turing-gep_a_Conway-fele_eletjatekban
- [16] <http://brainden.com/images/rotating-dots-big.gif>
- [17] http://indavideo.hu/video/Focizas_labda_nelkul
- [18] http://indavideo.hu/video/Foci_szimulacios_jatekprogram_labda_nelkul

SZÉLES SPEKTRÁLIS TARTOMÁNYON TÁG BEESÉSI SZÖGTARTOMÁNYBAN NAGY REFLEXIÓJÚ DIELEKTRIKUMTÜKRÖK SZÁMÍTÓGÉPES TERVEZÉSE

COMPUTER BASED DESIGN OF DIELECTRIC MIRRORS WITH HIGH REFLECTIVITY ON WIDE SPECTRAL AND ANGULAR RANGE

*Kőházi-Kis Ambrus**

Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar,
Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

dielektrikum tükör
nagy reflexió
széles spektrális tartomány
harmadrendű diszperzió
evolúciós algoritmus

Keywords:

dielectric mirror
high reflectivity
wide spectral range
third order dispersion
evolutionary algorithm

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Széles spektrális tartományon tág beesési szögtartományon nagy reflexióképességű tükör újszerű tervezési lehetőségét mutatom be. A tervezési feladat direkt megközelítése helyett egy eredményes, hatékony kerülő utat fedeztem fel: a cél elérhető a lézertükörnek csupán a reflexiója maximumára és a harmadrendű fázisderiváltja abszolút értékének minimumára optimalizálni. Egy evolúciós keresési eljárás segítségével egy 600 nm-től 1200 nm-ig terjedő hullámhossztartományban a merőleges beeséstől 20 fokos beesési szögig legalább 97% reflexiójú rétegszerkezetet kaptam.

Abstract

A new method of designing of dielectric mirrors with high reflection in a wide wavelength and angle of incidence ranges is presented. It is shown that this optimization can be carried out just by optimizing for the high reflectivity and for the vanishing third-order dispersion of the mirror. The design method is based on genetic algorithm method combined with a trust-region local optimization procedure. Dielectric mirror with more than 97% is obtained in the 600-1200 nm wavelength range in the angle of incidence range of 0-20 degrees.

1. Bevezetés

Különleges, újszerű jellemzőkkel bíró lézertükrök, szűrők tervezéséhez esetenként újszerű módszerekre is szükség van. A legmodernebb tervezési módszerek integrálásával egy nagyon rugalmas, hatékony tervező platformot állítottam össze. Ezzel a dielektrikum rétegszerkezetet modellező és tervező programmal folytatott vizsgálataimról számolok be.

Számos alkalmazáshoz szükség van széles spektrális és beesési szögtartományokban egyenletesen nagy reflexióképességgel rendelkező dielektrikumtükrökre, amelyekkel kiválthatók a fémtükrök, amelyek a látható és a közeli infravörös hullámhossztartományon 90-95%-ban korlátozott reflexióképességgel rendelkeznek, továbbá a vissza nem vert fényt elnyelik, így nem alkalmazhatók hatékonyan nagy teljesítményű fénynyalábok esetén.

* E-mail cím: kohazi-kis.ambrus@gamf.kefo.hu

A nagy reflexióképességnek a széles spektrális tartományon és a széles beesési szögtartományon történő szimultán optimalizálása nagyon sok tesztpont felvételét igényli. Például a 600-1200 nm-es hullámhossztartományon érdemes felvenni legalább 600, míg a 0-30 fokos beesési szögtartományon legalább 10 pontot, azaz $600 \times 10 = 6000$ pontban kell kiértékelni a rétegszerkezetet – az eljárás nagyon lassú volt és nem volt eléggé sikeres.

Valamelyest független próbálkozásként optimalizáltam a 600-1200 nm-es hullámhossztartományon egy legfeljebb 70 réteges dielektrikumtükört 15 fokos beesési szög mellett maximális reflexióra és minimális harmadrendű fázisdiszperzióra. Az utóbbinak elvileg nem kellene hatással lennie a rétegszerkezet reflexióis tulajdonságára egyéb beesési szögek esetén, ezért meglepő, hogy az optimalizált tükör széles beesési szögtartományban is nagy reflexióképességet mutatott. A rétegszerkezet másodrendű diszperziója egyébként még mindig olyan nagy értékek között ingadozik, hogy a tükör nem alkalmas femtoszekundumos fényimpulzusok torzítástól mentes visszaverésére, csupán olyan alkalmazásokban használható, ahol a tükör fázismodulációs hatása nem kritikus.

2. Lézertükörök automatizált tervezési módszere

A dielektrikum tükörök vizsgálatára az F. Abeles által kifejlesztett mátrix kalkulust alkalmazom [1, 2]. Sokréteges dielektrikumtükörök tervezésére nélkülözhetetlenek az analitikusan számolt deriváltakkal segített optimalizációs eljárások [2]. A lokális optimumok meghatározására másodrendű deriváltak analitikus számolásán alapuló lokális modellt (trust-region) használó saját fejlesztésű eljárást alkalmazok. J. Hrdina kifejlesztett egy eljárást [3, 4] dielektrikumtükörök reflexiója, transzmissziója másodrendű deriváltjainak számolására, amely segítségével a rétegvastagságok szerinti elsőrendű deriváltakkal kifejezhetők a másodrendű deriváltak [4], ami lényegesen megrövidíti a számolási időt. Ez azért olyan fontos, mert például egy 70 réteges dielektrikumtükör optimalizálása során minden egyes lépés során a másodrendű derivált szimmetrikus Hesse-mátrixának $(70 \times 70 - 70) / 2 + 70 = 2485$ elemét kell számolni.

A szakirodalomban széleskörűen alkalmazott trust-region módszer szerint a másodrendű deriváltak ismeretében az optimalizálandó függvényt lokálisan egy általános másodrendű függvénnyel közelítik, hogy egy megbízhatósági sugáron belül lokális optimumba juthassanak, hogy onnan a célfüggvény deriváltjainak számolásával újabb lokális modell alkotásával haladjanak tovább [5]. Viszont az általam kifejlesztett trust-region eljárás során a másodrendű lokális modellt arra használom, hogy legmeredekebb lejtő útvonalát analitikusan számolva haladjak a globális optimum irányába [6]. A szimmetrikus Hesse-mátrix saját rendszerében egyszerűen, analitikusan számolható a másodrendű közelítésben az optimum felé vezető út. Az eljárás fontos része ezek szerint a Hesse-mátrix sajátértékeinek és sajátvektorainak megkeresése. A hatékony és gyors eljárás segítségével akár 100 réteg vastagságainak szimultán optimalizálása lehetséges a megfelelő numerikus segéd eljárások [7] alkalmazásával.

A lokális optimumkeresés precíz eljárása az, alapja a túloptimalizálásos eljárásoknak is, amelyekkel egy primitív rétegből kiindulva a rétegszerkezet összetettségét fokozva juthatunk el a kívánt globálisan optimális rétegszerkezethez [8]. Az eljárásnak azonban jelentős hátránya, hogy segítségével nem lehet figyelembe venni a rétegszerkezetek jóságának a rétegek előállítási pontatlanságára mutatott érzékenységet. Továbbá azt is tapasztaltam a túloptimalizáció vizsgálata során, hogy mindig, makacsul a legjobb utat követő eljárás sem juthat el feltétlenül a globális optimumhoz, ha az optimalizációs pálya megfelelő bonyolult.

Kifejlesztettem egy genetikus algoritmuson [9] alapuló optimalizálási eljárást, amelyben a lokális optimumokon keresztül keresek globális optimumokat. A lokális optimumok keresését azért kell belevenni a keresési eljárásba, mert a rétegszerkezetek célfüggvényei nagyon sok éles lokális optimummal rendelkeznek, ezért egy-egy rétegszerkezet jóságát sokkal jobban befolyásolja, hogy milyen távol van a lokális optimumtól, mint az, hogy a globális tendenciák szerint mennyire van közel a globális optimumhoz. Bár az eljárás lényegesen lassabb, mint a túloptimalizálás módszere, de lényeges előnye, hogy menet közben figyelembe lehet venni a lokális optimumok hibaérzékenységét is. Ezzel alternatívaként szolgál a szakirodalomban 2011-ben megjelent [10] a túloptimalizálást továbbfejlesztő olyan új eljárásnak, amely szintén figyelembe veszi a tükörnek a rétegek vastagságára mutatott hibaérzékenységét is.

3. Az alkalmazott keresési eljárás paraméterei

Maximum 70 réteges dielektrikumtükörréteget terveztem. Az lokális optimumszámolás, ha egy rétegre a 0.01 nm-nél kevesebbet adott, akkor azt a réteget nulla vastagságúnak tekintettem.

1. Táblázat. Az alkalmazott rétegek diszperziós együtthatói

Anyagok megnevezése	A	B	C
SiO ₂ (L)	1.46525 + j 1.0E - 06	0	4.710E - 04
Ta ₂ O ₅ (H)	2.065572 + j 1.0E - 06	0.01683	0.001686
SiO ₂ (hordozó)	1.50086	3.26477E - 03	5.0404E - 04

Az egyes rétegek törésmutatóit az 1. táblázatban adott paraméterekkel az alábbi Cauchy-formulával közelítettem:

$$n(\lambda) = A + B \cdot \lambda^{-2} + C \cdot \lambda^{-4} \quad (1)$$

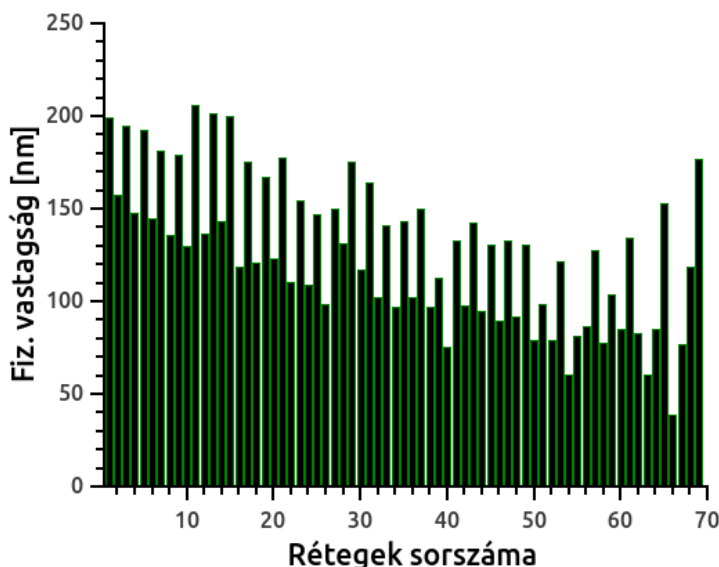
A rétegszerkezeteket a rétegek vastagságaitól (d) és a hullámhossztól (λ) függő intenzitásfüggő reflexió ($R(d, \lambda_i)$) és a harmadrendű csoportkésleltetés diszperzió ($D3(d, \lambda_i)$) értékére optimalizáltam:

$$CelFv(d) = \sum_{i=0}^{600} \left[(R(d, \lambda_i) - 1)^4 + \beta (D3(d, \lambda_i) - 0)^4 \right] \quad (2)$$

A genetikus algoritmust 30 fős populációval futtattam.

4. Eredmények

Összesen kilenc optimalizációs eljárást futtattam le, ezek közül négy eljárás eljutott a legjobbnak talált rétegszerkezethez (1. ábra). Legjobbnak olyan rétegszerkezetet kaptunk, amely 69 rétegből áll, legfelső rétege a kisebb törésmutatójú réteg.

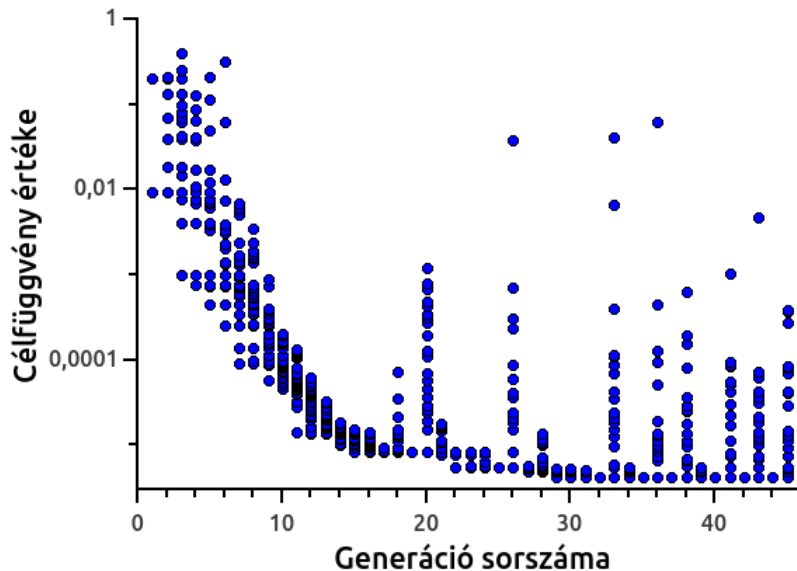


1. ábra. Az optimálisnak talált rétegszerkezet rétegeinek fizikai vastagsága (a rétegek sorszáma a hordozóra történő felpárologatás sorrendjét adja)

Több eljárás már 30 alatti generáció után eljutott a talált legjobb értékhez. A 2. ábrán az egyik optimalizáció során a populációnak az egyenlő kisebb célfüggvény-értékű egyedek célértékeinek változását figyelhetjük meg a generációk változása során.

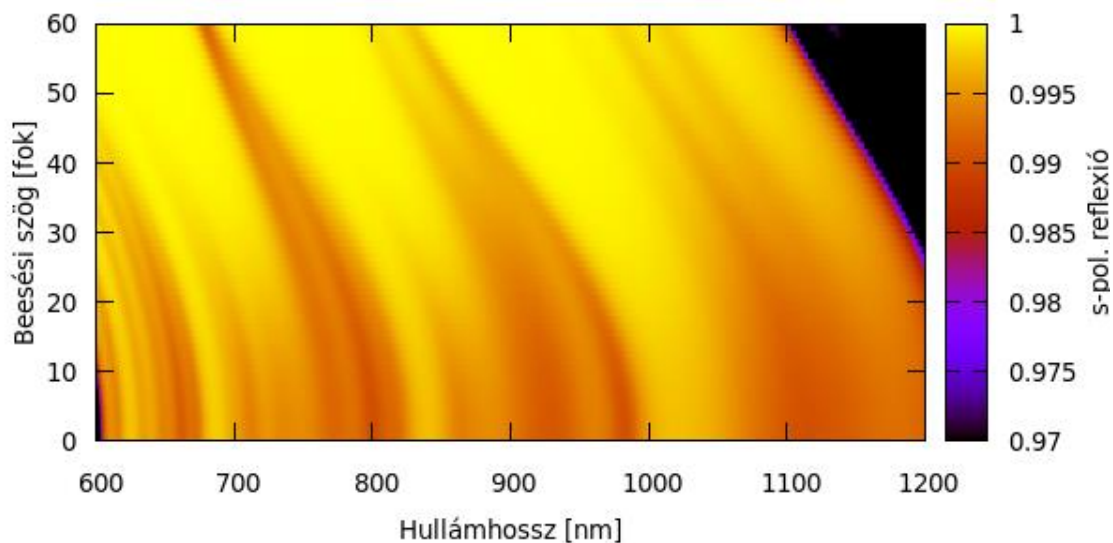
Jól látható annak a hatása, hogy amikor a populáció egyedei túlságosan a legjobb egyedükhöz hasonlítanak, akkor a következő generációban mesterségesen megnövelt mutáció révén a populáció kiköckenthető lokális optimumából (2. ábra).

Érdekes azonban megjegyezni, hogy több olyan optimalizációs eljárás is lefutott, amelyek során még az 50. generáció után sem találtuk meg a legjobb rétegszerkezetünket. Azt is fontos azonban eszünkben tartani, hogy a megtalált legjobb rétegszerkezetünk nem bizonyosan a globális optimum még akkor sem, ha a legjobb értékünket többször is megtaláltuk. Hiszen az evolúciós eljárások, mint a többi globalizációs eljárás a globális tendenciákat követve jut el a legjobb megoldáshoz. A keresési térben, ha van egy olyan globális optimum, amely a globális tendenciák elől elrejtőzik, akkor az efféle globális optimumok megtalálására igen csekély az esélyünk.



2. ábra. A genetikus algoritmus generációi során a populáció egyedeinek célfüggvény-értékeinek változása

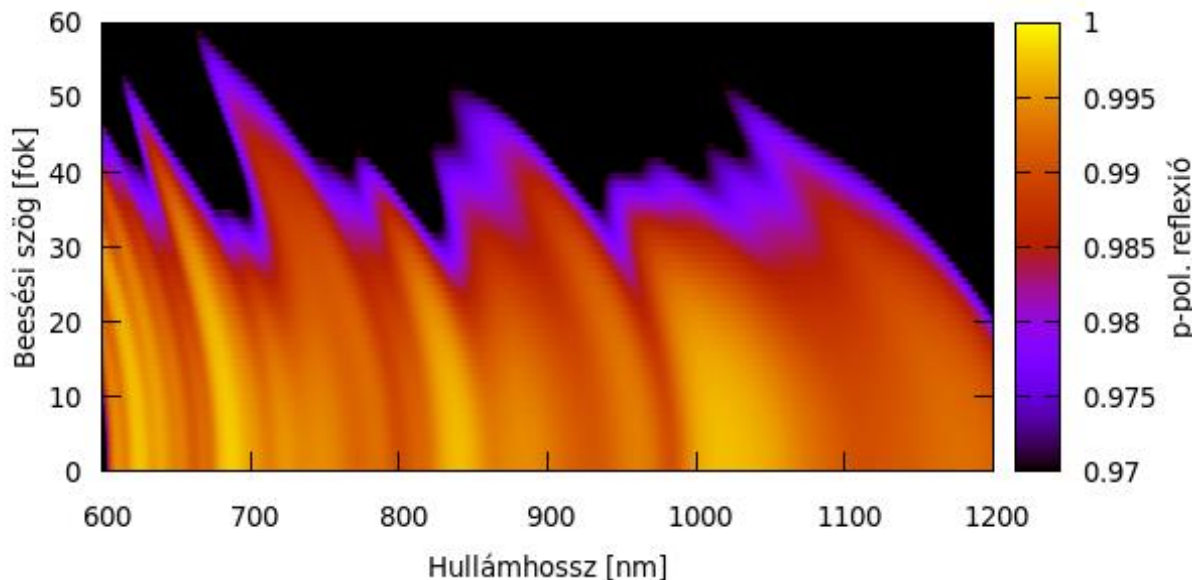
A kapott dielektrikumtükörnek a beesési síkra merőlegesen polarizált beeső fény melletti reflexióképességét a 3. ábra mutatja a hullámhossz és a beesési szög függvényében. Jól látható, hogy 1100 nm alatt még akár 60 fokos beesési szög esetén is a reflexió tényező nagyobb, mint 98%.



3. ábra. A legjobbnak talált tükör reflexió tényezője a beesési síkra merőlegesen polarizált fényre, mint a hullámhossz és a beesési szög függvénye

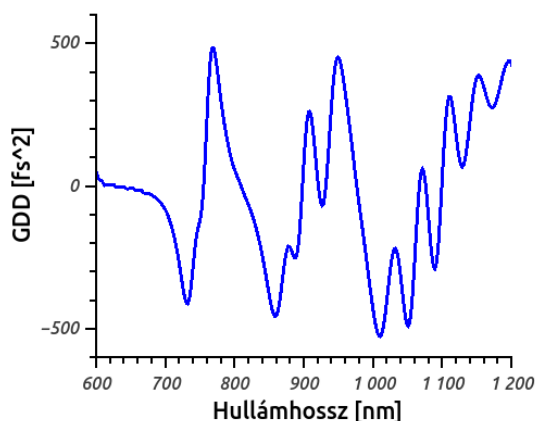
Beesési síkban poláros beeső fény esetén lényegesen rosszabb a helyzet (4. ábra). A széles spektrális tartományon gyakorlatilag 30 fokos beesési szög felett a reflexió lényegében a 97%-os érték alá esik.

Számos optikai eszközön, mint lencséken, tükrökön a nem túlságosan nagy beesési szögek esetén a rétegszerkezet gyakorlatilag ideális fémes, azaz egyenletesen reflektáló bevonatként viselkedik.



4. ábra. A legjobbnak talált tükör reflexió tényezője a beesési síkban polarizált fényre, mint a hullámhossz és a beesési szög függvénye

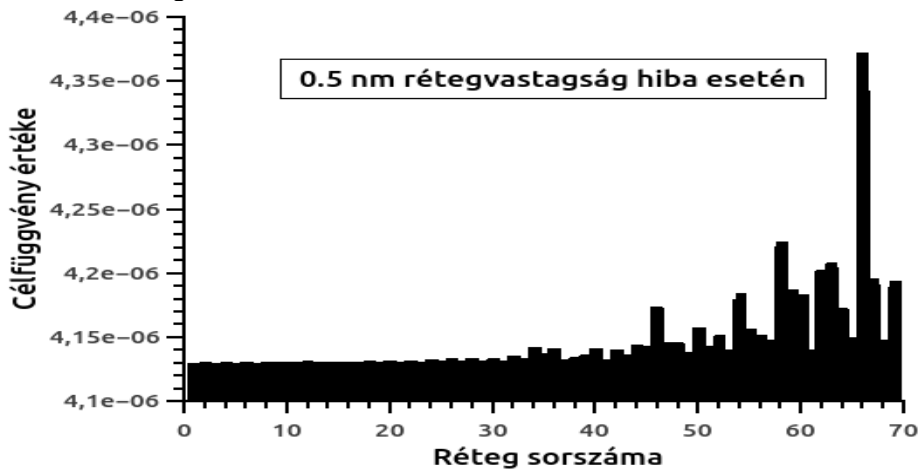
Megjegyzem, hogy annak ellenére, hogy a tükör minimális harmadrendű diszperzióra is optimalizálva lett tervezve a lézer diszperziós tulajdonságai még így is a másodrendű diszperzió eléggé jelentős ingadozásával bír (5. ábra). Mivel a másodrendű csoportkésleltetés diszperzió (GDD – Group Delay Dispersion) az adott hullámhossz közelében megadja a reflexió késleltetési idejének változási gyorsaságát, ezért az ilyen erős GDD-vel bíró szerkezetek ultrarövid fényimpulzusok reflektálása során erőteljesen torzítják a fényimpulzusokat [11]. Azaz a rétegszerkezet csupán legfeljebb pikoszekundumos, vagy annál hosszabb fényimpulzusok reflektálására ajánlott, ha a reflektált fényimpulzusok időbeli alakjának torzulása kritikus az adott felhasználás szempontjából. A nagyon széles spektrális tartományon erősen reflektáló tükrök diszperzióját nagyon nehéz kicsiny értékre korlátozni.



5. ábra. A legjobbnak talált rétegszerkezet másodrendű diszperziójának (GDD) ingadozása

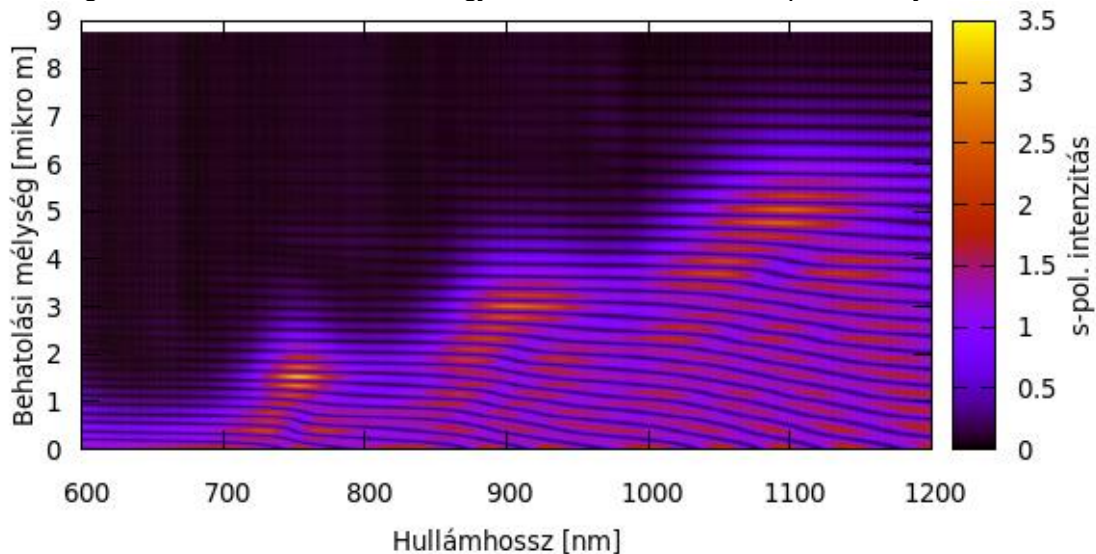
Ha a rétegszerkezetnek a rétegek vastagságaira vonatkozó érzékenységét nem vesszük figyelembe a tervezés során, akkor nagyon hamar olyan rétegszerkezetre juthatunk, amely az egyatomos rétegek vastagságának nagyon kis hányadához tartozó vastagságtérletek esetén is a

rétegszerkezet jóságának (célfüggvényének) jelentős elromlásához vezetnek – az ilyen tükörök a gyakorlatban nem is valósíthatók meg. A legjobbnak talált rétegszerkezet rétegeinek vastagsághibájából adódó célfüggvény-érték növekedése a 6. ábrán figyelhető meg, ha az adott réteg vastagsága 0.5 nm-rel eltér a tervezett értéktől. A 0.5 nm-es rétegvastagság pontosság a modern dielektrikumréteg-növesztési technikákkal elérhető.



6. ábra. A legjobbnak talált rétegszerkezet másodrendű diszperziójának (GDD) ingadozása

A nagyon széles spektrális tartományon erősen reflektáló dielektrikumtükörök általános jellemzője, hogy a különböző hullámhosszú fénykomponensek a rétegszerkezet különböző mélységéből verődnek vissza, mint ahogyan ez a 7. ábrán is jól megfigyelhető (a két polarizációra nincs lényeges különbség). A behatolási mélység változása okozta késleltetés diszperzióját csupán a rétegszerkezetben óhatatlanul megjelenő rezonanciák kompenzálhatják, mérsékelhetik.



7. ábra. A legjobbnak talált rétegszerkezetben a különböző hullámhosszú fénykomponensek behatolása a dielektrikumtükör belsejébe

Irodalomjegyzék

- [1] Born, M., Wolf, E., Principles of Optics, Pergamon press, London, 1984.
- [2] MacLeod, A. H., Thin Film Optical Filters, Taylor&Francis, London, 2001.
- [3] Hrdina, J., J. Modern Optics, 37, 1087-1094, 1990.
- [4] Hrdina, J., J. Modern Optics, 41, 129-136, 1994.
- [5] Shiqua, W., Fang, W., Acta Mathematicae Sinica, 7, 354-362, 1991.
- [6] Kőházi-Kis Ambrus, A GAMF Közleményei, Kecskemét, XXIII,
- [7] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P., Numerical recipes: The art of scientific computing, Cambridge University Press, 3rd edition, 2007.

- [8] Tikhonravov, A. V., Trubetskov, M. K., DeBell, G. W., *Applied Optics*, 35, 5493-5508, 1996.
- [9] Greiner, H., *Applied Optics*, 35, 5477-5483, 1996.
- [10] Pervak, V., Trubetskov, M. K., Tikhonravov, A. V., *Optics Express*, 19, 2371-2380, 2011.
- [11] Diels, J.C., Rudolph, W., *Ultrashort Laser Pulse Phenomena*, Academic Press, 2006.

3D REKONSTRUKCIÓ OMNIDIREKCIONÁLIS KAMERÁKBÓL SZFÉRIKUS MODELL HASZNÁLATÁVAL

3D RECONSTRUCTION FROM OMNIDIRECTIONAL CAMERAS USING SPHERICAL MODEL

Kátai-Urbán Gábor^{1*}, Koszna Ferenc¹, Megyesi Zoltán¹

¹ Informatika Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

3D rekonstrukció
Omnidirekcionális kamera
Szférikus modell
Szférikus rektifikáció

Keywords:

3D reconstruction
Omnidirectional camera
Spherical model
Spherical rectification

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 21.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A 3D rekonstrukció jól ismert kutatási terület a számítógépes látás világában. Mivel ez a feladat függ az alkalmazástól, a színtértől és sok esetben az alkalmazott kamera rendszertől, az elmúlt 20 évben számos különböző rekonstrukciós algoritmus született. Ezek az algoritmusok és megoldások azonban javarészt keskeny bázistávolságú perspektív sztereó kamera rendszerekhez készültek. A mi célunk meghatározni azt a kamera geometriai modellt, amely omnidirekcionális kamerák esetén legjobban támogatja a hagyományos rekonstrukciós eljárásokat. Bemutatjuk a szférikus kameramodellt, és hozzá kapcsolódóan a szférikus rektifikációt, mint egy lehetséges változatot. A rekonstrukciós eljárás menetének tárgyalása mellett eredményeket is mutatunk többkamerás rendszerből származó valós képek esetén.

Abstract

3D reconstruction is a well-known research area of Computer Vision. Since this task depends on the application, on the scene and in many cases on the applied camera system; many different reconstruction algorithms were created in the past two decades. However, these algorithms were mainly developed for narrow baseline perspective stereo camera systems. Our goal is to determine the best camera model which supports the traditional reconstruction algorithms in case of omnidirectional cameras. In this article the spherical camera model and the spherical rectification will be presented as one of the possible solution. In addition to the discussion of the reconstruction algorithm results are presented on real images from a multi-view camera system.

1. Bevezetés

A színterek 3D modellezése a Számítógépes Látás egyik jelentős területe. Az alap probléma arra keres megoldást, hogyan lehet eltérő pozícióban elhelyezett kamerák képei alapján visszaállítani a képeken látható színtér 3D modelljét. Bár ez a technika számos hasznos

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 300
E-mail cím: katali-urban.gabor@gamf.kefo.hu

alkalmazást tesz lehetővé, az alkalmazások sokszor eltérő geometriai és képfeldolgozási kihívást jelentenek. Az általunk választott alkalmazás azt igényli, hogy a kamerarendszer minden irányban képes legyen a színtér mérésére. Ehhez omnidirekcionális (körbelátó) kamera megoldást választottunk, amely azonban jóval összetettebb kamera modellt igényel. A megfelelő modell kiválasztása a kalibráció és a rekonstrukciós lépés szempontjából is fontos. Ebben a cikkben bemutatjuk azokat a modelleket, amelyek előnyösek az omnidirekcionális kamerákból végzett rekonstrukció esetén.

2. Omnidirekcionális kamera modellek

Ahhoz, hogy a 3D színteret rekonstruálni tudjunk, ismernünk kell a színteret leképező kamerák vetítési modelljét. Normál perspektív kamerák vetítési modelljei régóta kutatottak és széles körben elterjedtek. Azonban a mi kamera rendszerünkben a speciális kamerák miatt speciális vetítési modelleket kell alkalmaznunk.

2.1. Omnidirekcionális kamera hiperboloid tükörrel

A körbelátó (omnidirekcionális) kamerákra jellemző a 360°-os horizontális és 100-200°-os vertikális látószög. Ilyen speciális optikát lencserendszerek alkalmazásával is elő lehet állítani (például: halszem optika), viszont az általunk alkalmazott optikai rendszer egy hiperboloid alakú tükörből és egy normál perspektív kamerából lett kialakítva.

Az ilyen omnidirekcionális kamerák, amelyek 180° feletti látószöggel rendelkeznek, a kamera előtti pontokat a képsík egy pontjára képezik le, míg a kamera mögül érkező fénysugarakat egy másik pontba vetíti. Ilyen fénysugarak a normál perspektív kamerák esetén nem fordulnak elő, így ez a modell nincs is felkészítve ezek kezelésére. Ezért más vetítési modellt kell alkalmazni.

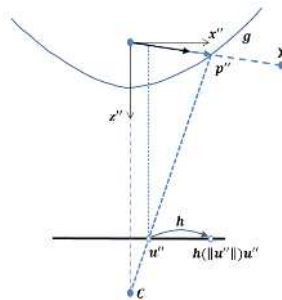
Omnidirekcionális kamerák esetén egy képpont reprezentál minden színtérbeli pontot, amelyek az optikai középponttól kiinduló félegyenesen fekszenek. A félegyenesek irányát egy-egy egységvektor írja le, amelyek egy egységgömböt alkotnak. Ez a gömbi vetítési modell a következőképpen írható le:

$$\exists \lambda > 0 : \lambda q = PX \quad (1)$$

, ahol X egy színtérbeli 3D pont, P a vetítési mátrix és q egy 3D-s egységvektor, mely egy képpontot reprezentál (lásd: [7]). Tegyük fel, hogy a színtér egy X pontját omnidirekcionális kamerából vesszük (lásd 1. ábra). Az X pont vetületét az egység gömbön egy q'' egységvektorral reprezentáljuk. A $p'' = (x'', z'')^T$ vektor, melynek iránya megegyezik a q'' -vel, az X pontot vetíti le a szenzor síkjának u'' pontjára. Ezért az u'' párhuzamos az x'' -vel. A p'' vektor megadható a következőképpen:

$$p'' = \begin{bmatrix} h(\|u''\|, a'')u'' \\ g(\|u''\|, a'') \end{bmatrix} \quad (2)$$

, ahol g és h függvények $R \times R^3 \rightarrow R$, melyek ugyanazon paramétereiktől függnek: $a'' \in R^3$, valamint $\|u''\|$, ami a képpont és a kép középpontja közötti távolság.



1. ábra. Hiperbolikus tükörrel kialakított omnidirekcionális kamera

Különbféle omnidirekcionális kamera típusok esetében eltérőek a g , h függvények. A g függvény leírja a tükör alakját, míg a h a kamera vetítését reprezentálja. Ezen paraméterek

meghatározása több problémát is felvet [1], így egy robusztus és megbízható Taylor modellt alkalmaztunk a vetítések leírására.

2.2. Taylor modell

A Taylor modellt Scaramuzza és társai [3] fejlesztették ki 2006-ban. A modellben a h és g függvények külön kezelése helyett csak egy g/h függvényt alkalmaznak. Így a $h = 1$ átírással a vetítés a következőképpen adható meg:

$$\lambda p'' = \lambda \left[\frac{u''}{g(\|u''\|)} \right] = P\mathbf{X} \quad (3)$$

A g általános leírásához a 4. egyenletben megadott Taylor polinomot javasolták

$$g(\|u''\|) = a_0 + a_1 \|u''\| + a_2 \|u''\|^2 + \dots + a_N \|u''\|^N \quad (4)$$

, ahol a_0, a_1, \dots, a_N együtthatók és az N polinom foka a kalibrációs paraméterek.

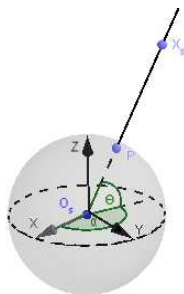
Ennek a modellnek a nagy előnye, hogy képes kompenzálni a kamera középpont és a külső fókuszpont helyzetének eltérését és még a nem teljesen középpontos vetítésű optikai rendszerek hibáját is.

2.3. Szférikus kamera modell

A rekonstrukció alkalmazásához szükséges egy egységesített kamera modell, amely képes normál perspektív és omnidirekcionális kamerák képeit is kezelni [4].

A szférikus vetítési modell az egység gömb felszínére mutató egység vektorokkal írja le a vetítést (lásd: 2. ábra).

A színtérbeli X_s pontot és az O_s vetítési középpontot összekötő vektor normalizálásával az egységgömb P pontját kapjuk. Ez az egység vektor $P = \begin{bmatrix} \theta \\ \alpha \end{bmatrix}$ θ és α polárkoordinátákkal megadható.



2. ábra. Szférikus kamera modell

3. 3D rekonstrukció omnidirekcionális kameraképekből

A projektív geometriának megfelelően [4] egy kameranézet nem elegendő a rekonstruálni kívánt objektumról érkező fénysugár azonosításához. Legalább két külön nézet szükséges, amelyekhez tartozó fénysugarakat meg kell feleltetni egymásnak a rekonstrukciós eljárás során. Ha ezt a műveletet a 3D térben kellene elvégezni, túl nagy számítási kapacitást igényelne a feldolgozás. Ezért a kameraképeket transzformáljuk úgy, hogy a megfeleltetés egy vonal menti kereséssel megvalósítható legyen. A kamerák vetítési paramétereit felhasználva rektifikált képpárokat hozhatunk létre, amelyekre jellemző, hogy az azonos objektumok ugyanazon epipoláris vonalon helyezkednek el. Így a mintaillesztést csak egy egyenes mentén kell elvégezni. A szférikus modell alkalmazásával ezek a rektifikált képek egyszerű transzformációval előállíthatóak.

A rektifikált kép elkészítése előtt viszont az omnidirekcionális modellből át kell térnünk a szférikus modellre.

A rekonstrukciós algoritmus lépései:

1. Modell transzformáció (leképezés szférikus modellre)
2. Rektifikáció

3. Illesztés
4. Trianguláció

Az alábbi alfejezetekben ezeket a lépéseket részletezzük.

3.1. Omnidirekcionális kamera modell leképezése szférikus modellre

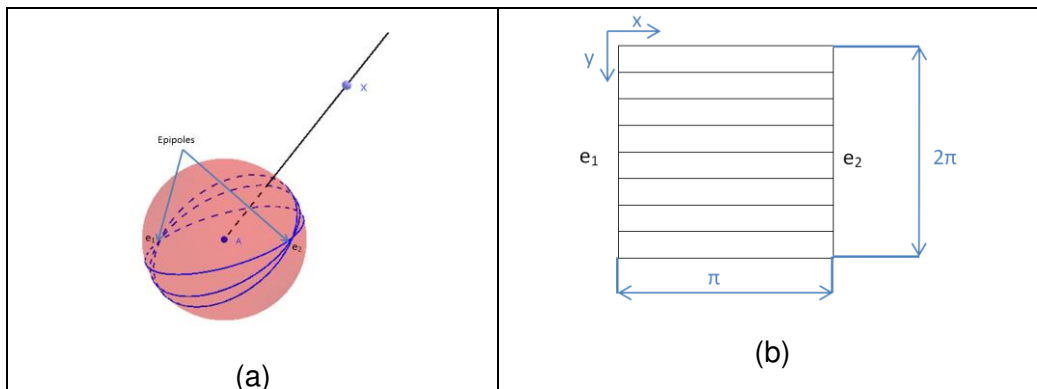
Az omnidirekcionális kamera modell alkalmazásakor a 1. ábrán látható módon minden X pontnak megfeleltethető egy p'' vektor, amely a vetítési középpontból mutat az X pont felé. Ha a szférikus modell vetítési középpontját az omnidirekcionális modell középpontjában vesszük fel, akkor a p'' normalizálásával megkapjuk az egység gömbön elhelyezkedő P pontot. Ezzel a megfeleltetéssel közvetlenül meg tudjuk adni az omnidirekcionális modell pontjainak megfelelőjét a szférikus modellben.

Ha ebbe a megfeleltetésben még a Taylor modellt is alkalmazzuk, akkor az omnidirekcionális kamerák képeit közvetlenül le tudjuk képezni a szférikus modellre.

3.2. Szférikus rektifikáció

A szférikus rektifikáció során a cél az, hogy a szférikus modellből rektifikált képet hozzunk létre. Ezzel lehetővé téve a rekonstrukciót olyan kamerák esetén is, amelyek vetítési modellje eltér az általánosan használt perspektív kamerákétól.

A szférikus modell is alkalmazható az epipoláris geometria [5]. A két kamera középpontját összekötő bázisvonal e_1 és e_2 pontban metszi az egység gömb felszínét (lásd: 3.a. ábra). Ezek az epipólusok, amelyeken átmenő egység körök felelnek meg az epipoláris vonaloknak. Így bármely P pontnak megfeleltethető egy epipoláris vonal, amely a θ szöggel azonosítható.



3. ábra. Szférikus rektifikáció

A rektifikált kép előállításához nem kell mást tennünk, mint az epipoláris vonalakon végigmenni az egyik epipólustól a másikig azonos szögosztásokkal és a P pontokhoz tartozó színinformációval feltölteni a rektifikált képet (3.b. ábra). A kép y koordinátái felelnek meg az egyes epipoláris egyeneseknek, míg az x koordináták az egyenesen való szöghelyzetnek.

3.3. Illesztés szférikus rektifikáció esetén

A 3D pontok meghatározásához a pontokból a kamerákba jutó fénysugarakat kell azonosítanunk. A képpárokon kell keresnünk hasonló részleteket, melyek azonos térbeli objektumhoz tartoznak. Ezt a feladatot rektifikált képeken csak egy egyenes mentén kell elvégezni, amely nagyban gyorsítja az eljárást.

Mivel a szférikus modell felhasználásával el tudjuk készíteni a rektifikált képpárokat, a jól bevált sűrű vagy ritka mintaillesztő algoritmusok is alkalmazhatóak.

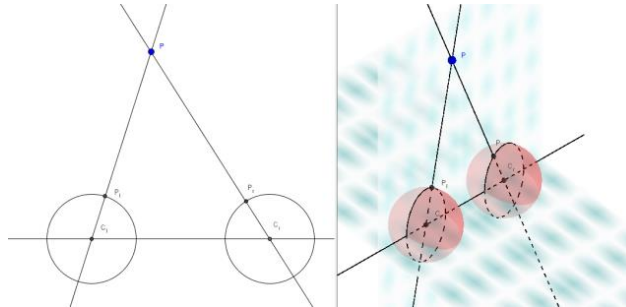
3.4. Trianguláció szférikus rekonstrukció esetén

A trianguláció célja, hogy térbeli pontokat rendeljen az illesztés során meghatározott pontpárokhoz. Ebből a ponthalmazból áll össze a rekonstrukció végeredménye a rekonstruált 3D pontfelhő [3].

A triangulációs eljárás során a rektifikált képpáron - az illesztés eredményeként - keletkező egymásnak megfelelő képpontokhoz fénysugarakat rendelünk, és ezek térbeli metszéspontja adja meg a 3D pontot. A szférikus modell alkalmazásával ez a művelet egyszerűbben elvégezhető, mint normál perspektív modell alkalmazása esetén.

A 4. ábrán egy kétkamerás rendszer szférikus vetítése látható. A P térbeli pont vetülete a P_l és P_r pontok az egységömbök felszínén.

A rektifikált képen detektált pontok a - rektifikáció során használt összefüggések segítségével - visszaalakíthatók az egységömbön értelmezhető polárkoordinátákra. Az így megkapott θ és α szögekből és a kamerák közti távolságokból a 4. ábrán látható PC_lC_r háromszög felhasználásával kiszámíthatók a P pont 3D koordinátái.

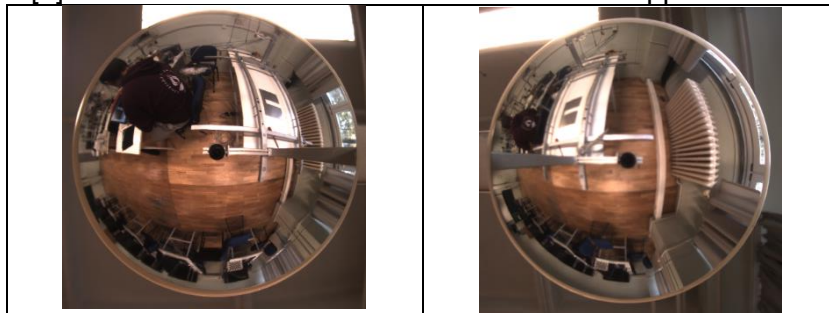


4. ábra. Szférikus trianguláció

A fent bemutatott eljárásból látható, hogy a szférikus modell alkalmazásával a trianguláció megoldható egyszerűen trigonometrikus függvények alkalmazásával.

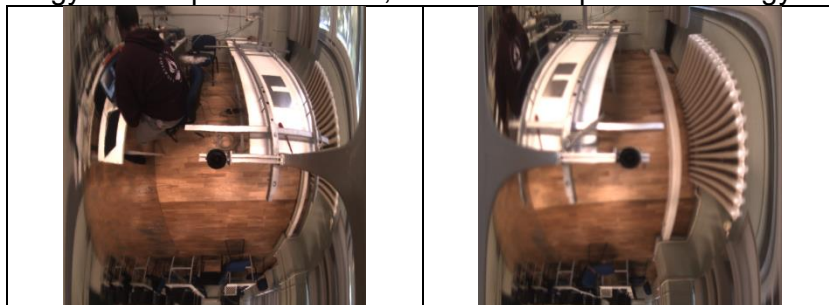
4. Eredmények

Az előző fejezetben bemutatott rekonstrukciós eljárást valós kameraképeken alkalmaztuk. A kamerarendszer két saját tervezésű omnidirekcionális kamerából áll, amelyek hiperboloid tükörrel vannak felszerelve [1]. Az 5. ábrán a kamerarendszerrel készült képpár látható.



5. ábra. Eredeti képpár

A 3.2 fejezetben leírt rektifikációs eljárást alkalmazva az eredeti képekre a 6. ábrán látható rektifikált képeket kaptuk. Jól látható, hogy az eredeti képeken látható görbék, amelyek a két kamerát összekötő egyenessel párhuzamosak, a rektifikált képeken ismét egyenesnek látszanak.

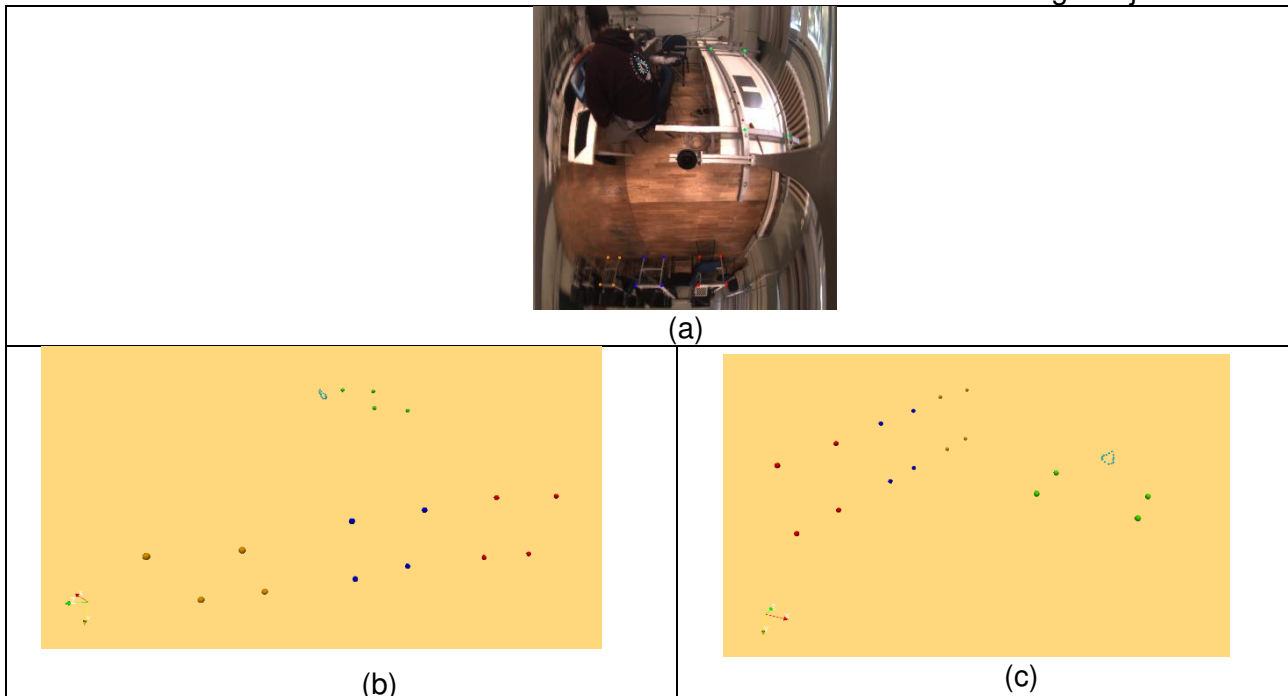


6. ábra. Rektifikált képpár

A szférikus rekonstrukció alkalmazásához pontpárokat detektáltunk a rektifikált képeken (lásd: 7.a. ábra színes pontok). A 7. b. és c. ábrán a trianguláció eredményeként kiszámolt pontokat láthatjuk - a különböző objektumokat különböző színnel megjelenítve.

5. Összegzés

A cikkben bemutattunk egy rekonstrukciós eljárást, amely képes az omnidirekcionális kamerákból származó képeken is működni. Ennek megvalósításához a szférikus modellt és a szférikus rektifikációt alkalmaztuk, melyeket részletesen tárgyaltunk. Az elméleti eredmények alkalmazásaként valós omnidirekcionális kamerarendszerekből származó képek objektumpontjait rekonstruáltuk. Az így kapott ponthalmaz alapján megállapítható, hogy a rekonstrukciós eljárás alkalmazható erre a speciális vetítési modellre. Az eredmények rámutatnak, hogy a perspektív kamerák esetén előforduló elmozdulások és torzulások szférikus modell esetén markánsabban jelentkeznek. Ezért a jól bevált sűrű illesztő algoritmusokat nem tudjuk majd alkalmazni a rekonstrukció során. Ezen tapasztalatok alapján tervezzük, hogy a rekonstrukciós eljárást az omnidirekcionális kamerák esetén is alkalmazható sűrű illesztő alkalmazással egészítjük ki.



7. ábra. Rekonstruált pontok

Köszönetnyilvánítás

A cikk a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0012 "A tudományos képzés műhelyeinek támogatása - A tudomány művelői és műhelyei a Kecskeméti Főiskolán" pályázat támogatásával jött létre.

Irodalomjegyzék

- [1] Gábor Kátai-Urbán, Ferenc Koszna and Zoltán Megyesi. Composition and Calibration of a Custom Made Omnidirectional Camera, 13th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY2015), Subotica, Serbia, 2015
- [2] Gábor Kátai-Urbán, Zoltán Megyesi. Omnidirectional cameras in car mounted camera systems, 5th International Scientific and Expert Conference TEAM 2013, Prešov, Slovakia, 2013
- [3] Scaramuzza, D., Martinelli, A., Siegwart, R.. "A toolbox for easy calibrating omnidirectional cameras" IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems 2006
- [4] Hartley, R.; Zisserman. A.; 2000. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

- [5] Li, S.;2008. Binocular Spherical Stereo. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 9, no. 4, 2008
- [6] Sonka, M.; Hlavac, V.; Boyle, R.; 2007. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson-Engineering, 2007.
- [7] C. Geyer and K. Daniilidis, "A unifying theory for central panoramic systems and practical applications," in European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 445–461, jun 2000.

Eloszláscsaládokhoz való illeszkedés vizsgálata

Goodness of fit to family of distribution

Osztényiné Krauczi Éva*

Természet- és Műszaki Alaptudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

illeszkedésvizsgálat,
határeloszlás-tétel

Keywords:

goodness-of-fit,
asymptotic distribution theorem

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Eloszláscsaládokhoz való illeszkedés vizsgálata a matematikai statisztikának a hipotézisvizsgálathoz tartozó területe. Ennek az összefoglaló cikknek az a célja, hogy áttekintést adjon az ezen a területen elért legelső eredményekről. Felidézzük az első teszteket, amelyekkel rögzített eloszláshoz való illeszkedést lehet ellenőrizni, valamint, hogy hogyan találták meg ezeknek a tesztstatisztikáknak a határeloszlásait. Majd az első összetett illeszkedésvizsgálati módszereket és határeloszlásukat elevenítjük fel. Ezen eljárások két nagy osztályát tárgyaljuk részletesen, az egyik a minta eloszlásának és az eloszláscsalád eloszlásainak távolságán alapuló tesztek, a másik a regresszió-, illetve korrelációtesztek.

Abstract

Goodness of fit to family of distribution belongs to hypothesis tests of mathematical statistics. The goal of this paper is to give a summary of the first results of this area. For the overview we recall the first tests which are suitable for goodness of fit to a fixed distribution paying special attention to the development of the asymptotic theory of goodness of fit tests. The goodness of fit to family of distributions and their asymptotic theories are considered, focusing on two classes of this procedure: tests of fit based on the empirical distribution function (EDF), and the regression and correlation tests of fit.

1. Bevezetés

A hipotézisvizsgálat, és ezen belül az illeszkedésvizsgálat fontos területe a matematikai statisztikának. Arra a kérdésre, hogy mikor merült fel az első ilyen típusú probléma az emberiség történetében, a teljes ismeret hiányában nem tudunk teljes bizonyossággal válaszolni. Annyit tudunk, hogy 1812-ben Laplace csillagászati vizsgálataiban statisztikai módszert használt annak a hipotézisnek az eldöntésére, hogy a naprendszer üstökösei szerves részei a naprendszernek, vagy csak külső behatolók. Ha csak külső behatolók az üstökösök, akkor pályasíkjuk és az ekliptika közötti szög egyenletes eloszlású kell legyen a $(0, 2\pi)$ intervallumon, vagyis egy illeszkedésvizsgálatot kellett elvégeznie.

Az illeszkedésvizsgálat igazi úttörői K. Pearson, E. S. Pearson, A. Fisher és J. Neymann voltak, akik az első eljárásokat dolgozták ki annak a hipotézisnek az eldöntésére, hogy egy véletlen mennyiség eloszlása a minta gyakoriságeloszlása alapján tekinthető-e egy megadott F eloszlással megegyezőnek. Ezt nevezzük egyszerű illeszkedésvizsgálatnak. Később szükség lett olyan eljárásokra is, melyekkel arról a hipotézisről tudtak döntést hozni, hogy a minta egy megadott eloszláscsaládból származik-e. Ezeket az eljárásokat nevezzük összetett illeszkedésvizsgálatnak.

Ennek a cikknek az a célja, hogy bemutassa az összetett illeszkedésvizsgálat első fontos eljárásait. Ehhez del Barrio, Cuesta-Albertos és Matrán [17] cikkét használtuk, amely cikkben egy kitűnő összefoglalás található. Az eljárások bemutatása alatt egyrészt a pontos módszer, a tesztstatisztika, másrészt a tesztstatisztika határeloszlásának megadását értjük. A 2. fejezetben a rögzített eloszláshoz illeszkedés vizsgálatára használt legelső módszereket mutatjuk be. A 3. fejezetben az összetett illeszkedésvizsgálati eljárásokat tárgyaljuk. Ezen eljárások két nagy osztályát mutatjuk be részletesen, az egyik a minta eloszlásának és az eloszláscsalád eloszlásainak távolságán alapuló tesztek (3.1. fejezet), a másik a regresszió-, illetve korrelációtesztek (3.2. fejezet).

*Kapcsolattartó szerző.

E-mail cím: osztényine.eva@gamf.kefo.hu

A következőkben bevezetjük az általunk használt jelöléseket. A nemnegatív egészek halmazát \mathbb{N} , a valós számok halmazát \mathbb{R} és a komplex számok halmazát \mathbb{C} jelöli. Minden véletlen változó ugyanazon (Ω, \mathcal{A}, P) valószínűségi mezőn van definiálva. Jelölje \mathbf{I}_A az A esemény indikátor változóját. Legyenek X_1, \dots, X_n független azonos eloszlású véletlen változók, vagyis egy statisztikai minta. Jelölje $F(x)$, $x \in \mathbb{R}$, a változók közös eloszlásfüggvényét, és

$$Q_F(t) = F^{-1}(t) := \inf\{x \in \mathbb{R} : F(x) \geq t\}, \quad t \in (0, 1), \quad (1)$$

az F eloszlásfüggvény kvantilisfüggvényét. Legyen

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_k, \quad S_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X}_n)^2, \quad \text{illetve} \quad m_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X}_n)^i \quad (2)$$

a minta átlaga, szórásnégyzete, illetve i -edik centrális momentuma. Jelölje

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{I}_{\{X_k \leq x\}}, \quad \text{illetve} \quad \alpha_{F,n}(x) = \sqrt{n}(F_n(x) - F(x)), \quad x \in \mathbb{R}, \quad (3)$$

az empirikus eloszlásfüggvényt, illetve az empirikus folyamatot. A rendezett mintára az $X_{1,n}, \dots, X_{n,n}$, a minta kvantilisfüggvényére pedig a $Q_n(t)$, $t \in [0, 1]$ jelölést használjuk. Vegyük észre, hogy tetszőleges $k = 1, 2, \dots, n$ és $t \in ((k-1)/n, k/n]$ esetén $Q_n(t) = X_{k,n}$.

Jelölje Φ a standard normális eloszlásfüggvényt, φ a hozzá tartozó sűrűségfüggvényt jelöli. Legyen minden $\sigma > 0$ és minden $\mu \in \mathbb{R}$ esetén $N_\sigma^\mu(x) = \Phi((x - \mu)/\sigma)$, $x \in \mathbb{R}$, a μ várható értékű és σ szórású normális véletlen változó eloszlásfüggvénye, valamint használjuk az $\mathcal{N} = \{N_\sigma^\mu : \sigma > 0, \mu \in \mathbb{R}\}$ jelölést a normális eloszláscsaládra, vagyis az összes normális eloszlás osztályára.

Ha a minta a $[0, 1]$ intervallumon egyenletes eloszlásból származik, speciálisan jelölje G_n az empirikus eloszlásfüggvényét. Az egyenletes empirikus folyamatot

$$\alpha_n(t) = \sqrt{n}(G_n(t) - t), \quad t \in [0, 1], \quad (4)$$

a Brown-hidat $B(t)$, $t \in [0, 1]$ jelöli. Ez utóbbi egy mintafolytonos, $E(B(t)) = 0$ várható értékű és $\text{Cov}(B(s), B(t)) = \min(s, t) - st$, $s, t \in [0, 1]$, kovarianciafüggvényű Gauss-folyamat.

Két metrikus térre lesz szükség. Az egyik a $\mathcal{C}[0, 1]$ tér, amely definíció szerint az összes $[0, 1]$ intervallumon értelmezett, valós értékű, folytonos függvények halmaza. A $\mathcal{C}[0, 1]$ tér a

$$\|x\|_\infty := \sup_{0 \leq t \leq 1} |x(t)|, \quad x \in \mathcal{C}[0, 1], \quad (5)$$

úgynevezett suprémum normával van ellátva, mellyel ez a tér teljes, szeparábilis metrikus tér lesz. A másik a $\mathcal{D}[0, 1]$ tér, mely azon $[0, 1]$ intervallumon értelmezett, valós értékű függvények halmaza, amelyek jobbról folytonosak és van baloldali határértékük. Ez a tér egy olyan távolsággal van ellátva, melyet Szkorohod vezetett be, és amivel ez is teljes, szeparábilis metrikus tér. A Brown-híd a $\mathcal{C}[0, 1]$, az egyenletes empirikus folyamat a $\mathcal{D}[0, 1]$ tér véletlen eleme.

A cikkben minden konvergencia úgy értendő, amint $n \rightarrow \infty$. A $\rightarrow_{\mathcal{D}}$ az eloszlásban való, a $\rightarrow_{\mathcal{P}}$ pedig a sztochasztikus konvergenciát jelöli. Az eloszlásbeli egyenlőséget $=_{\mathcal{D}}$ jelöli.

2. Illeszkedésvizsgálat rögzített eloszlás esetén

Az egyszerű illeszkedésvizsgálat azt jelenti, hogy a minta egy adott, rögzített $F_0(x)$, $x \in \mathbb{R}$, eloszlásfüggvényhez való illeszkedését vizsgáljuk. Adott egy X_1, \dots, X_n véletlen minta egy ismeretlen $F(x)$, $x \in \mathbb{R}$, eloszlásfüggvényű véletlen változóból. Döntsük el a minta alapján, igaz-e az az egyszerű nullhipotézis, hogy

$$\mathcal{H}_0 : F = F_0.$$

A *Pearson-féle χ^2 -tesztet* tekinthetjük az első ilyen illeszkedésvizsgálatnak [36]. Az ötlet a következő: osszuk fel a valós egyenest k db páronként diszjunkt cellára, melyek együtt lefedik az egész valós egyenest. Legyenek ezek a C_1, \dots, C_k cellák olyanok, hogy a nullhipotézis mellett annak a valószínűsége, hogy a véletlen változó beleesik ezekbe a cellákba rendre p_1, \dots, p_k . Vagyis, ha $F = F_0$, akkor $P(X_1 \in C_i) = p_i$, $i = 1, \dots, k$. Legyen O_i az i -edik cellába eső megfigyelések száma. Ekkor O_i binomiális eloszlású n és p_i paraméterekkel. Így a Moivre–Laplace-tétel szerint

$$\frac{O_i - np_i}{\sqrt{np_i(1 - p_i)}} \xrightarrow{\mathcal{D}} \mathcal{N}(0, 1). \quad (6)$$

A többváltozós centrális határeloszlás tétel azt állítja, hogy ha $l \leq k$, akkor a

$$B_l = \frac{1}{\sqrt{n}} (O_1 - np_1, \dots, O_l - np_l)^\top \quad (7)$$

véletlen vektornak van határeloszlása. A határeloszlás a nulla várható értékű és $\Sigma_l = (\sigma_{i,j})_{i,j=1,\dots,l}$ kovarianciamátrixú normális eloszlás, ahol a kovarianciamátrix elemei $\sigma_{i,j} = -p_i p_j$, $i \neq j$ esetén, és $\sigma_{i,i} = p_i(1 - p_i)$. Sőt, ha $p_i > 0$ minden $i = 1, \dots, k$ esetén, akkor a Σ_{k-1} kovarianciamátrixnak létezik inverze, $\Sigma_{k-1}^{-1} = (\nu_{i,j})_{i,j=1,\dots,k-1}$, melynek elemei $\nu_{i,j} = p_k^{-1}$, $i \neq j$ esetén, és $\nu_{i,i} = p_i^{-1} + p_k^{-1}$. Ekkor könnyen látható, hogy

$$\chi^2 := \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - np_j)^2}{np_j} = B_{k-1}^\top \Sigma_{k-1}^{-1} B_{k-1} \xrightarrow{\mathcal{D}} \chi_{k-1}^2, \quad (8)$$

így kapjuk meg a következő jól ismert aszimptotikus eredményt.

2.1. Tétel. *A nullhipotézis teljesülése mellett χ^2 aszimptotikus eloszlása χ_{k-1}^2 .*

A teszt hátránya, hogy nagy szabadságot enged a cellák méretének, helyének és számának megválasztásában. Például nem tud különbséget tenni két különböző eloszlás között, melyek a kiválasztott cellákhoz azonos valószínűséget rendelnek.

Az illeszkedésvizsgálati eljárások következő nagy osztálya az *EDF* (Empirical Distribution Function)-tesztek. Ezen tesztek alapötlete az, hogy mérjük meg az F_0 hipotetikus eloszlásfüggvény és a mintából számolt F_n empirikus eloszlásfüggvény távolságát, és ezen eltérés nagysága alapján döntünk a megegyezésről, illetve különbözőségről. Az egyes tesztek abban különböznek egymástól, hogy hogyan mérjük meg a két függvény távolságát.

Az első ilyen teszt Cramér (1928), [7], ennek általánosított változata pedig von Mises (1931), [48] névéhez fűződik. A von Mises-féle tesztstatisztika

$$\omega_n^2 := n \int_{-\infty}^{\infty} (F_n(x) - F_0(x))^2 w(x) dx \quad (9)$$

alakban van definiálva, tehát súlyozott L^2 -normában méri a két függvény távolságát, ahol w a különbözőséget alkalmasan mérő súlyfüggvény. Speciálisan a Cramér-teszt a $w \equiv 1$ választással adódik. Kolmogorov (1933), [29] a suprémum normát használja, a kétoldali tesztstatistikája

$$D_n := \sqrt{n} \sup_{x \in \mathbb{R}} |F_n(x) - F_0(x)|, \quad (10)$$

Szmirnov (1939, [43], 1941, [44]) egyoldali tesztstatistikái

$$D_n^+ := \sqrt{n} \sup_{x \in \mathbb{R}} (F_n(x) - F_0(x)), \quad D_n^- := \sqrt{n} \sup_{x \in \mathbb{R}} (F_0(x) - F_n(x)), \quad (11)$$

melyekre $D_n = \max(D_n^+, D_n^-)$. A három statisztikát együtt *Kolmogorov–Szmirnov-statisztikáknak* nevezik. Ezen statisztikák előnye, hogy eloszlásmentes statisztikák, vagyis minden folytonos F_0 eloszlásfüggvény esetén, a nullhipotézis mellett

$$D_n \stackrel{\mathcal{D}}{=} \sup_{0 \leq t \leq 1} |\alpha_n(t)|, \quad D_n^+ \stackrel{\mathcal{D}}{=} \sup_{0 \leq t \leq 1} \alpha_n(t), \quad \text{és} \quad D_n^- \stackrel{\mathcal{D}}{=} \sup_{0 \leq t \leq 1} (-1)\alpha_n(t). \quad (12)$$

Így minden folytonos eloszlás esetén, adott szignifikanciaszinthez és mintamérethez ugyanaz a kritikus érték tartozik. Ez a tulajdonság nem teljesül az ω_n^2 statisztikára, de a Szmirnov (1936), [41], (1937), [42] által javasolt

$$W_n^2(\Psi) := n \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(F_0(x)) (F_n(x) - F_0(x))^2 dF_0(x) \quad (13)$$

változatára már igen. Az összes ilyen statisztikát, amit Ψ változtatásával kapunk, *Cramér–von Mises-típusú statisztikáknak* nevezünk, ahol Ψ tetszőleges valós értékű, a valós számok halmazán értelmezett függvény. A különböző súlyfüggvények használata lehetőséget ad különböző alternatívák felismerésére, éppen ezért a Kolmogorov-statisztikának is megadták a súlyozott változatát:

$$K_n(\Psi) := \sqrt{n} \sup_{x \in \mathbb{R}} \frac{|F_n(x) - F_0(x)|}{\Psi(F_0(x))}. \quad (14)$$

Bár ez se bírta kompenzálni azt a hiányát a suprémum normának, hogy csak a legnagyobb eltérést érzékeli F_n és F_0 között, amíg az L^2 -norma ezen két függvény súlyozott átlagos távolságát méri. Ezen heurisztikus

megfigyelést a szimuláció is alátámasztja. Például Krauczi (2009), [30] a normális eloszláscsaládhoz való illeszkedésvizsgálat esetében azt találta, hogy a Kolmogorov-tesztnek a legtöbb alternatívával szembeni ereje jóval kisebb, mint más próbák ereje, ahol erő alatt, annak az eseménynek a valószínűségét értjük, hogy a teszt visszautasítja a normális mintát.

Két statisztika különös figyelmet kapott az irodalomban. A $\Psi \equiv 1$ esetén,

$$W_n^2 := n \int_{-\infty}^{\infty} (F_n(x) - F_0(x))^2 dF_0(x) \quad (15)$$

a *Cramér–von Mises-statisztika*; valamint a $\Psi(t) = (t(1-t))^{-1}$, $t \in (0, 1)$, mellett

$$A_n^2 := n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(F_n(x) - F_0(x))^2}{F_0(t)(1 - F_0(t))} dF_0(x) \quad (16)$$

az *Anderson–Darling-statisztika* [2], mely utóbbi a szimulációs vizsgálatok alapján a legerősebb ilyen típusú tesztnek tűnik (lásd például Stephens [45], Krauczi [30]).

Ahhoz, hogy használni tudjuk a gyakorlatban ezeket a tesztek, ismernünk kell az eloszlásfüggvényüket tetszőleges $n \in \mathbb{N}$ esetén, vagy legalább az aszimptotikus eloszlásukat. Szmirnov (1941), [44] explicit formában meg tudta adni D_n^+ eloszlásfüggvényét tetszőleges n esetén, Kolmogorov (1933), [29] pedig megadott egy rekurzív kifejezést, amivel kiszámítható $P(D_n < x)$ valószínűség tetszőleges $n \in \mathbb{N}$ és $x \in \mathbb{R}$ esetén. A Cramér–von Mises-típusú statisztikák eloszlásfüggvényének a megtalálása már nehézséget okozott. Akkoriban Monte-Carlo szimuláció hiányában fontos kérdés volt, hogy ki tudják-e számolni a kritikus értékeket rögzített $n \in \mathbb{N}$

esetén. Emellett a határeloszlás kérdése elméleti, de gyakorlati szempontból is érdekes volt. Az első aszimptotikus eredményt is a Kolmogorov–Szmirnov-típusú statisztikákra sikerült megkapni:

2.2. Tétel. Minden $x > 0$ esetén
(Kolmogorov 1933, [29])

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n \leq x) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j e^{-2j^2 x^2}, \quad (17)$$

(Szmirnov 1941, [44])

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n^+ > x) = \lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n^- < x) = e^{-2x^2}. \quad (18)$$

Feller (1948), [22] megjegyezte, hogy Kolmogorov és Szmirnov teljesen különböző módszerrel bizonyították állításukat, és megpróbálta egységesíteni a bizonyításukat. Mivel a D_n , D_n^+ és W_n^2 statisztikák az F_n empirikus és az F_0 elméleti eloszlásfüggvények eltérését mérik, vagyis az $\alpha_{F,n}$ empirikus folyamat funkcionáljai, ezért ezen statisztikák \mathcal{H}_0 melletti határeloszlásait valami közös technikával lehetne származtatni. Így Feller cikke fontos lépés az empirikus folyamatra épített illeszkedésvizsgálat aszimptotikus elméletének egységesítésében. Bár ekkor még magát az empirikus folyamatot és az ő határeloszlását nem vizsgálták.

Doob (1949), [19] a véges dimenziós eloszlásokat vizsgálva sejtette meg az egyenletes empirikus folyamatnak a Brown-hídhöz való konvergenciáját, de bizonyítani nem tudta. Viszont bizonyította, hogy minden $x > 0$ esetén

$$P\left(\sup_{0 \leq t \leq 1} |B(t)| \leq x\right) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j e^{-2j^2 x^2} \quad (19)$$

és

$$P\left(\sup_{0 \leq t \leq 1} B(t) > x\right) = e^{-2x^2}, \quad (20)$$

vagyis az egyenletes empirikus folyamat abszolút szuprémum és szuprémum funkcionáljainak határeloszlása megegyezik a Brown-híd ugyanezen funkcionáljainak eloszlásával. Ez azt jelenti, hogy ha Doob sejtése igaz, akkor Kolmogorov és Szmirnov eredményeire talán egyszerűbb bizonyítás adható. Donsker (1951), [18] invariancia elve által nyert bizonyítást a sejtés. Az invariancia elv a következőt jelenti. A részletösszeg folyamat minden folytonos funkcionáljának eloszlása konvergál a Brown-mozgás megfelelő funkcionáljának eloszlásához, illetve az egyenletes empirikus folyamat minden folytonos funkcionáljának eloszlása konvergál a Brown-híd megfelelő funkcionáljának eloszlásához.

Ezen eredmények hatására fejlődött ki a metrikus terekben való gyenge konvergencia elmélete többek között Kolmogorovnak, Prohorovnak és Szkorohodnak köszönhetően, amely elmélet segített jobban megérteni az invariancia elvet. Erről szól Billingsley 1968-as könyve [3]. Fontos lépés volt, hogy kidolgozták az elméletet a $\mathcal{C}[0, 1]$ és a $\mathcal{D}[0, 1]$ tereken. Először a részletösszeg és az empirikus folyamatokat lineáris interpolációval kapott folytonos folyamatokkal közelítették, hogy ne kelljen $\mathcal{C}[0, 1]$ térből kilépniük. Ezen új folyamat sorozatokra

bizonyították a véges dimenziós eloszlások konvergenciáját és a sorozat feszességét, amely kettő tulajdonság együtt a folyamatok eloszlásbeli konvergenciáját adja. A folytonos folyamatokkal való közelítés valahogy meszterkél. Ahhoz, hogy ezt el tudjuk kerülni, egy gazdagabb téren kell dolgoznunk. Ez a gazdagabb tér a $\mathcal{D}[0, 1]$ tér, amelynek már maga az empirikus folyamat is eleme.

2.3. Tétel. Az $\alpha_n \xrightarrow{\mathcal{D}} B$ konvergencia teljesül a $\mathcal{D}[0, 1]$ téren.

A 2.3. Tétel lehetővé teszi a 2.2. Tétel természetesebb bizonyítását. Vegyük észre, hogy az $x \mapsto \|x\|_\infty$ leképezés folytonos a Szkorohod-topológiára nézve egy B mértéke szerint nulla mértékű halmazzal kivéve, és mivel $D_n = \|\alpha_n\|_\infty$, ekkor $D_n \xrightarrow{\mathcal{D}} \|B\|_\infty$. Hasonló konvergencia teljesül a D_n^+ és a D_n^- statisztikák esetében.

A 2.3. Tétel teszi lehetővé a Cramér–von Mises-statisztika határeloszlásának meghatározását is. Az $x \mapsto \int_0^1 x^2(t)dt$ funkcionál szintén folytonos a Szkorohod-topológiára nézve egy B mértéke szerint nulla mértékű halmazzal kivéve. Így a fenti érvelés ismételt alkalmazásával kapjuk, hogy

$$W_n^2 \xrightarrow{\mathcal{D}} \int_0^1 B(t)^2 dt. \quad (21)$$

Innen pedig egy lépés a Cramér–von Mises-típusú statisztikák határeloszlása. Mint a Brown-hidakra vonatkozó iterált logaritmus tétel következményeként Anderson és Darling 1952-ben megmutatta [2], hogy feltéve az

$$\int_0^\delta \Psi(t)t \log \log \frac{1}{t} dt \quad \text{és} \quad \int_\delta^1 \Psi(t)(1-t)t \log \log \frac{1}{1-t} dt \quad (22)$$

integrálok végességét valamilyen $\delta \in (0, 1)$ esetén, az $x \mapsto \int_0^1 \Psi(t)x^2(t)dt$ funkcionál folytonos a Szkorohod-topológiára nézve egy B mértéke szerint nulla mértékű halmazzal kivéve, és ennek következményeként

$$W_n^2(\Psi) \xrightarrow{\mathcal{D}} \int_0^1 \Psi(t)B(t)^2 dt. \quad (23)$$

Ez a konvergencia az Anderson–Darling-féle súlyfüggvény esetén is teljesül.

3. Illeszkedésvizsgálat eloszláscsalád esetén

Ebben a fejezetben azokat a teszteket tekintjük, ahol a kérdés az, hogy a minta egy adott eloszláscsaládból származik-e. Itt legyen \mathcal{F} eloszlásfüggvények egy parametrikus eloszláscsaládja, azaz

$$\mathcal{F} = \{F(\cdot, \theta) : \theta \in \Theta\}, \quad (24)$$

ahol Θ valamilyen nyitott paraméterhalmaz \mathbb{R}^d -ben.

Az első vizsgálatok normális eloszláscsalád esetében történtek. Fisher (1930), [24], Pearson (1930), [36] és Williams (1935), [52] voltak az elsők, akik a $\sqrt{\beta_1} = m_3/m_2^{2/3}$ és $\beta_2 = m_4/m_2^2$ standardizált harmadik és negyedik momentumok segítségével mérték meg a normalitástól való eltérést. Pearson, D'Agostino és Bowman (1977), [35] a $\sqrt{\beta_1}$ és β_2 két alkalmas függvényét használta erre. Ezekkel a tesztekkel az a probléma, hogy az előbbi lapultsági és a ferdeségi mutató kevés, hogy karakterizálja a normális eloszlást. Ennek az a következménye, hogy ezek a tesztek olyan nemnormális eloszlásból származó minta esetén, amely ugyan szimmetrikus és a lapultsági mutatója ugyanúgy 3, mint normális eloszlásé, de az alakja nagyon különbözik a normálistól, mégis elfogadják a nullhipotézist. Másrészt a gyakorlati alkalmazások szempontjából az is fontos, hogy ha egy eloszlás kicsit különbözik a normális eloszlástól a teszt azt ne vesse el. Például Ali (1977), [1] adott egy olyan sorozatát eloszlásoknak, amely ugyan eloszlásban tart a standard normális eloszláshoz, de a lapultsági mutatója felrobban. Vagyis, ha a sorozat elég nagy indexű tagjából származik a mintánk, akkor nagy eséllyel ezek a tesztek elutasítják, pedig valójában közel normális eloszlásról van szó.

Más normalitás tesztek, például az

$$u := \frac{X_{n,n} - X_{1,n}}{\left(\frac{n}{n-1}\right)^{\frac{1}{2}} m_2^{\frac{1}{2}}}$$

statisztika (David, Hartley és Pearson 1954, [15]) a terjedelem és a szórás, valamint az

$$a := \frac{\sum_{j=1}^n |X_j - \bar{X}_n|}{n \cdot m_2^{\frac{1}{2}}}$$

statisztika (Geary 1947, [25]) a mintaátlagtól való átlagos abszolút eltérés és a szórás hányadosából származtatott tesztek. Ezek a tesztek csak egyes alternatívákkal szemben viselkednek jól, de kicsi erővel bírnak alternatívák széles skálájával szemben.

A következő alfejezetben azokat a teszteket mutatjuk be, amelyeket rögzített eloszláshoz való illeszkedés-tesztek átdolgozásaként kapunk.

3.1. Eloszláscsalád tesztelése rögzített eloszláshoz való illeszkedésvizsgálat segítségével

A 2. fejezetben rögzített eloszláshoz való illeszkedés teszteket tekintettünk. Egy lehetőség, hogy eloszláscsaládhoz való illeszkedést teszteljünk ezekkel a tesztekkel, ha a θ paraméternek a \mathcal{H}_0 mellett egy $\hat{\theta}_n$ becslését véve azt ellenőrizzük, hogy a minta $F(x, \hat{\theta}_n)$, $x \in \mathbb{R}$, eloszlásfüggvényű-e. Ezt javasolta Pearson a χ^2 -tesztje esetében. Legyen

$$\hat{\chi}^2 := \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - np_j(\hat{\theta}_n))^2}{np_j(\hat{\theta}_n)}, \quad (25)$$

ahol $p_j(\theta)$ annak a valószínűsége, hogy X_1 a j -edik cellába esik $F(x, \theta)$, $x \in \mathbb{R}$, mellett. Pearson nem tudta megadni $\hat{\chi}^2$ aszimptotikus eloszlását. Fisher volt az, aki rámutatott arra, hogy a határeloszlás függ a paraméter becslésének módszerétől, és megmutatta, hogy a szokásos feltételek mellett, ha a θ maximum-likelihood becslését vesszük a csoportosított (O_1, \dots, O_k) adatokon, akkor a $\hat{\chi}^2$ statisztikának χ_{k-d-1}^2 a határeloszlása (lásd Cochran 1952, [6]).

Fisher azt is megfigyelte, hogy a csoportosított (O_1, \dots, O_k) mintából származó $\hat{\theta}_n$ becslésből adódó információvesztés erőcsökkenést eredményez. Ezért Fisher abban az esetben is megvizsgálta $\hat{\chi}^2$ határeloszlását, amikor a θ paraméter egydimenziós, és a teljes mintából vesszük a θ paraméter maximum-likelihood becslését. Az eredményét Chernoff és Lehmann (1954), [5] d -dimenziós paraméterre általánosította, nevezetesen, hogy megfelelő feltételek mellett

$$\hat{\chi}^2 \xrightarrow{D} \sum_{j=1}^{k-d-1} Z_j^2 + \sum_{j=k-d}^{k-1} \lambda_j Z_j^2, \quad (26)$$

ahol Z_j független standard normális változók, és $\lambda_j \in [0, 1]$, $j = k-d, \dots, k-1$, olyan konstans, amely függhet a θ paraméter igazi értékétől. Ez a függés mutatja az egyik nagy hátrányát a $\hat{\chi}^2$ -teszt használatának eloszláscsalád esetében.

A másik nehézség a $\hat{\chi}^2$ -teszt használatában a cellák választása. Az O_i cellagyakoriságok aszimptotikus normalitásának a következménye a Pearson-féle statisztika aszimptotikus χ_{k-1}^2 -eloszlása. Viszont egy kicsi várható gyakorisággal rendelkező cella esetében az O_i változó nagyon lassan konvergál a normális eloszláshoz, ami azt eredményezi, hogy a (26) konvergencia lassú. Vagyis az asszimptotikus kritikus értékek használatának létjogosultsága sérülne ebben az esetben. A gyakorlatban ezt úgy próbálják meg elkerülni, hogy „olyan cellákat használnak, amelyekbe legalább 10 megfigyelés esik” (lásd Cochran 1952, [6]).

A cellák jó választására nézve Mann és Wald (1942), [34] valamint Gumbel (1943), [26] azt javasolták rögzített eloszlás esetén, hogy a nullhipotézis mellett azonos valószínűségű cellákat használjunk, ezáltal csökkentve a cellák választásának esetlegességét. Ez a gondolat paraméteres eloszláscsalád esetére úgy vihető át, hogy először vegyünk valamilyen alkalmas becslését θ -nak, majd $F(x, \hat{\theta}_n)$, $x \in \mathbb{R}$, mellett azonos valószínűségű cellákat használjunk. Vagyis megint véletlenül fogunk cellákat választani! Ugyanúgy a minta határozza meg, hogy melyik cellákat használjuk, mint amikor olyan cellákat választunk, amelyekbe legalább 10 megfigyelés esik. Watson(1957, [49], 1958 [50]) megmutatta, ha $\hat{\theta}_n$ a teljes mintából származó maximum-likelihood becslése θ -nak, valamint a j -edik cella végpontjai $F^{-1}((j-1)/k, \hat{\theta}_n)$ és $F^{-1}(j/k, \hat{\theta}_n)$, akkor (26) teljesül. Továbbá, ha \mathcal{F} eltolás-skála család, akkor a λ_j együtthatók nem függnek a θ paramétertől, csak az eloszláscsaládtól.

Az EDF-tesztek adaptációja eloszláscsaládok esetére könnyen kivitelezhető, és hasonlóan a rögzített eloszlás esetére, ezek a tesztek jobb erővel bírnak, mint a $\hat{\chi}^2$ -tesztek. Legyen $\hat{\theta}_n$ valamilyen becslése θ -nak. Ekkor a megfelelő becsléses statisztikák

$$\widehat{W}_n^2(\Psi) := n \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(F(x, \hat{\theta}_n)) (F_n(x) - F(x, \hat{\theta}_n))^2 dF(x, \hat{\theta}_n) \quad (27)$$

és

$$\hat{K}_n(\Psi) := \sqrt{n} \sup_{x \in \mathbb{R}} \frac{|F_n(x) - F(x, \hat{\theta}_n)|}{\Psi(F(x, \hat{\theta}_n))}. \quad (28)$$

A $\Psi \equiv 1$ esetben a két statisztikát a \widehat{W}_n^2 és \hat{K}_n jelöli. A kívánatos eloszlásmentesség, ami a rögzített esetben teljesült, itt sajnos nem igaz. Legyen $Z_i = F(X_i, \hat{\theta}_n)$, és $\hat{G}_n(t)$, $t \in [0, 1]$ jelölje a Z_1, \dots, Z_n változókhoz tartozó empirikus eloszlásfüggvényt. Ekkor

$$\widehat{W}_n^2(\Psi) = n \int_0^1 \Psi(t)(\hat{G}_n(t) - t)^2 dt \quad (29)$$

és

$$\hat{K}_n(\Psi) = \sqrt{n} \sup_{0 < t < 1} \frac{|\hat{G}_n(t) - t|}{\Psi(t)}. \quad (30)$$

Tehát a két statisztika értéke csak a \hat{G}_n függvénytől függ. Viszont Z_1, \dots, Z_n nem független, azonosan egyenletes eloszlású véletlen változók, ami azt eredményezi, hogy \hat{G}_n függvény funkcionáljainak eloszlására nem alkalmazhatók az eddigiek. Éppen ezért \hat{G}_n nem olyan, amivel klasszikus értelemben tudunk dolgozni. Számos fontos esetben Z_1, \dots, Z_n eloszlása nem függ a θ paramétertől, csak az eloszláscsaládtól, vagyis ekkor $\widehat{W}_n^2(\Psi)$ és $\hat{K}_n^2(\Psi)$ paramétermentes. Ez történik az eltolás-skála családok esetében, amikor olyan $\hat{\theta}$ becslést használunk, amiben a becslés felcserélhető a skálázással, illetve az eltolással (lásd David és Johnson 1948, [14]). Az eltolás-skála eloszláscsalád olyan család, ahol adott egy H_0 standardizált (0 várható értékű és 1 szórású) eloszlásfüggvény, és az eloszláscsalád többi tagja lineáris transzformációval kapható belőle. Lilliefors (1967), [33] ezt használta fel és készítette el a népszerű táblázatát a normális eloszláscsalád esetére a Kolmogorov–Szmirnov-statisztikához.

A becsléses $\widehat{W}_n^2(\Psi)$ és $\hat{K}_n^2(\Psi)$ típusú statisztikák határeloszlásának a meghatározására tett első kísérlet Darling nevéhez fűződik (1955), [13]. A becsléses Cramér–von Mises-statisztika aszimptotikus eloszlását tudta meghatározni abban az esetben, amikor a θ paraméter egydimenziós. Sukhatme (1972), [46] kiterjesztette Darling eredményét többdimenziós paraméterekre. Ezekben a cikkekben egy segéd folyamatot keresztül találtak meg \widehat{W}_n^2 határeloszlását.

Kac, Kiefer és Wolfowitz (1955), [28] viszont közvetlenül az

$$\hat{\alpha}_n(t) = \sqrt{n}(\hat{G}_n(t) - t), \quad t \in [0, 1],$$

becsléses empirikus folyamatot tanulmányozva kapták meg \widehat{W}_n^2 határeloszlását normális eloszláscsalád esetén a maximum-likelihood paraméterbecslésekkel: $\hat{\theta}_n = (\hat{X}_n, S_n^2)$. Ugyan a becsléses empirikus folyamatnak a gyenge konvergenciáját nem bizonyították, de megmutatták, hogy

$$\hat{W}_n^2 \xrightarrow{\mathcal{D}} \int_0^1 (Z(t))^2 dt, \quad (31)$$

ahol $Z(t)$, $t \in (0, 1)$ egy 0 várható értékű és

$$K(s, t) = \min(s, t) - st - \varphi(\Phi^{-1}(s))\varphi(\Phi^{-1}(t)) - \frac{1}{2}\Phi^{-1}(s)\varphi(\Phi^{-1}(s))\Phi^{-1}(t)\varphi(\Phi^{-1}(t)) \quad (32)$$

kovarianciafüggvényű Gauss folyamat.

A becsléses empirikus folyamat gyenge konvergenciájának általános vizsgálata Durbin nevéhez fűződik (1973), [20]. Az eloszláscsaládra és a paraméterre tett megfelelő regularitási feltételek mellett az $\hat{\alpha}_n$ empirikus folyamat gyengén konvergál a 0 várható értékű és $K(s, t)$, $s, t \in [0, 1]$ kovarianciafüggvényű Gauss folyamathoz. Durbin cikkjében explicit formulát adott a $K(s, t)$ kovarianciafüggvényre, és standard számolással megmutatott, hogy ennek speciális esete a Kac, Kiefer és Wolfowitz által megadott kovariancia.

Megjegyezzük, hogy Burke, Csörgő M., Csörgő S. és Révész (1979), [4] cikkéből következik Durbin eredménye. Ebben a cikkben a becsléses empirikus folyamatot Gauss folyamatok sorozatával közelítik. Azon túl, hogy Durbin tételéből következik a $\widehat{W}_n^2(\Psi)$ és $\hat{K}_n^2(\Psi)$ típusú statisztikák nullhipotézis melletti eloszlásbeli konvergenciája, a [4] cikk eredménye az aszimptotikus erők tanulmányozásának is eszköze lehet.

Az empirikus folyamatot tanulmányozó elmélet fejlődésének következményeként további illeszkedést vizsgáló technikák jelentek meg. Például Feuerverger és Mureika (1977), [23], valamint Csörgő S. (1981), [8] az empirikus karakterisztikus függvény aszimptotikus eloszlását vizsgálták. A Durbin-tétel analóg változatát empirikus karakterisztikus és kvantilis függvényekre Csörgő S. (1981), [9] és LaRiccia és Mason (1986), [31] dolgozták ki. Ezen eredmények segítségével új normalitás tesztek születtek, melyek közül Murota és Takeuchi (1981), Hall és Wels (1983), [27], Epps és Pulley (1983), [21] valamint Csörgő S. (1986a, 1989), [10], [11] eredményeit említjük meg.

Egy másik ötlet, hogy hogyan tudjuk a rögzített eloszlás esetében használt tesztelési eljárást parametrikus eloszláscsalád esetében használni, a *minimum távolság módszere*. Legyen δ egy metrika az eloszlásfüggvények halmazán. Ekkor $\Delta(F_n, \mathcal{F}) = \inf_{\theta} \delta(F_n, F(\cdot, \theta))$ egy lehetséges mértéke az empirikus eloszlásfüggvény \mathcal{F} parametrikus eloszláscsaládtól való távolságának. Pollard használta ezt először (1980), [37] és meghatározta $\Delta(F_n, \mathcal{F})$ határeloszlását, tetszőleges normált lineáris tér értékű véletlen változók esetében.

3.2. Regresszió- és korrelációtesztek

Ebben a fejezetben tegyük fel, hogy \mathcal{F} eltolás-skála család.

Az ötlet a következő. Legyen X_1, \dots, X_n az \mathcal{F} eloszláscsaládból származó μ várható értékű és σ^2 szórásnégyzetű minta. A korábbi jelöléseknek megfelelően legyen $\mathbf{X}_n = (X_{1,n}, \dots, X_{n,n})$ a mintához tartozó rendezett minta. Továbbá legyen $\mathbf{Z}_n = (Z_{1,n}, \dots, Z_{n,n})$ H_0 eloszlásfüggvényű rendezett minta, és jelölje $\mathbf{m} = (m_1, \dots, m_n)$ a várható érték vektorát és $V = (v_{ij})_{i,j=1,\dots,n}$ a kovarianciamátrixát. Könnyen látszik, hogy

$$X_{i,n} \stackrel{\mathcal{D}}{=} \mu + \sigma Z_{i,n}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (33)$$

Ha kétdimenziós koordináta-rendszerben ábrázoljuk az $(m_i, X_{n,i})$, $i = 1, \dots, n$ pontokat, akkor ezeknek közelítőleg egy egyenesre kell esniük, és a linearitás hiánya azt sugallja, hogy X_1 eloszlásfüggvénye nem \mathcal{F} -beli. Gyakran ezt csak „szemre” ellenőrzik, de vannak analitikus eljárások is ennek az ellenőrzésére. Két nagy osztálya van ezeknek az eljárásoknak: az egyik a *regresszió*, a másik a *korrelációtesztek*, mely különböző eljárások valójában ekvivalens tesztekre vezetnek.

Az egyik esetben a (33) lineáris model segítségével adunk egy $\hat{\sigma}_n^2$ becslést a σ^2 szórásnégyzetre és ezt hasonlítjuk össze az S_n^2 becsléssel. Ekkor a nullhipotézis mellett a $\hat{\sigma}_n^2/S_n^2$ tesztstatisztika értéke közel kell legyen 1-hez, ellenkező esetben elvetjük a nullhipotézist. Ezeket az eljárásokat nevezik *regresszióteszteknek*. A másik osztálya ezen teszteknek a ρ korrelációs együttható segítségével ellenőrzi, van-e lineáris kapcsolat az \mathbf{X}_n véletlen vektor és az \mathbf{m} determinisztikus vektor között. Ekkor a nullhipotézis mellett a $\rho^2(\mathbf{m}, \mathbf{X}_n)$ tesztstatisztika értéke közel kell legyen 1-hez, ellenkező esetben elvetjük a nullhipotézist. Ezeket az eljárásokat nevezik *korrelációteszteknek*.

A regressziótesztek első változata *Wilk és Shapiro* (1965), [40] *W normalitástesztje*. A μ és σ paraméterek legjobb lineáris torzítatlan becslése a (33) model alapján

$$\hat{\mu}_n = \bar{X}_n \quad \text{és} \quad \hat{\sigma}_n = \frac{\mathbf{m}^\top V^{-1} \mathbf{X}_n}{\mathbf{m}^\top V^{-1} \mathbf{m}}. \quad (34)$$

Wilk és Shapiro a W tesztstatisztikát a $\hat{\sigma}_n^2/S_n^2$ tesztstatisztika normalizált változataként definiálta

$$W := \frac{(\mathbf{m}^\top V^{-1} \mathbf{X}_n)^2}{\mathbf{m}^\top V^{-1} V^{-1} \mathbf{m} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (35)$$

alakban. Ezzel egy regressziótesztet kaptak. Másrészt ez egy korrelációteszt is, ami a normalizációból következik, ugyanis $W = \rho^2(V^{-1} \mathbf{m}, \mathbf{X}_n)$. Shapiro, Wilk és Chen (1968), [38], szimulációs vizsgálatából kiderült, hogy a W -teszt egyike a legerősebb normalitásteszteknek alternatívák széles skálájával szemben, valamint Krauczi (2009), [30] szimulációs vizsgálata is ezt támasztotta alá. Ezért népszerű módszer a mai napig, annak ellenére, hogy rejteget egy-két nehézséget a használata.

Egyik probléma, hogy magát a W tesztstatisztikát bonyolult kiszámítani. Ahhoz, hogy W -t meg tudjuk határozni, előzetesen ki kell számolnunk az \mathbf{m} vektort és a V^{-1} mátrixot. Ez a mintaméret növekedésével egyre nehezebb feladat, és valójában amikor W -t bevezették, legfeljebb 20 elemű minta esetén tudták megadni a V^{-1} mátrix elemeit pontosan. Ezért már Wilk és Shapiro is numerikus közelítéssel számolta W értékeit 50-es mintaméretig. Egy másik probléma, hogy az $n = 3$ esetet kivéve nem ismerjük W eloszlásfüggvényét. Mivel az $n = 3$ esetben a W -teszt megegyezik az u -teszttel, ekkor W pontos eloszlása is ismert. Wilk és Shapiro $n = 50$ mintaméretig szimulációval adták meg a kritikus értékeket. A határeloszlás viszont 1986-ig ismeretlen volt, amikor is Leslie, Stephens és Fotopoulos (1986), [32] megmutatták a W -teszt aszimptotikus ekvivalenciáját egy másik korrelációteszttel, amely teszt határeloszlása akkor már ismert volt.

Ezek a problémák a W -teszt módosításaihoz vezettek. Az első példányai ezeknek a próbálkozásoknak a *D'Agostino* (1971), [12] és a *Shapiro–Francia-korrelációtesztek* (1972), [39], melyek használatát 50-nél nagyobb elemű minták esetén javasolták. A *D'Agostino*-tesztstatisztika a

$$D := \frac{\sum_{i=1}^n (i - \frac{n+1}{2}) X_{i,n}}{n^2 S_n}, \quad (36)$$

a Shapiro–Francia-tesztstatisztika pedig a

$$W' := \frac{(\mathbf{m}^\top \mathbf{X}_n)^2}{\mathbf{m}^\top \mathbf{m} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (37)$$

formulával van definiálva. Mindkét cikk szimulációs tanulmánya azt sugallta, hogy ezen tesztek aszimptotikusan ekvivalensek a W -teszttel.

A W' további egyszerűsítését javasolta Weisberg és Bingham (1975), [51]. Az \mathbf{m} vektort helyettesítsük az $\tilde{\mathbf{m}} = (\tilde{m}_1, \dots, \tilde{m}_n)$ vektorral, ahol

$$\tilde{m}_i = \Phi^{-1} \left(\frac{i - 3/8}{n + 1/4} \right), \quad i = 1, \dots, n. \quad (38)$$

Ez a statisztika még könnyebben számolható, mint W' , valamint Weisberg és Bingham empirikus vizsgálata szerint aszimptotikusan ekvivalens a W statisztikával.

A következő fontos változata a W -tesztnak *de Wet és Venter korrelációtesztje* (1972), [16]. Az ő tesztstatisztikájuk

$$W^* := \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{i,n} - \bar{X}_n}{S_n} - \Phi^{-1} \left(\frac{i}{n+1} \right) \right)^2. \quad (39)$$

Azon túl, hogy ők vezették be a korrelációteszt fogalmát, ez volt az első olyan típusú normalitásteszt, amely határeloszlását is sikerült meghatározni. De Wet és Venter megmutatták, hogy ha Z_1, Z_2, \dots független, standard normális véletlen változók sorozata, akkor

$$W^* - a_n \xrightarrow{\mathcal{D}} \sum_{i=3}^{\infty} \frac{Z_i^2 - 1}{i}, \quad (40)$$

megfelelő $(a_n)_{n=1,2,\dots}$ konstansok sorozatára. Ezzel a tétellel megnyílt a lehetőség arra, hogy más korreláció normalitástesztek határeloszlását megkaphatjuk a W^* -teszttel való aszimptotikus ekvivalencia által. Fontos lépés volt ebben a programban Verril és Johnson (1987), [47] eredménye, ahol megmutatták a korrelációtesztek bizonyos általános feltételek melletti aszimptotikus ekvivalenciáját. Így vált világossá, hogy a Shapiro–Francia- és a Weisberg–Bingham-tesztek határeloszlása megegyezik a de Wet–Venter-teszt határeloszlásával. Továbbá a Wilk–Shapiro- és Shapiro–Francia-tesztek aszimptotikus ekvivalenciájából következett a kiindulási W -teszt határeloszlásának ismerete.

Hivatkozások

- [1] M. M. Ali. Stochastic ordering and kurtosis measure. *Journal of the American Statistical Association*, 69:543–545, 1974.
- [2] T. W. Anderson and D. A. Darling. Asymptotic theory of certain „goodness of fit” criteria based on stochastic processes. *Ann. Math. Statistics*, 23:193–212, 1952.
- [3] P. Billingsley. Convergence of probability measures. New York-London-Sydney-Toronto: John Wiley and Sons, Inc. XII, 1968.
- [4] M. Burke, M. Csörgő, S. Csörgő, and P. Révész. Approximations of the empirical process when parameters are estimated. *Ann. Probab.*, 7(5):790–810, 1979.
- [5] H. Chernoff and E. Lehmann. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 tests for goodness of fit. *Ann. Math. Stat.*, 25:579–586, 1954.
- [6] W. Cochran. The χ^2 test of goodness of fit. *Annals of Mathematical Statistics*, 23:315–345, 1952.
- [7] H. Cramér. On the composition of elementary errors. I. Mathematical deductions. II. Statistical applications. *Skand. Aktuarietidskr.*, 11:13–74, 141–180, 1928.
- [8] S. Csörgő. Limit behaviour of the empirical characteristic function. *Ann. Probab.*, 9:130–144, 1981.
- [9] S. Csörgő. The empirical characteristic process when parameters are estimated. Contributions to probability, Collect. pap. dedic. E. Lukacs, 215-230, 1981.
- [10] S. Csörgő. Testing for normality in arbitrary dimension. *Annals of Statistics*, 14:708–723, 1986.
- [11] S. Csörgő. Consistency of some tests for multivariate normality. *Metrika*, 36:107–116, 1989.
- [12] R. B. D’Agostino. An omnibus test of normality for moderate and large sample sizes. *Biometrika*, 58:341–348, 1971.
- [13] D. Darling. The Cramér-Smirnov test in the parametric case. *Ann. Math. Stat.*, 26:1–20, 1955.
- [14] F. David and N. Johnson. The probability integral transformation when parameters are estimated from the sample. *Biometrika*, 35:182–190, 1948.
- [15] H. David, H. Hartley, and E. Pearson. The distribution of the ratio, in a single normal sample, of range to standard deviation. *Biometrika*, 41:482–493, 1954.

-
- [16] T. de Wet and J. Venter. Asymptotic distributions of certain test criteria of normality. *S. Afr. Stat. J.*, 6:135–149, 1972.
- [17] E. del Barrio, J. A. Cuesta-Albertos, and C. Matrán. Contributions of empirical and quantile processes to the asymptotic theory of goodness-of-fit tests. *Test*, 9(1):1–96, 2000. With discussion.
- [18] M. D. Donsker. An invariance principle for certain probability limit theorems. *Mem. Am. Math. Soc.*, 6:12, 1951.
- [19] J. L. Doob. Heuristic approach to the Kolmogorov-Smirnov theorems. *Ann. Math. Stat.*, 20:393–403, 1949.
- [20] J. Durbin. Weak convergence of the sample distribution function when parameters are estimated. *Ann. Stat.*, 1:279–290, 1973.
- [21] T. Epps and L. B. Pulley. A test for normality based on the empirical characteristic function. *Biometrika*, 70:723–726, 1983.
- [22] W. Feller. On the Kolmogorov-Smirnov limit theorems for empirical distributions. *Ann. Math. Stat.*, 19:177–189, 1948.
- [23] A. Feuerverger and R. A. Mureika. The empirical characteristic function and its applications. *Ann. Stat.*, 5:88–97, 1977.
- [24] R. A. Fisher. The moments of the distribution for normal samples of measures of departure from normality. *Proc. R. Soc. Lond., Ser. A*, 130:16–28, 1930.
- [25] R. Geary. Testing for normality. *Biometrika*, 34:209–242, 1947.
- [26] E. Gumbel. On the reliability of the classical chi-square test. *Ann. Math. Stat.*, 14:253–263, 1943.
- [27] P. Hall and A. H. Welsh. A test for normality based on the empirical characteristic function. *Biometrika*, 70:485–489, 1983.
- [28] M. Kac, J. Kiefer, and J. Wolfowitz. On tests of normality and other tests of goodness of fit based on distance methods. *Ann. Math. Stat.*, 26:189–211, 1955.
- [29] A. Kolmogorov. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale del Istituto Italiano degli Attuari*, 4:83–91, 1933.
- [30] É. Krauczi. A study of the quantile correlation test of normality. *Test*, 18(1):156–165, 2009.
- [31] V. LaRiccia and D. M. Mason. Cramér-von Mises statistics based on the sample quantile function and estimated parameters. *J. Multivariate Anal.*, 18:93–106, 1986.
- [32] J. Leslie, M. Stephens, and S. Fotopoulos. Asymptotic distribution of the Shapiro-Wilk W for testing for normality. *Ann. Stat.*, 14:1497–1506, 1986.
- [33] H. W. Lilliefors. On the kolmogorov-smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62:399–402, 1967.
- [34] H. Mann and A. Wald. On the choice of the number of class intervals in the application of the chi square test. *Ann. Math. Stat.*, 13:306–317, 1942.
- [35] E. Pearson, R. D’Agostino, and K. Bowman. Tests for departure from normality: Comparison of powers. *Biometrika*, 64:231–246, 1977.
- [36] E. S. Pearson. A further development of tests for normality. *Biometrika*, 22:239–249, 1930.
- [37] D. Pollard. The minimum distance method of testing. *Metrika*, 27:43–70, 1980.
- [38] M. W. Shapiro, S.S. and H. Chen. An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1343–72, 1968.
- [39] S. Shapiro and R. Francia. An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the American Statistical Association*, 67:215–216, 1972.
- [40] S. Shapiro and M. Wilk. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52:591–611, 1965.
-

-
- [41] N. Smirnov. Sur la distribution de ω^2 (Critérium de M.R. von Mises). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 202:449–452, 1936.
- [42] N. Smirnov. Sur la distribution de ω^2 (Critérium de M.R. von Mises). *Matematicheskij Sbornik*, 2:973–993, 1937.
- [43] N. Smirnov. Sur les écarts de la courbe de distribution empirique. *Matematicheskij Sbornik*, 6:3–26, 1939.
- [44] N. Smirnov. Approximate laws of distribution of random variables from empirical data. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, 10:179–206, 1941.
- [45] M. A. Stephens. Edf statistics for goodness of fit and some comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69:730–737, 1974.
- [46] S. Sukhatme. Fredholm determinant of a positive definite kernel of a special type and its application. *Ann. Math. Stat.*, 43:1914–1926, 1972.
- [47] S. Verrill and R. Johnson. The asymptotic equivalence of some modified shapiro-wilk statistics - complete and censored sample cases. *Annals of Statistics*, 15:413–419, 1987.
- [48] R. von Mises. *Wahrscheinlichkeitsrechnung*. Wein, Leipzig, 1931.
- [49] G. Watson. The χ^2 goodness-of-fit test for normal distributions. *Biometrika*, 44:336–348, 1957.
- [50] G. Watson. On chi-square goodness-of-fit tests for continuous distributions. *J. R. Stat. Soc., Ser. B*, 20:44–72, 1958.
- [51] S. Weisberg and B. C. An approximate analysis of variance test for non-normality suitable for machine calculation. *Technometrics*, 17:133–134, 1975.
- [52] P. Williams. Note on the sampling distribution of $\sqrt{\beta_1}$ where the population is normal. *Biometrika*, 27:269–271, 1935.

A MATEMATIKA TANULÁS-TANÍTÁS NÉHÁNY KOGNITÍV PSZICHOLÓGIAI KÉRDÉSE

SOME COGNITIVE PSYCHOLOGICAL QUESTION IN MATHEMATICS EDUCATION

Ambrus András^{1*}

¹ Matematikatanítási és Módszertani Központ, ELTE TTK, Magyarország

Kulcsszavak:

Matematika,
Tanítás, Tanulás,
Kognitív pszichológia,

Keywords:

Mathematics,
Education,
Cognitive psychological

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 15.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 26.

Összefoglalás

A nemzetközi matematika tanítási-tanulási kutatásokban és tanítási gyakorlatban egyre nagyobb mértékben kerül elő a kognitív pszichológiai megközelítés is, amely hatása a magyar matematikatanításban egyelőre sajnos nem érzékelhető. Cikkünkben néhány probléma elemzése után az emberi emlékezet struktúráját mutatjuk be, majd ennek következményeként a kognitív terhelés elméletét részletezzük elsősorban a matematikai problémamegoldás tanítása szempontjából. A kognitív terhelés csökkentésének rövid bemutatása után a kidolgozott példák és a figyelem megosztási effektus hatásait elemezzük konkrét példák bemutatásával.

Abstract

In the international mathematics educational research and teaching practice we can find more and more cognitive psychological approaches, which do not influence the Hungarian mathematics teaching traditions. In our article after a short presentation of human cognitive architecture we give a broad analysis of the cognitive load theory and the possible effects to decreasing cognitive load. Our main aim is to analyse the worked examples in mathematical problem-solving teaching. Beside its theoretical base we analyse concrete examples to demonstrate the effect of worked examples and the split – attention effect on the students' learning.

1. Bevezetés

A matematikadidaktikai kutatások három nagy csoportba rendezhetők: az emberi megismerés kognitív pszichológia alapjai; mestertanárok tanítási tapasztalatai – hogyan vezetik be az új anyagot, hogyan ellenőrzik a tanulói megértést, hogyan segítenek szükség esetén; összetett feladatok megoldása során nyújtott módszerek: hangos gondolkodás, ötletek adása, kidolgozott példa alkalmazása. A második csoportra van példa Magyarországon is, e kutatás összefoglalását megtalálhatjuk Gordon Győri János - Halmos Mária - Munkácsy Katalin – Pálfalvi Józsefné: „A matematikatanítás mestersége. Mestertanárok a matematikatanításról” című könyvben (GORDON GYŐRI, 2007). A harmadik verzióra is találunk példát: Kosztolányi József *A probléma-megoldási képességek fejlesztéséről* című lőcsei MIDK konferencia előadásában, ahol az összetett problémák megoldásához irányító kérdéseket és ötleteket alkalmazó módszerről beszélt.

* E-mail cím: ambrus@cs.elte.hu

(KOSZTOLÁNYI, 2012) Önkritikusan be kell vallanunk, hogy az első csoportot illetően matematikatanításunk meglehetősen távol van, ezért cikkünkben erre a pontra összpontosítunk.

2. Gondok a magyar matematikaoktatásban

Sok külföldi konferencián járva, beszélgetve gyakran mondták a külföldi kollégák: „A magyar matematikaoktatás világhírű köszönhető Pólya Györgynek is.” Én módosítani szoktam: „A magyar matematikai tehetséggondozás valóban világhírű, de az átlagos tanulók matematikai nevelése hagy kívánni valót maga után.” Nézzünk néhány konkrét adatot. A 2012-es PISA vizsgálatok során a következő eredményeket érték el a magyar nyolcadik osztályos tanulók.

2.1. PISA 2012 Matematika teszt (8. osztályos tanulók):

PISA átlag 494 pont, Magyarország 477 pont. Alacsony teljesítmény 1 vagy 2-es kategória: 28,1%, jók 5 vagy 6-os kategória: 9,3%. Helyezés: 39. Résztvevő országok száma: 65.

2.2. PISA Creative Problem-solving 2012 teszt (8. osztályosok):

33. hely a 44 résztvevő ország között. Gyenge teljesítményt nyújtók 35%, 5-6-os kategória: 5,6%. Szokatlan szituációkban nem tudnak tanulóink értelmesen reagálni.

2.3. Problémák:

1. A jól teljesítők száma nagyon alacsony. Többre lenne szükség, hogy jó mérnökeink, közgazdászaink legyenek, hiszen a felsőoktatásba az évjárat 35-40%-a kerül be évente.
2. A vizsgált évjárat egyharmada funkcionálisan analfabéta, mit tudnak ők teljesíteni a jövőben?

2.4. TIMSS 2011

Negyedik osztályosok: 19. helyezés 47 résztvevő között, átlagos teljesítmény 515 pont, TIMSS átlag 500 pont.

Nyolcadik osztályosok: 11. hely 42 résztvevő között, átlag 505 pont, mely közel van az 500 pontos TIMSS átlaghoz, de jobb annál. Jelentős a különbség a TIMSS és a PISA eredmények között. Az előbbiben több tiszta matematikai probléma szerepel, míg a PISA problémákban köznap szituációkban kell felismerni a matematikát.

2.5. Egyetemi matematika belépő zárthelyik tapasztalatai

Azon felsőoktatási intézményekben, melyekben a matematika oktatása is szerepel a képzésben a belépő hallgatók szeptember elején egy matematika dolgozatot írnak, melynek szintje a matematikai középfokú írásbeli érettségi színvonalához hasonlítható. Az ELTE-n hagyományos formátumú, a Budapesti Műszaki Egyetemen feleletválasztásos a dolgozat formája. Nem részletezzük az eredményeket, csak jelezzük, hogy az ELTE-n a hallgatók egyharmada, esetenként fele ér el elégséges eredményt az első alkalommal, a kétharmadnak felzárkóztató kurzuson kell részt vennie, amíg el nem éri az elégséges szintet. A Műszaki Egyetem egy népszerű karán és szakján, ahol a felvételi pontszámok átlaga 430 pont volt a következő hiányosságokat tapasztalták: 1. A hallgatók nem értik az összefüggéseket. 2. Nem ismerik az alapvető elveket. 3. Nagyon gyenge az alkalmazási, modellezési képességük, készségük. 4. Gyenge az elemző képességük. 5. Nincs rend a gondolkodásukban, mentális munkájukban.

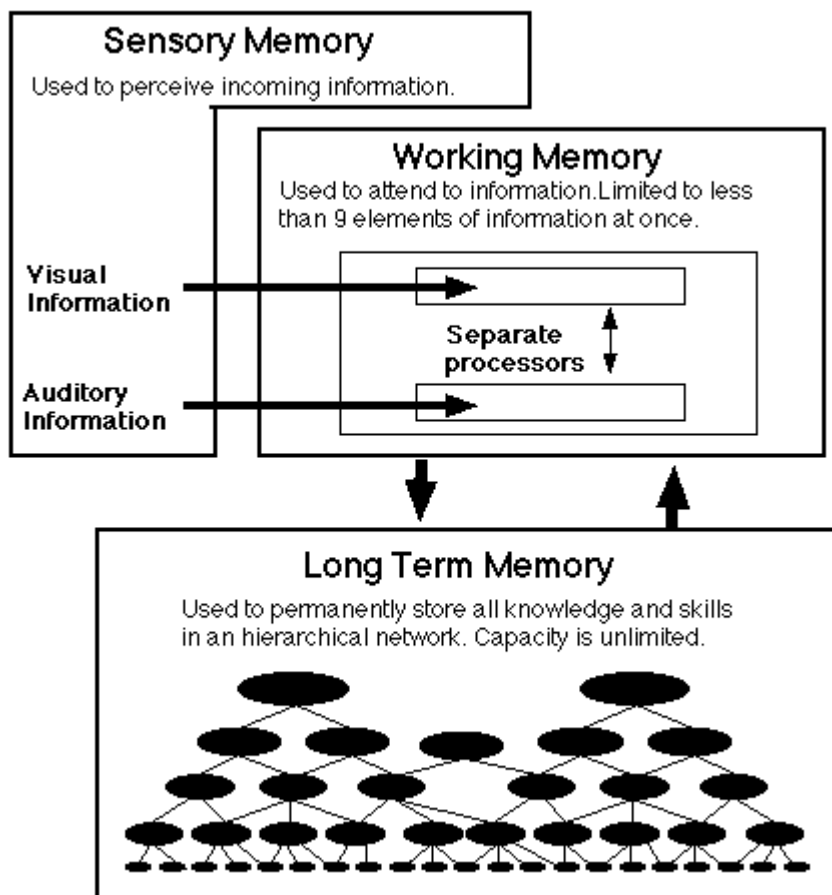
A következőkben a 90%-ról, annak felsőbb kategóriáiról lesz szó, e tanulók közül sokan vesznek részt mérnök, közgazdász, matematikus, matematika tanárképzésben. Állításom: *E tanulók számára másképp kell tanítani a matematikát, mint a top 10%-nak!*

3. Az emberi emlékezet struktúrája

A legtöbb agykutató elfogadja A. Baddeley angol tudós struktúra modelljét: érzékszervi (szenzoros) emlékezet, munkamemória, hosszú távú memória.

3.1. Szenzoros memória

Érzékszerveinkre másodpercenként hatalmas mennyiségű információ hat a környezeti világunkból. Ezek nagyon rövid idejűek és csak azon információkat észleljük, az kerül a munkamemóriánkba, amelyre tudatosan figyelünk. Az ismeretfeldolgozás szempontjából a munkamemória és a hosszú távú memória játszik lényeges szerepet.



1. ábra Cooper, 1998

3.2. Munkamemória (MM)

A munkamemóriában folyik a tudatos ismeretfeldolgozási folyamat – felfogás, megértés, ismeretek rendezése, összehasonlítása, kritikus gondolkodás, probléma megoldás, stb. Agyunk munkaasztalának is nevezzük, ez egy aktív ismeretfeldolgozási terület. Négy összetevője van: fonologikus tár, vizuális-téri tár, epizodikus tár, centrális végrehajtó. A *fonologikus tár* tárolja és ismétlésekkel fenntartja a verbális, hangyi információkat. A *vizuális-téri tár* a vizuális, képi információkat fenntartja és tárolja, az *epizodikus tár* összekapcsolja a verbális és képi információkat a központi szabályozó, végrehajtó irányításával és a hosszú távú memóriából vett információ segítségével. A *központi szabályozót* (centrális végrehajtó) supervisor-i figyelmi rendszernek is nevezik, mivel felügyeli, kontrollálja és irányítja az ismeretfeldolgozási folyamatot agyunkban. Munkamemóriánk tervekét készíti, transzformációs stratégiákat alkalmaz, az analógiás és metaforikus gondolkodás itt történik, dolgok között kapcsolatokat létesít gondolatban, absztrahál, mentális reprezentációkat alkot. A munkamemóriának nagyon korlátozott a kapacitása: Miller ezt 7 ± 2 információ egységben határozta meg, ennyi új információ egységet tud tárolni a munkamemória. Újabb kutatások szerint a 4 ± 1 információegység inkább közelíti a valósághoz. Ha ismeretfeldolgozási folyamat is történik, egyszerre csak két-három szimultán

folyamatra vagyunk képesek. Például: tanulás és zenehallgatás, vagy matematikai probléma megoldás folyamata bármilyen osztályzajjal zavaró lehet sok tanuló számára. A memóriánk időkorlátja: egy adott információ 20-30 másodpercig marad fenn ismétlés nélkül. (Baddeley, 2005)

3.3. Hosszú-távú memória (HTM)

A hosszú-távú memória ismereteink tárháza. Az ismereteket sémákban tárolja. *A sémák mentális struktúrák, segítségükkel rendezzük és strukturáljuk ismereteinket.* A sémákat a hosszú-távú memóriából hívjuk elő bizonyos szituációk, problémahelyzetek megértéséhez és megoldásához. A munkamemóriában hozzuk létre a sémákat, melyeket integráljuk a hosszú-távú memóriában meglévő sémákba, sémahálózatokba. A hosszú-távú memóriának nincsenek kapacitás korlátai, időkorlát sem ismeretes. (Felejtésről most nem beszélünk). A munkamemória és hosszú-távú memória kapcsolata döntő a hatékony ismeretszerzési folyamatban. Még a komplex sémák is egy információ egységnek számítanak, így előhívásuk a munkamemóriába nem foglal kapacitást. A komplex problémamegoldás nélkülözhetetlen feltétele a sémák automatizálása, mivel így ezek alkalmazása nem kíván extra munkamemória kapacitást.

A modellel kapcsolatban kiemeljük a két párhuzamos ismeret - feldolgozási, elsajátítási folyamatot: verbális illetve képi. Célszerű az információkat kétféle reprezentációs módban feldolgozni, így a munkamemória kapacitása megoszlik a két mód között, ha egyik telve van, akkor a másik mód segíthet. *Kiemeljük az alapvető mentális műveleteket: fókuszált figyelem és szelektálás, mentális rendezés, integrálás a megelőző ismeretekbe.* Kiemeljük még a motiváció és a metakogníció (saját tudásról való ismeretek, képességek, tudás) fontosságát a hatékony tanulásban.

4. Kognitív terhelési elmélet (KTE)

Kognitív terhelésnek nevezzük a munkamemóriában az információfeldolgozás során keletkezett terhelést. A KTE az információfeldolgozás okozta kognitív terheléssel foglalkozik, annak következményeivel, és az oktatásnak a tanulást segítő hatékony tervezésével. Alapvető feltételezései: A munkamemória kapacitása nagyon korlátozott. Az információt a hosszú-távú memóriában sémák formájában tároljuk. Egy séma egyetlen egy információ egységet jelent az MM szempontjából. A komplex problémák megoldásához szükséges a sémák automatizálása. Hatékony tanulás alapkövetelménye az aktív, tudatos ismeretfeldolgozás az MM-ben.

4.1. A kognitív terhelés fajtái

4.1.1. Belső (lényegi) kognitív terhelés (Intrinsic Cognitive Load)

Ez a terhelés nem befolyásolható, a probléma elemei közötti kapcsolatoktól függ, melyeket szimultán kell az információ feldolgozási folyamatban kezelni. Például szöveges feladatok megoldásánál a probléma szövegének olvasása, megértése, kiemelve a probléma kiinduló adatait, a kérdés, a megoldási folyamatban szükséges helyzetek és lehetséges lépések kapcsolata jelenti a feladatból adódó belső terhelést.

4.1.2. Külső kognitív terhelés (Extraneous CL)

Az információ prezentálásának módjától függ, amely tartalmazhat a tanulandó anyag szempontjából felesleges információkat például háttérzene, társak beszélgetése, továbbá ábrák és szövegek elhelyezése is nehezítheti a feldolgozást, ha ábra egyik oldalon, míg a hozzátartozó szöveg a következő oldalon van. Meglepő, de sok tanuló véleménye szerint a matematika tanárok túl sokat, sokszor munkájukat zavaróan beszélnek. Ezt többnyire segítő szándékkal teszik, például a tanulók egyéni feladatmegoldásánál ötleteket, javaslatokat tesznek hangosan, ezzel a saját gondolataiban elmerülő tanulókat megzavarhatják. Kirschner írja: *„Mivel a támogató információ tipikusan magas elemek közti interaktivitást jelent, ezért nem célszerű egyéni feladatmegoldás közben ilyet közölni. Egy feladat megoldásán dolgozni és közben a segítő információra is figyelni, ez szinte biztosan kognitív túlterhelést jelent sok tanuló számára. Ezért a támogató ötleteket, sémákat legjobb közvetlenül a probléma kitűzése után adni, így a tanulók előre meg tudnak*

konstruálni egy kognitív sémát, amit a hosszú-távú memóriájukban tárolnak és a feladatmegoldás közben elő tudják hívni, ha szükséges a munkamemóriájukba. Ez kisebb kognitív terheléssel jár, mint a feladatmegoldás közben adott információ” (Kirschner, 2009)

4.1.3. Generatív kognitív terhelés (Germane CL)

A tanulás szempontjából döntő tényező, a sémák elsajátításához és automatizálásához szükséges munkamemória kapacitást jelenti. Fő funkciója a problémaadatok kapcsolatának beépítése, integrálása a hosszú-távú memóriában tárolt sémák segítségével

A kognitív terhelés a három fenti terhelés összege. Mivel a tanítás során a belső kognitív terhelés nem változtatható, a külső terhelést kell minimálisra csökkenteni, hogy maradjon kapacitás a generatív terhelésre, a séma kialakítására, elsajátítására.

Úgy tűnik, hogy a séma konstrukció, séma integráció és séma automatizálás munkamemóriára gyakorolt kognitív terhelő hatása megmagyarázza a tanulók tapasztalatait, képességeit és tartalmi ismeretei közötti különbségeket. Hatékony tanítás tervezésekor messzemenően figyelembe kell venni a lehetséges kognitív terheléseket.

4.2. Kognitív terhelés mérése

4.2.1. Szubjektív értékelés

A tanulóknak egy adott tananyag elsajátítása, adott probléma megoldása után egy többfokozatú skála alapján kell kinyilvánítaniuk milyen terhelést okozott nekik az adott feldolgozás, mennyire nehéznek találják azt. Gyakori a hatfokozatú skála, amelynek az elején 1 jelenti a nagyon megterhelő, nehéz, a 2 jelenti a nehéz, 3-4 lehet a közepes terhelés két fokozata, míg 5 a könnyű illetve 6 a nagyon könnyű minősítést jelenti. A nevében is benne van, hogy ez az értékelés erősen szubjektív jellegű, de a leggyakoribb, mivel nem kíván különösebb eszközöket, célszerű, ha a tanárok használják osztályaikban, hiszen a matematikai probléma-megoldás sok tanulónak különösen nagy terhelést okozhat.

4.2.2. Fiziológiai értékelés

A tanulók szem mozgásának illetve szívritmusának mérése. Eszközigenyes, osztálykeretek között nehezen alkalmazható tudományos igényvel.

4.2.3. Kettős feladat terhelés

Az ismeret elsajátítónak a fő feladat mellett egy másodlagos feladatot is meg kell oldania. A fő feladat megoldási teljesítménye mellett a másodlagos feladaton nyújtott teljesítményt is vizsgálják és a kettő alapján következtetnek a kognitív terhelésre. Ez is inkább a kutató szakemberek eszköze, gyakorlati tanítás során nehéz kivitelezni.

5. Kognitív terhelés és matematikai problémamegoldás

5.1. Mi a probléma a minimális vezetés, felfedeztetés, teljesen önálló problémamegoldás osztálykeretben való alkalmazásakor?

1. Gyakran csak egy-két kiváló tanuló tudja megoldani a problémát.
2. Sok tanuló frusztrált lesz, mivel képtelen valamire való megoldási lépést találni. Van olyan tanuló, aki föladja, mások mechanikusan lemásolják a jó tanuló által ismertett megoldást, anélkül, hogy megértenék azt.
3. Vannak tanulók, akik találnak valamiféle megoldást, úgy vélik az helyes megoldás, holott hibás, ez megmaradhat az emlékezetükben az adott problémához asszociálódva, zavarva ezzel a későbbi tanulást. Az emlékezet olyan, hogy hiába mutatták meg a helyes megoldást, a tanulóban az ő saját „megoldása” marad meg.

4. Ha minden tanuló valamiféleképpen eljutott is a megoldáshoz, ha az időfaktort nézzük a teljes irányítás sokkal hatékonyabb. Ha egy anyag 25 perc tanári demonstrációval tanítható, amelyet 15 perces gyakorlás követ tanári visszajelzéssel, ugyanez ez eredmény több tanórát kíván felfedeztetéses tanítással.
5. A minimálisan vezetett tanítás nagyon megnövelheti az osztályban levő tanulók közötti szintkülönbségeket.

5.2. Konstruktivizmus, mint tanuláselmélet illetve tanításmélet.

Sok kutató átviszi mechanikusan a konstruktív tanuláselméletet, mint előírást a tanításra. A konstruktív tanuláselmélet szerint a tanulónak sajátmagának kell megkonstruálnia a bejövő információ, ismeret mentális reprezentációját. Ez történhet egy könyv, internetszöveg olvasása, tanulmányozása révén, tanári előadás, magyarázat segítségével, tanári demonstráció, kísérlet magyarázattal követett bemutatása révén. A lényeg, hogy a tanuló megkonstruálja az ismeret, tudás belső, mentális reprezentációját. A legtöbb tanuló képtelen irányítás, segítség nélkül megtenni ezt.

5.3. Kognitív terhelés a problémamegoldás során

A problémahelyzetek, állások és a lehetséges megoldási lépéseket először De Groot vizsgálta sakkjátékosok megfigyelésével. A tapasztalt sakkjátékosok a memóriájukban különböztek kezdőktől. Az emlékezetükben több ezer sakkállás van tárolva a helyzetekhez kapcsolódó jó megoldási lépésekkel.

Sweller és társai a sakkjáték analógiájára kidolgozták elméletüket a matematikai problémamegoldásra is. Véleményük szerint a problémamegoldóknak rendelkezniük kell sok problémahelyzet, problémaállás és az azokhoz tartozó helyes megoldási lépések sémájával, és azokat a megfelelő problémák azonosítása után aktivizálni is tudják. Ezek a probléma-megoldási sémák terület specifikusak. (algebra, trigonometria stb.) Ha egy tanuló nem rendelkezik a problémának megfelelő megoldási sémákkal, a próba-szerencse, esetleges próbálkozások módszerét kénytelen alkalmazni, ami komolyan leterheli a munkamemória kapacitását. Mi a kiindulási helyzet, mik az adatok és feltételek? Mit keresünk? Milyen megoldási módszerek, lépések jöhetnek számításba? Ha elértünk valahová, jó az irány? Mi lehet a következő lépés, közelebb kerülünk a célhoz vele? *Gyakran előfordul, hogy bár a feladatot megoldja a tanuló, megtalálja a kérdésre a helyes választ, de a megoldás sémájának rögzítésére a hosszú távú memóriában már nem kerül sor a nagy kognitív terhelés miatt a munkamemória kapacitása telítődött, pedig a cél nem a kapott, konkrét eredmény, hanem a probléma megoldását lehetővé tevő megoldási séma beépítése a hosszú távú memóriába, hogy a jövőben is aktivizálni, alkalmazni lehessen.*

Ötven éves matematikatanítási tapasztalatunk alapján az a határozott véleményünk, hogy egy új fogalom bevezetése, összetett probléma megoldásakor a kezdőfokon tanulók számára a teljes irányítás hatékonyabb, mint a minimális vezetés. Természetesen a kiemelkedő tanulók számára sok esetben inkább zavaró a vezetés, ők önállóan meg tudják oldani a problémát (Expertise reversal effect).

6. Kognitív terhelést csökkentő tanítási módszerek

Nyitott feladatok alkalmazása. Kidolgozott példák alkalmazása. Tapasztaltsági fordított effektus elve. Hiányos megoldások kiegészítése. Figyelem megosztási effektus. Modalitási effektus. Redundancia elve. Mi a továbbiakban a kidolgozott példák alkalmazására és az azzal szoros kapcsolatban levő kiegészítés elvével és a figyelem megosztási effektussal foglalkozunk röviden.

6.1. Kidolgozott példák alkalmazása


A kidolgozott példa már a nevében is jelzi, hogy a tanár részletesen elmagyarázza, bemutatja, demonstrálja a problémamegoldás főbb helyzetait és az azokhoz tartozó megoldási lépéseket. A tanulók így koncentrálhatnak a séma főbb problémahelyzeteire és a megoldási

lépésekre. Nem új keletű a példák alkalmazása, hiszen sok tankönyv is egy új fogalom, tétel, eljárás bevezetését példával kezdi, sokszor csak egyetlen példával, ami sok tanulónak kevés. A kidolgozott példa effektus több példát jelent, gyakran egy kidolgozott példát egy hasonló feladat önálló megoldása követ, majd a kidolgozott példa egy variánsa következik kidolgozva majd ennek megfelelő önálló feladat megoldása és így tovább

Néhány fontos megjegyzés a kidolgozott példa effektus kapcsán

1. Minden tanulónak sajátmagának kell a feladat megoldásának mentális (belső) modelljét megalkotnia, sajátmagának kell elmagyaráznia a fontosabb lépéseket: mit – mikor – hol - hogyan – miért. Fontos, hogy jegyzetet készítsenek maguknak a füzetükbe, egyébként nem marad meg az új információ emlékezetükben. Mindehhez, mint mindenhez a tanulás, tanítás során elegendő idő kell!
2. A legideálisabb, ha minden tanuló számot ad arról, hogy megértette a feladatmegoldás sémáját, azt el is tudja mondani. A tanár nem tud minden tanulót megvizsgálni, célszerű a padtársakat kérni arra, hogy elmondják egymásnak kölcsönösen a megoldást!
3. Nagyon fontos, hogy a kidolgozott példa effektus csak kezdő tanulók – az adott témát illetően – számára fontos és új információ esetén szükséges, hatásos. Jó tanulók – akiknek hosszú-távú emlékezetében sok automatizált séma áll rendelkezésükre, önállóan is meg tudják oldani a feladatot, számukra terhelő lehet a részletes megoldás tanulmányozása. (Tapasztalatsági fordított hatású effektus – Expertise reversal effect).
4. Fokozatosan kell csökkenteni a kidolgozás mértékét, szokásos az ún. kiegészítő feladatokat kitűzni, melyekben a megoldás néhány lépése hiányzik, a tanulóknak kell kitöltenie. „*Én akarom megoldani, most már meg tudom egyedül is csinálni!*” elvet kell szem előtt tartani.

Feladat: Egy konyha 16 m^2 -es felületét 720 csempével lehet beborítani. A tulajdonos a konyhában is egy $2,4 \text{ m}^2$ -es felületet ki akar csempészni ugyanezen csempefajtából. Hány csempére van ehhez szüksége? Az ábrán két megoldást láthatunk. A baloldali egy arányosságra való összefüggés képletét alkalmazza behelyettesítéssel, míg a jobboldali az egységre való következtetéssel jut a kívánt felülethez. Átlagos tanulók számára ez utóbbi megoldás kívánatos.



The Building Blocks Principle II

A tiler needed 720 tiles for an area of 16 m^2 in the bathroom. He wants to use the same tiles for an area of 2.4 m^2 in the kitchen.
How many tiles does he need in the kitchen?

$16 \text{ m}^2 \hat{=} 720 \text{ tiles}$
 $2.4 \text{ m}^2 \hat{=} x$
 $x = \frac{2.4 \text{ m}^2 \cdot 720}{16 \text{ m}^2}$
 $x = 108$
 For the kitchen, the tiler needs 108 tiles.

$16 \text{ m}^2 = 720 \text{ tiles}$
 $1 \text{ m}^2 = 45 \text{ tiles}$
 $2.4 \text{ m}^2 = 108 \text{ tiles}$
 For the kitchen, the tiler needs 108 tiles.

Which worked-out examples makes it easier for students to understand the rule of proportion? Why?

2. ábra Renkl, 2014

A következő feladatban két barát egy kétnapos mountain kerékpár túrán vesz részt. Ötféle színű fejtű sisak áll rendelkezésre: narancs, ezüst, barna, piros és zöld. A sisakokat reggelenként véletlenszerűen választják ki. Mi a valószínűsége, hogy az egyik barát a piros a másik zöld sisakot kapja az első reggelen?

Mivel sok osztályban van lehetőség interaktív tábla használatára az ábrán a sisakokat jelző pontokat célszerű a megfelelő színűre jelölni, így a – főleg fiatalabb – tanulók könnyebben megértik a kapcsolatot.

5. Example Task: Mountainbike III

You and your friend take part in a two-day mountain bike course. Each day of the course the instructor brings along 5 helmets, each one of a different colour (orange, silver, brown, red, and green). The helmets are handed out randomly and given back to the instructor at the end of the day.

What is the probability that you get the red helmet and your friend gets the green helmet on the first day of the course?

acceptable outcomes $\frac{2}{5}$

possible outcomes

me

friend

The probability is $\frac{2}{20}$.

os
ob
or
og
so
sb
sr
sg
bo
bs
br
bg
ro
rs
rg
go
gs
gb
gr

These were your answers:

It is without replacement.

The number of the possible outcomes changes.

Why do you calculate the total acceptable outcomes by multiplying?

Each of the initial events (helmets) can occur in combination with other events (remaining helmets). Therefore, in the tree diagram, each of the blue initial branches forks into further blue branches.

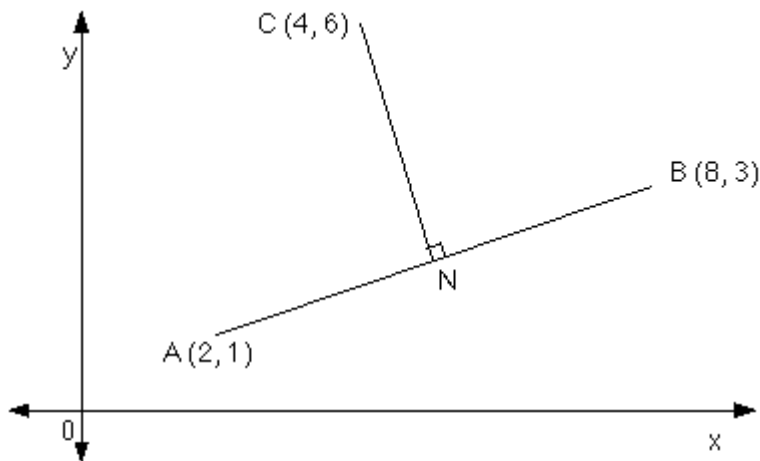
Thus, there are times branches. Thereby, all possible combinations (os, ob, or, ...) are included.

3. ábra Renkl, 2014

6.2. Figyelem megosztás

A munkamemóriát gyakran azonosítják a tudatos figyelemmel. Ezért is ügyelni kell arra, hogy a bemutatott megoldás ne emésszen fel túl sok figyelmi energiát külső dolgok miatt. (Ábra világos szerkezete, a megoldás tagolása, áttekinthetőség stb.) Újra hangsúlyozzuk a multimédia veszélyét, túl sok információt akarunk rövid idő alatt ráönteni a gyerekekre, mindig nézzük meg, mi maradt meg bennük. Az alábbiakban egy koordináta-geometriai feladaton mutatjuk be a figyelem-megosztási effektust. Adott A és B pont a koordinátaival és egy külső pont C a koordinátaival. N pont az AB szakasz felezőpontja. Meg kell határozni az N pont koordinátáit és a CN egyenes meredekségét. (Az N pontnál levő szög jelölése nem derékszöveget jelent.)

Van tanár, aki a pontok koordinátáit külön leírja a tanulókkal valahova a füzet szélére, az ábrán csak a nagybetűk vannak jelölve. Itt tehát állandóan meg kell osztani a figyelmet a konkrét pontkoordináták, az ábra és az ábra alatti megoldás leírása között. Mivel a tanulók munkamemória kapacitása között nagy különbségek vannak, sok tanuló számára lehet nehéz ez a figyelem-megosztás. A 4. ábrán mindezt egy helyen találjuk meg, „beleírva az ábrába”. Célunk, hogy a tanuló megalkossa a megoldás mentális modelljét, ehhez alkalmasabb a második változat azzal, hogy koncentráltan van benne a teljes megoldás. A teljes sémát „jobban látják” a tanulók, nagyobb az esélye, hogy a megoldás mentális modelljét jobban meg tudják alkotni. Ne feledjük, sok tanuló csak másol egész óra alatt, anélkül, hogy látná a teljes megoldást együtt.



Solution

Co-ordinates of N:

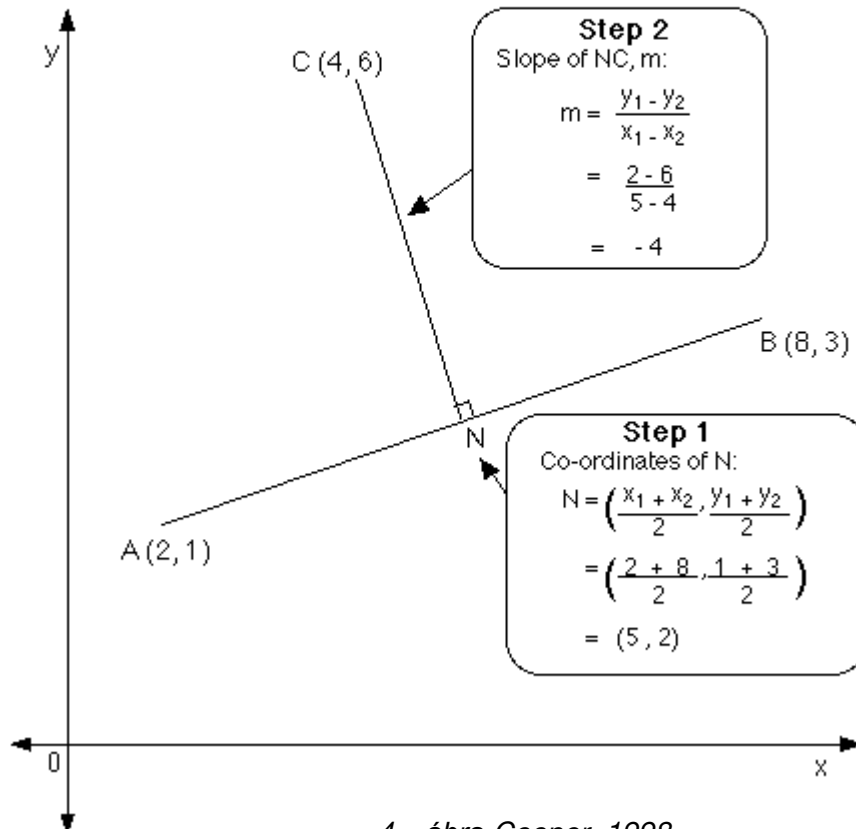
$$\begin{aligned} N &= \left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2} \right) \\ &= \left(\frac{2 + 8}{2}, \frac{1 + 3}{2} \right) \\ &= (5, 2) \end{aligned}$$

Slope of NC, m:

$$\begin{aligned} m &= \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \\ &= \frac{2 - 6}{5 - 4} \\ &= -4 \end{aligned}$$

Problem

Find the co-ordinates of N, and the slope of the line NC, given that N is the mid-point on line AB.



7. Következtetések

Befejezésül összefoglaljuk mondanivalónk lényegét és néhány javaslatot teszünk a matematika tanárok számára.

1. Eredményes matematikatanítás – tanulás alapfeltétele az emberi megismerési struktúra tulajdonságainak figyelembe vétele. A munkamemória kapacitását illetően nagy különbség lehet a tanulók között, következésképpen az átlagos tanulók számára nem megfelelő az a tanítási stílus, mely a jókat preferálja.
2. A külső kognitív terhelés befolyásolható a tanár által, törekednie kell ennek csökkentésére. Ez jelenti a kevesebb tanári beszédet, multimédia eszközök használata esetén és problémamegoldás esetén elegendő idő biztosítását, ábrák és a megfelelő szövegek egymáshoz közeli helyezését.
3. Általános szabály nem adható, az adott osztály tanulói, adott tananyag sajátosságai jelentősen befolyásolják a matematikatanítási – tanulási folyamatot.
4. A nemzetközi kutatási eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy új matematikai ismeretek bevezetése, kidolgozása esetén a tanári irányítás hatékonyabb, mint a problémaalapú, problémamegoldó, kutató megközelítés. A kidolgozott példa effektus az egyik legkutatottabb és legeredményesebb oktatási módszer, melynek hazai vizsgálata, kutatása is kívánatos.

Irodalom

- [1] Ambrus, A. 2014. Teaching Mathematical Problem-Solving with the Brain in Mind. CEPS Journal, Slovenia p. 105-120
- [2] Ayres P., Kalygula S., Sweller J. 2011. Cognitive Load Theory. Springer
- [3] Baddeley A. 2005. Az emberi emlékezet. Osiris Budapest
- [4] Clark R. E., Kirschner P. A., Sweller J. 2012. Putting Students on the Path to Learning. The Case for Fully Guided Instruction. American Educator, Spring
- [5] Chipperfield, B. 2006. Cognitive Load Theory and Instructional Design Saskatoon. Saskatchewan Canada: University of Saskatchewan (USASK). Retrieved on November 7, 2006 from <http://www.usask.ca/education/coursework/802papers/chipperfield/chipperfield.pdf>
- [6] Cooper, G. 1998. Research into Cognitive Load Theory and Instructional Design at UNSW University Homepage
- [7] Gordon Györi János - Halmos Mária - Munkácsy Katalin – Pálfalvi Józsefné. 2007. A matematika- tanítás mestersége. Mestertanárok a matematikatanításról. Gondolat Budapest.
- [8] Hattie J., Yates G. 2014 Visible Learning and the Science of How We Learn. Routledge, London
- [9] Kárteszi Ferenc személyes kommunikáció
- [10] Kirschner P., Kirschner F, Pass F. Cognitive Load Theory 2009. Education.com, Internet 2015. 02. 28
- [11] Kosztolányi József, 2012 A probléma-megoldási képességek fejlesztéséről. Előadás a 2012. évi MIDK konferencián.
- [12] Mayer R. E. 2011 Applying the Science of Learning. Pearson London
- [13] Pólya György 1971-es nem publikált budapesti előadása
- [14] Renkl, A. 2014. Learning from Worked Examples: How to prepare Students for Meaningful Problem Solving. In: Benassi et al. Infusing Psychological Science into the Curriculum. American Psychological Association p. 118 – 130
- [15] Sweller, J., Clark, R. E., and Kirschner, P. A. 2011 Teaching general problem solving does not lead to mathematical skills or knowledge. *EMS Newsletter*, March, 41-42
- [16] Sweller J., Clark R.E., Kirschner P. A. 2010–2011 „Mathematical Ability Relies on Knowledge, Too”. 34 AMERICAN EDUCATOR | WINTER 34-35

VALÓS IDEJŰ KÉZ ÉS UJJHEGY ÉRZÉKELŐ ELJÁRÁS

A REAL-TIME HAND AND FINGERTIP DETECTION METHOD

Bolla Kálmán ^{1*}, Szatmári Ferenc ¹

¹ Informatika Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

képfeldolgozás, kézfelismerés

Keywords:

image processing, hand detection

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.

Átdolgozva 2015. október 31.

Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Munkánkban egy vizuális érzékelésen alapuló kézfej és ujjhegy érzékelő megoldást mutatunk be, amely egyúttal valós idejű feldolgozást is lehetővé tesz. Algoritmusunk helyességét kísérletek segítségével bizonyítottuk, mértük annak futási idejét és működésének pontosságát is.

Abstract

In our paper a visual perception based hand segmentation and finger detection method is presented which provides real-time execution, as well. The present algorithm was proven by experiments; the algorithm execution time and the detection accuracy were also measured.

1 Bevezetés

Az ember és gép közötti interakció napjainkban egyre fontosabbá válik. Számos alkalmazásban használják már az effajta kommunikáció előnyeit, kiváltképp a szórakoztató elektronikában. A gépek ember által való vezérlésében nagy szerep jutott az emberi kéz mozgulatainak. Ez nem is meglevő, mivel az emberi kéz több mint 25 szabadsági fokkal rendelkezik [1], így rengeteg különböző lehetőséget biztosít a gépek irányításához. Azonban egy robusztusan működő, pontos kézmozdulat és pozíciót meghatározó eljárás létrehozása komoly kihívást jelent. Az adott témában a kutatók már számos megoldást javasoltak, az utóbbi időben pedig előtérbe került az algoritmusok végrehajtási idejének csökkentése és a valós idejű végrehajtás megvalósítása [1][2]. Célunk egy saját kézfelismerő eljárás kidolgozása volt, mellyel a kéz és az ujjvégek pozícióját pontosan meg tudjuk határozni. Ezen túl a mi eljárásunkban is nagy figyelmet kap a valós idejű szegmentáció megvalósítása.

Cikkünk a következőképpen épül fel: 2. fejezetben részletezzük saját kézfej érzékelő eljárásunkat, a 3. fejezetben pedig az ujjvégek azonosításának módszerét mutatjuk be. 4. fejezetünkben a kísérletek és tesztlések során tapasztalt eredményeinket írjuk le.

2 A kézfej érzékelése

Célunk egy olyan kézfej és ujjhegy érzékelő eljárás létrehozása volt, amely megbízhatóan és pontosan működik – elsősorban laboratóriumi körülmények között – és általa megvalósítható az ember-gép közötti interakció. Mivel a kéz és az ujjak számos különböző pozíciót fel tudnak venni, ezért néhány korlátozást kell bevezetnünk annak érdekében, hogy az algoritmusunk segítségével valós idejű végrehajtást érjünk el. A kéz érzékelése akkor fog megvalósulni, ha a felhasználó tenyere a kamera érzékelőjével szemben helyezkedik el, azzal párhuzamosan, így számos kézpozícióval nem kell már a későbbiekben foglalkozni. Továbbá a kéz, a rögzített képen több méretben is megjelenhet, attól függően, hogy az emberi kéz közel vagy távol helyezkedik el a

* E-mail cím: bolla.kalman@gamf.kefo.hu

kamera érzékelőtől. Ebben az esetben is csökkenteni kell a felmerülő esetek számát, ezért a kamerától számolt 60 cm és 80 cm közötti távolságban fog az eljárásunk megfelelően működni.

Az általunk kidolgozott megoldásban Microsoft Kinect eszközt használunk a rendszer érzékelőjeként, segítségével a hagyományos kamerakép mellett mélységinformációkhoz is juthatunk. A mélységi adatokat elsősorban arra használtuk, hogy a 60 cm-nél közelebbi és 80 cm-nél távolabbi objektumokat ki tudjuk szűrni a további feldolgozási lépésekből. Mivel a mélységkép után a színes kép alapján is szeretnénk dolgozni, ezért a két szenzor által rögzített információkat egymásra kellett illeszteni. Az illesztés eredményeképpen egy olyan képet kaptunk, amely csak a meghatározott intervallumban található objektumok szín információit tartalmazta. Minden egyéb pixelt háttérnek tekintettük és fekete színnel jelöltük. Ezek után csak az illesztett színes képek alapján dolgoztunk, amely feldolgozását három részre bontottuk. Első részében egy előfeldolgozást hajtottunk végre annak érdekében, hogy a kézfelismerés szempontjából fontos régiókat kiemeljük. Második lépésként megvalósítjuk magának a kézfej képen való azonosítását, végül a tenyér és az ujjhegyek érzékelése történik.

Az előfeldolgozási mechanizmus alapvetően a bőrszín szegmentációját alkalmazza, amivel részben megvalósítható a kézfej régió elkülönítése a további objektumoktól. Szakirodalomban található megoldások közül többet is megvizsgáltunk, ezek közül az YCbCr színtartomány alapú szegmentációt [3] találtuk a legmegfelelőbbnek. Ebben a lépésben a bemeneti (már illesztett) színes képet egy bináris képpé alakítjuk, ahol a 1-essel jelölt pixeleket a bőrfelszín részének, a 0-val jelölt pixeleket pedig a háttér részének tekintjük. Az előfeldolgozás eredményét a 1. ábra (a) része mutatja.

Színalapú szegmentálás után a kézre hasonlító régiót ki kell választani a kamera előterébe kerülő többi bőrszínű objektum közül (például emberi arc). Erre a feladatra a szegmentációból kapott bináris képet fogjuk használni és egy előre definiált Haar-leíróval, valamint egy osztályozó algoritmussal valósítjuk meg a kezlet tartalmazó képrész kiválasztását. Az emberi kezlet egyetlen Haar-leíróval modelleztük (1. ábra (c) része), feladata a potenciális régiók kiválasztása a bináris képen. Erre a megoldásra azért esett a választásunk, mert azt feltételezzük, hogy egy terület alapú megoldással meghatározhatjuk hol található a kézfej és alkar egy része a képen. Az 1. ábra (c) részén látható a előre definiált területfelosztás, egy négyszög alakú képrészleten (1. ábra (c) részén fekete színnel) a bőrszínhez tartozó pixeleket feltételezünk, körülötte (1. ábra (c) részén fehér színnel) pedig egyéb színű objektumokat. A leíró alapján három értéket számolunk: a fehér és fekete területek alatt található pixelértékek összege és a két terület különbsége.

A korábban meghatározott korlátozások mellett is rengeteg különböző előfordulás lehet (elsősorban az ujjak lehetséges pozíciói miatt), ezért a bináris képen további transzformációkat kell végrehajtani a sikeres osztályba sorolás érdekében. Először is a kapott képet alulmintavételezzük 160x120 pixel felbontásra. Erre azért van szükség, mert a kézfej érzékelésénél elegendő egy durva alakzat használta is, az ujjak pozíciójának pontos meghatározására csak a későbbiekben lesz szükség. Az alulmintavételezett képen végrehajtott morfológiai nyitás és zárás után egy olyan eredményt kaptunk, amellyel csökkenteni tudtuk a különbséget a széttárt és az összecusokott ujjak pozíciói, valamint a hüvelykujj helyzetének eltérései között. Ezzel a módszerrel a későbbi osztályozás során sokkal pontosabb eredményt fogunk kapni. A mintavételezett kép és a morfológiai előfeldolgozás eredménye megtekinthető a 1. ábra (b) részén.

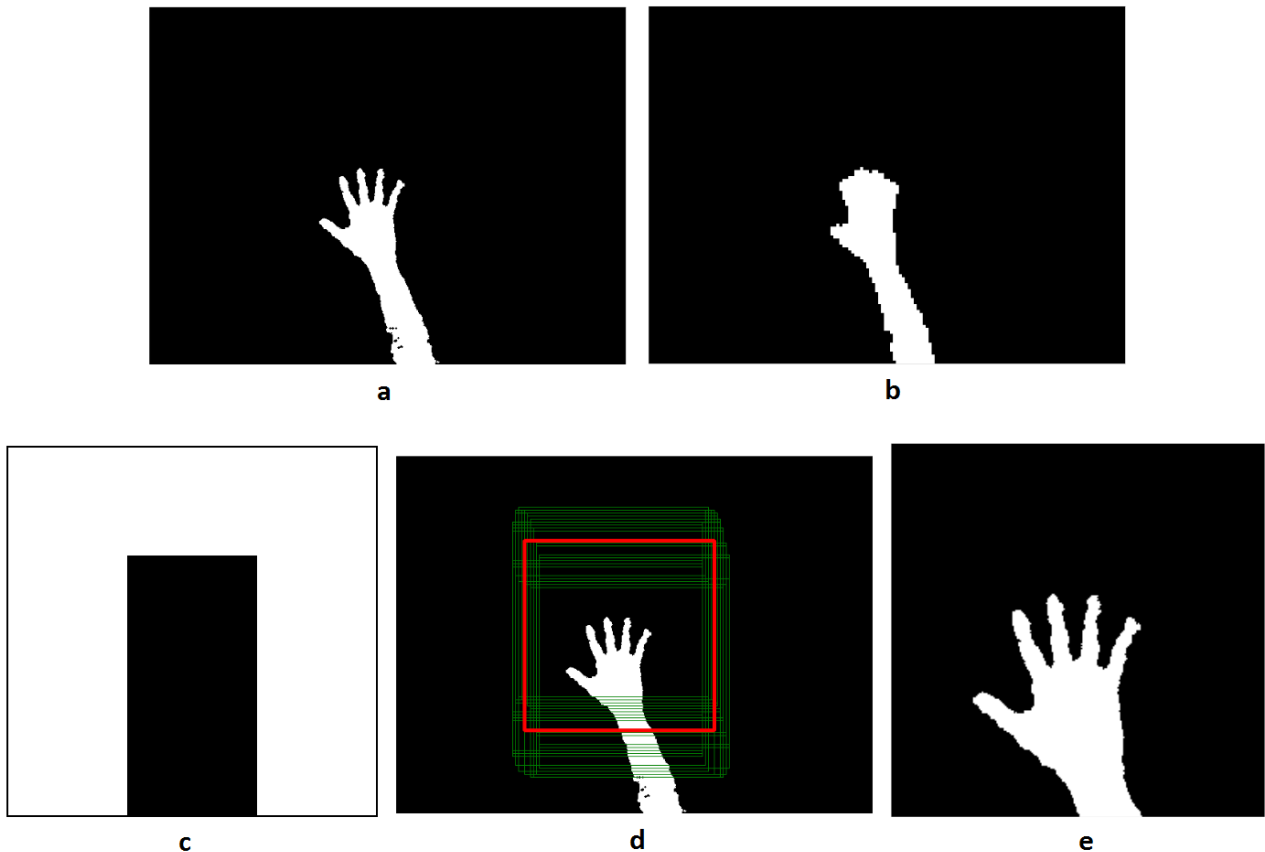
A módosított bináris képből integrál képet számolunk, amely egy alternatív képreprezentáció lesz. Ennek segítségével egy intenzitás kép (esetünkben ez egy bináris kép lesz) négyszög alakú képrészletében meg tudjuk mondani a képrészlet alatti pixelek összegét, mellyel lehetővé válik ezen objektumok észlelése. Az integrál kép x, y pozíciójában található érték tartalmazza a felette és tőle balra található pixelek intenzitás értékeinek összegét:

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

Erről a módszerről további részleteket Viola és Jones cikke [4] tartalmaz, ők az emberi arc szürkeárnyalatos képen való érzékelését valósították meg integrál kép használatával.

Mivel a kép egy részletében fog megjelenni a kézfej, ezért egy 64x64 méretű kereső ablakot definiáltunk, amelyet a teljes integrál képen végigmozgatunk. A keresőablakban az előre definiált Haar-elemmel számolunk (1. ábra (c) része), a fehér régió összegét kivonjuk a fekete régió összegéből, így egyetlen értéket kapunk keresőablakonként.

A képrészlet terület értékeinek megállapítása után osztályba sorolás következik, amely során feltételezzük, hogy a kapott tulajdonsággal biztonságosan meg tudjuk mondani egy képrészletről, hogy az tartalmazza-e az általunk keresett objektumot vagy sem. Erre a feladatra egy a gépi tanulás témakörében jól ismert osztályozó algoritmust használtunk, az AdaBoost-ot. Az AdaBoost lényege, hogy gyengén osztályozó tanuló algoritmusok (esetünkben döntési fák) kombinációjával tetszőleges pontosságú tanuló algoritmust kaphatunk. A tanítás során a gyengén osztályozókat több iteráción keresztül súlyozzuk, végül a betanított algoritmus a gyengén osztályozók súlyozott szavazata alapján fog dönteni. Tanuló algoritmusról lévén szó a tanításhoz és teszteléshez képekre volt szükség, megfelelő arányban kellett negatív és pozitív képeket előállítanunk. Az AdaBoost bemenetének a keresési ablakból számolt terület értékeket adjuk meg, kimenete pedig két osztályra fog korlátozódni: az ablakon belül megtalálható-e az emberi kéz vagy sem. Az osztályozónk tesztelése során arra figyeltünk fel, hogy egy kéz esetén a képen több kéz jelölt is megjelenhet (1. ábra (d) része). Erre a problémára a legjobb megoldás, ha vesszük a kéz jelölteket tartalmazó ablakok átlagát (1. ábra (d) része). A kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a kéz mozgatása során is stabilan ugyanott jelölte az emberi kezét.



1. ábra. Kézfej érzékelésének egyes lépései; (a) Bőrszín szegmentációjának eredménye; (b) alulmintavételezés és morfológiai műveletek utáni kéz; (c) A definiált Haar-elem; (d) AdaBoost osztályozó algoritmus alapján meghatározott kéz jelöltek (zöld színnel) és a jelölteket tartalmazó ablakok átlaga (piros színnel); (e) A kézfejet tartalmazó képrészlet

3 Ujjhegyek detektálása

A kézfej sikeres szegmentációja után az ujjhegyek és a tenyérközep pont meghatározása algoritmusunk következő eleme. A feladat komplexitása miatt itt is több részre kellett bontani a teendőket, és egyúttal ügyelni kellett arra is, hogy a feldolgozási idő számottevően ne nőjön meg.

Első lépésként a kiválasztott képrészleten belül számoljuk az objektumhoz tartozó pixelek centroid pontját (x_c és y_c) az alábbiak alapján:

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y), M_{10} = \sum_x \sum_y x \cdot I(x, y), M_{01} = \sum_x \sum_y y \cdot I(x, y) \quad (2)$$

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}, \quad (3)$$

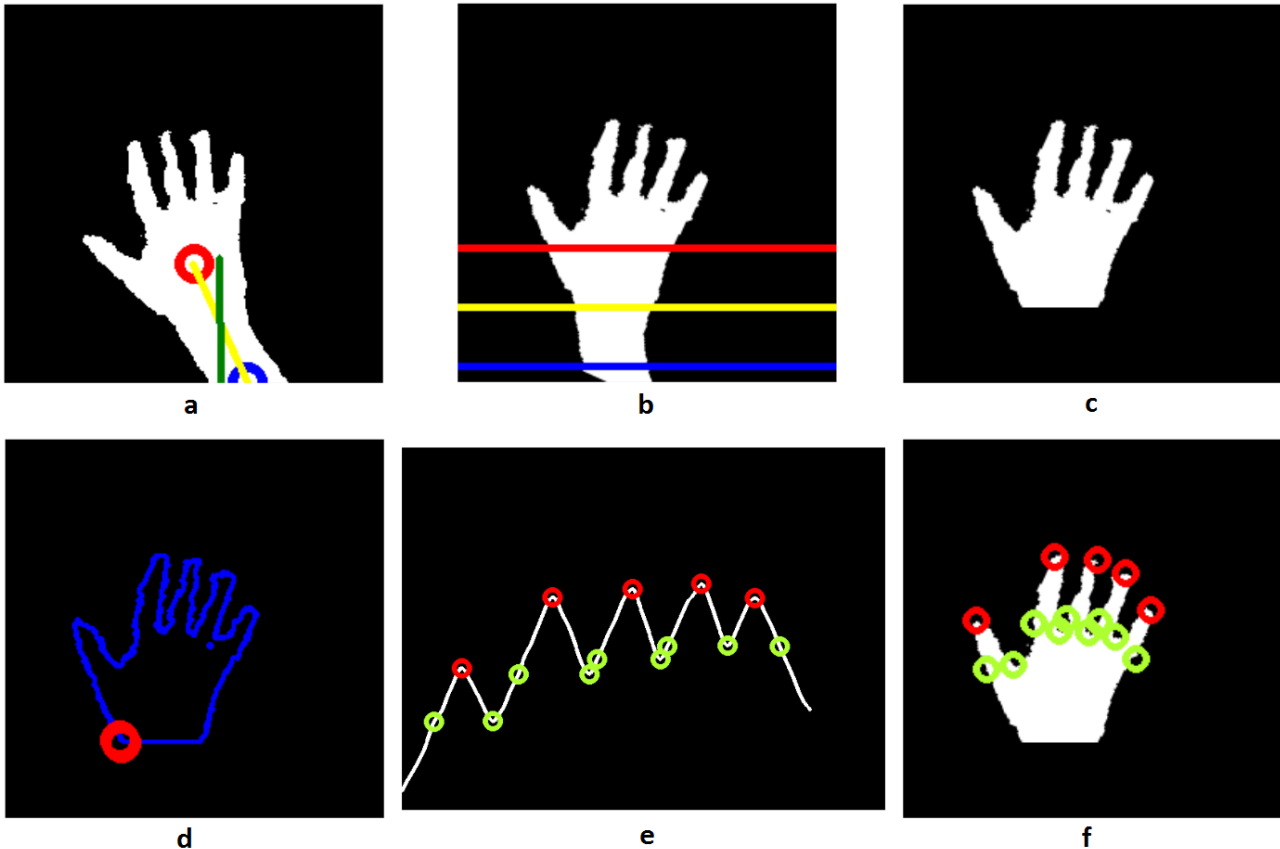
ahol $I(x, y)$ az I bináris kép x, y koordinátáján megtalálható pixel értéke. Mivel a hasznos pixelek értéke 1, a háttér pixelei pedig 0 értéket vesznek fel, ezért a kéz centroid pontját fogjuk megkapni.

Feltételezzük, hogy az alkar egy része is látszódik a képrészlet alján, ezért vesszük annak legalsó sorban található hasznos pixelek középpontját. A két pont közé húzott egyenes alapján tudunk egy előzetes szöveget számolni, mellyel a képet be tudjuk forgatni. Ezzel azt szeretnénk elérni, hogy a kézfelismerő eljárás során érzékelt elforgatott kézfejnek egy általunk meghatározott beforgatott állapotával tudjunk a későbbiekben dolgozni. Ennek az eredményét az 2. ábra (a) és (c) részén láthatjuk. Hozzá kell tenni, hogy ez a módszer nem minden esetben működik jól, a pontos beforgatáshoz szükség lenne a csukló középpontjára és mind az öt ujjhegyre, mindezek alapján már a kézfej pozícióját egészen pontosan meg lehetne becsülni, viszont ezek az adatok még nem állnak a rendelkezésünkre a felismerés jelen állapotában.

A következő lépésként számoljuk a beforgatott kép integrál képét. Erre azért van szükség, mert a kézfejet el szeretnénk választani az alkartól, az integrál kép alapján pedig biztonságosan meg tudjuk majd mondani az alkart és a kézfejet elválasztó csukló vonalát. A csukló középpontját és dőlésszögét többféle módszerrel is meghatározhatjuk, a mi választásunk Chen és Fujiki megoldására [5] esett. Módszerük lényege az 3. ábra (a) részén látható. Feltételezik, hogy a csukló ott található, ahol a horizontálisan összegzett hasznos pixelek száma a minimális értéket veszi fel, a tenyérközep pedig a maximális helyen fog megjelenni. Ezt az adatsort könnyen előállíthatjuk az előbb számolt integrál értékek alapján. Természetesen a kapott adatsor a valóságban zajjal terhelt lesz az érzékelés hibái miatt, ezért az adatsor javításához Gauss-szűrőt használtunk:

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

A kísérletek során viszont azt vettük észre, hogy inkább a minimum és a maximum pont között található a valódi csuklóvonal, így a minimum pont helyett a két szélsőérték közötti értékkel dolgoztunk a továbbiakban (2. ábra (b) és (c) része). Érdekes még megemlíteni, hogy ez az eljárás akkor működött jól, ha legalább egy ujj látszódik a képen a felhasználónak, ökölbe szorított kéznél a tenyér egy részét is levágta.

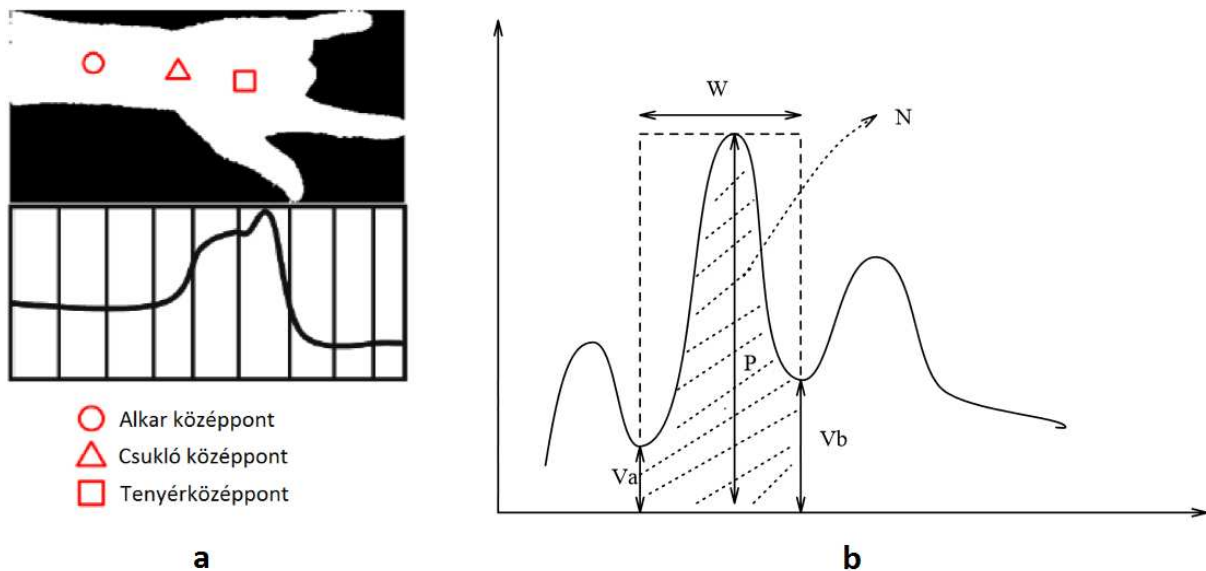


2. ábra. Ujjhegyek érzékelésének egyes lépései; (a) Kéz centroid pont pirossal, alkar pont kékkel, a köztük lévő egyenes sárgával, a forgatás utáni egyenes pedig zölddel jelölve; (b) Pontok alapján számolt szög alapján beforgatjuk a kézfejet, ezek alapján már meghatározható a csukló vonala (sárga színnel); (c) A csuklóvonal alapján levágott kézfej; (d) Kontúrdetektálás eredménye és a kontúrkezdőpont pirossal jelölve; (e) Radiális távolságok az új kezdőponttól, valamint az érzékelt ujjhegyek piros színnel; (f) A teljes ujjhegy felismerő eljárás eredménye

Miután a csuklóvonal alapján levágtuk az alkart az elforgatott képről (2. ábra (c) része), kontúrdetektálással segítjük elő az ujjvégek érzékelését. Mivel a kontúrponatok nem olyan sorrendben lesznek, amely nekünk a későbbi számításokhoz szükséges lesz, ezért először megkeressük melyik pont van a kontúrból legközelebb a csukló középpontjához. Továbbá azt feltételezzük, hogy a keresett pont x koordinátája kisebb legyen, mint a csuklóközéppont x koordinátája, ami azt fogja jelenteni, hogy a képen mindig a csuklóközéppont bal oldalán helyezkedik el ez a kontúrponat. A keresett kontúrponat alapján újrarendezzük a pontok listáját és számoljuk a minden egyes pont és az új kezdőponat közötti Euklideszi távolságot, így megkapjuk az alakzat radiális távolságait [6]. A radiális távolságot arra fogjuk felhasználni, hogy meghatározzuk az ujjhegyek pozícióját, melyek jól láthatóan a lokális maximumok lesznek a radiális távolságokat reprezentáló függvényen (2. ábra (e) része). Az ujjhegyek megkeresése előtt ebben az esetben is Gauss-szűrést alkalmaztunk, a csúcsok érzékeléséhez pedig a Peakiness tesztet [7] választottuk (3. ábra (b) része). A teszt használatával a függvényben található csúcsokat tudjuk egyetlen értékkel jellemezni a csúcsok szélessége, magassága és a függvény alatti terület alapján. Csúcsok jellemzése:

$$Peakiness = \left(1 - \frac{(V_a + V_b)}{2P}\right) \cdot \left(1 - \frac{N}{(W \cdot P)}\right) \quad (5)$$

A teszt megfelelő paraméterezése lehetővé tette az ujjak biztonságos érzékelését, segítségével még a 3 és 4 összezárt ujj állapotát is el tudunk egymástól különíteni. Sajnálatos módon, ha két ujj összezárva volt, a radiális távolságadatok alapján nem tudtuk egyértelműen megmondani, hogy egyetlen ujjat vagy két összezárt ujjat találtunk meg éppen, mivel a két állapot csak minimálisan különbözött egymástól. Ezen kívül a radiális adatok felhasználhatóak voltak a hüvelykujj jelenlétének meghatározásához is, a kontúr referenciaponthoz a hüvelykujj csúcsa mindig közelebb helyezkedett el (jobb kéz esetén), mint a többi ujj esetében.



3. ábra. (a) Chen és Fujiki megoldása [5] a csukló vonalának meghatározására; (b) Peakiness teszt [7] a jó csúcsok kiválasztásához; V_a és V_b jelöli a csúcshoz tartozó völgyek magasságát, W a jó csúcs szélessége, P a csúcs magassága, N pedig a függvény alatti terület

4 Kísérletek és eredmények

Algoritmusunk tesztelése során egyaránt használtunk előre felvett videókat – amelyek az eljárás végső változatának létrehozásában segítettek – illetve a Kinect által biztosított előképeket. Programunkat C# nyelven készítettük el és felhasználtuk az OpenCV [8] által biztosított képfeldolgozási függvénykönyvtárat.

A kézfej érzékeléséhez használt osztályozó algoritmusnál a tanító adatokat szintén mi állítottuk elő, összesen 1566 képrészletet és abból számolt terület értékeket készítettünk el. A sikeres betanítás érdekében fontos volt, hogy a negatív adatok túlsúlyban legyenek, ezért az összes kép 1524 negatív és 42 darab pozitív képre lett szétbontva. Természetesen a tanítás után tesztelésre is szükség volt, a teszteléshez használt adathalmazunk 229 elemből állt, melyből 199 volt a negatív és 30 a pozitív. A megfelelő tanító adatsor megtalálásával sikerült elérni, hogy a tesztelő adatsoron az osztályozás 97,82%-ban működött jól, 2,18%-át sorolta a negatív képeket a jók közé, valamint egyszer sem fordult elő, hogy rossznak ítélte volna olyan képeket, amin a kézfej látható.

Másik fontos szempont volt az algoritmus futási ideje, célunk az volt, hogy közel valós idejű feldolgozást érjünk el. Ennek eredményeképpen mértük az egyes képfeldolgozási feladatok futási idejét, és sikerült az OpenCV-n alapuló megoldásunkat úgy optimalizálni, hogy a kéz lokalizációja átlagosan 48,78 ms-ot, a tenyér és ujjvégek átlagos felismerési ideje pedig 12,39 ms-ot vett igénybe.

5 Összefoglalás

Cikkünkben egy valós idejű kézfej és ujjhegy érzékelő algoritmust mutattunk be, megoldásunkat pedig két részfeladatra bontottuk szét. Elsőként a teljes képen meg kellett határozni magának a kéznek a pozícióját, későbbiekben a csukló alapján a kézfej és az ujjhegyek szegmentációját valósítottuk meg. Algoritmusunk működésének helyességét előre rögzített videók segítségével és az érzékelő által biztosított élőképen végzett kísérletekkel bizonyítottuk. Munkánkban fontos szerepet kapott az eljárás futási ideje is, átlagosan 60 ms szükséges egy rögzített kép feldolgozása.

Irodalom

- [1] K. Mei, L. Xu, B. Li, B. Lin, F. Wang, "A real-time hand detection system based on multi-feature", Neurocomputing, Elsevier, Vol. 158, pp. 184–193, 2015.
- [2] M. K. Bhuyan, K. F. MacDorman, M. K. Kar, D. R. Neog, B. C. Lovell, P. Gradde, "Hand pose recognition from monocular images by geometrical and texture analysis", Journal of Visual Languages and Computing, Elsevier, Vol. 28, pp. 39–55, 2015.
- [3] J. A. M. Basilio, G. A. Torres, G. S. Pérez, L. K. T. Medina, H. M. P. Meane, "Explicit Image Detection using YCbCr Space Color Model as Skin Detection", Proceedings of the 2011 American conference on applied mathematics and the 5th WSEAS international conference on Computer engineering and applications, IEEE ICCE pp. 123-128, 2011.
- [4] P. Viola, M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference, IEEE, Vol. 1, pp. 511–512, 2001.
- [5] W. Chen, R. Fujiki, D. Arita, R. Taniguchi, "Real-time 3D Hand Shape Estimation based on Image Feature Analysis and Inverse Kinematics", Image Analysis and Processing, 2007. ICIAP 2007. 14th International Conference, pp. 247-252, 2007.
- [6] E. Yörük, E. Konukoglu, B. Sankur, "Shape-Based Hand Recognition", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 7, 2006.
- [7] M. Shah, "Fundamental of Computer Vision", University of Central Florida, 1997.
- [8] OpenCV, <http://opencv.org/>, [online]

ROBOTIKA A KÖZOKTATÁSBAN

ROBOTICS IN PUBLIC EDUCATION

Kiss Róbert¹

Kecskeméti Bányai Júlia Gimnázium, Kecskemét

Kulcsszavak:

robotika
algoritmikus gondolkodás
innováció
problémamegoldás
közoktatás

Keywords:

robotics
algorithmic thinking
innovation
problem-solving
education

Cikk történet:

Beküldve: 2015. november 2.
Átdolgozva: 2015. november 17.
Elfogadva: 2015. november 30.

Összefoglaló

A robotika, a XXI. század vitathatatlanul egyik vezető kutatási területe. A középiskolai oktatásban is megvan a szerepe, hiszen a műszaki és informatikai kompetenciafejlesztés és problémamegoldás olyan eszköze lehet, amely megfelelő alapozást adhat a későbbi tudományos célok felé. Eszközként a MINDSTORMS robotok biztosítják az alapot.

Az elmúlt években egyre terjed Magyarországon is a közoktatásbeli robotika-oktatás. A nemzetközi gyakorlatban már több mint 10 éves hagyománya van a versenyeknek, amelyek 50-60 ország 20-30 ezer diákcsapatát mozgósítják. A nemzetközi versenykonceptiók sok esetben eltérnek a hagyományos magyarországi versenyektől, mind koncepciójukban, mind tartalmukban.

Ebben az írásban a középiskolai informatika oktatás megújítását szem előtt tartva a diákok algoritmikus gondolkodásának, problémamegoldási kompetenciáinak fejlesztésére mutatjuk be a robotika lehetőségeit. Mindezt összekapcsolva egy kontrollcsoportos vizsgálattal, amely alátámasztja az eszköz motivációnövelő hatását.

Abstract

Robotics without doubt is one of the leading research fields of the 21st century. It can also play an important role in secondary education as a way of developing students' engineering, information technology and problem-solving competences, thus providing an adequate background for later ambitions in scientific fields. We rely on MINDSTORMS robots as appropriate supporting hardware.

Teaching robotics in IT lessons in public education has started to become popular in recent years. Concerning the international trends, competing in this field has had a tradition of more than ten years, involving 50-60 countries with approximately 20-30 thousand student teams. International tournaments often differ from the traditional contests in Hungary, both in concept and content. In this writing we demonstrate the potentials offered by robotics to develop students' algorithmic thinking and problem-solving abilities with a definite intention of reforming the teaching of information technology at secondary schools. The supplementary control-group trial is meant to prove how this method contributes to students' motivation in IT lessons.

¹ e-mail cím: robekiss@gmail.com

1 Bevezető

A közeljövő technikai fejlődésének domináns irányai az informatika specializálódásán keresztül válnak valósággá. A XX. század science fiction regényeinek elképzelései közül egyre több inkább a tudomány, mintsem a fikció kategóriájába sorolható. A robotika az Isaac Asimov által megálmodott kitalációból hétköznapi gyakorlattá vált.

A műszaki tudományok oktatásának szükségessége nehezen vitatható, hiszen a háztartásokban jelenleg is számos olyan elektronikus eszköz működik, amely processzorvezérelt technológiára épül, a szórakoztató és kommunikációs elektronikától a fejlettebb háztartási gépekig. Ezeknek az eszközöknek az aránya egyre nő, és a jövő generációjának a gombok nyomogatásán túlmutató kompetenciákkal kell rendelkeznie, hogy ne váljon mindez a „varázslat” és „misztikum” eszközévé, hanem az egyszerű eszközhasználó is lássa és tudja a mögöttes algoritmusok emberi kreativitásban rejlő működését.

Az informatika oktatását olyan kettősség jellemzi, amely más tantárgyi struktúrákra nem jellemző. Egyrészt az elmélet, fogalmak, működési mechanizmusok, másrészt a gyakorlati használat kettőssége. A modern szoftverek fejlődésével egyszerű felhasználói szinten is lehetővé vált multimédiás anyagok szerkesztése és látványossá tétele. Az eszközök használhatóságának felhasználóbaráttá alakítása folytán egyre kevesebb iskolában megszerezhető tudásra van szükség a működtetéshez. A diákok a tantárgyak közül az informatikai eszközök használatához szükséges kompetenciákat sajátítják el leginkább iskolán kívüli keretekben. Az internet korlátlan szabadsága olyan információs körülményeket hozott létre kiegészítve a legegyszerűbb felhasználó számára is működtethető struktúrával, hogy iskolai oktatási rendszer nélkül is boldogulhat egy átlag felhasználó.

A kisebbség számára, akik az informatikával hivatásszerűen fognak dolgozni, ennél sokkal több kell. Mindennek az alapját nem csak technikai szinten, hanem még inkább a motiváció terén az általános- illetve középiskolában lehet lerakni.

A közoktatás informatika tanítása a legtöbb oktatási koncepció szerint alapvetően a gyakorlati géphasználton keresztül, az alapvető felhasználói szoftverek kezelésének tanításából, használatuk gyakorlásából áll. Háttérbe szorul az elmélet és az algoritmizálás, mint két régebbi terület. Nincs ezzel probléma, hiszen az átlagos felhasználó valóban leggyakrabban a szövegszerkesztés, valamint a hálózati kommunikáció (internet) lehetőségeivel találkozik és ezeket az eszközöket használja gyakorlati módon. Ugyanakkor az algoritmizálás (programozás) olyan kompetenciákat fejleszt, amely más tudományterületekre gyakorolt hatása nem elhanyagolható. Gondolok itt nemcsak a mindennapjainkat átható algoritmusokra, hanem a természettudományos gondolkodás absztrakt érvelésére és folyamatleírásaira. [2], [3]

Mindezen okokból az informatika oktatásának megújításához olyan eszközt kell keresni, amely használata egyszerűsége mellett magában hordozza a látványos és tanulói motivációt erősítő hatást.

2 Algoritmikus gondolkodás, algoritmizálás, programozás

2.1 Elméleti áttekintés

Az algoritmus olyan konkrétan meghatározott véges sok művelet sorrendje, amelyek végrehajtása elvezet a feladat (a probléma) megoldásához.

A problémamegoldás, amely során elemi részekre bontjuk, analizáljuk a feladatot, majd a megoldásnál a lényegi elemek kiemelésével keressük a megoldáshoz vezető utat, több különböző megközelítést is magában hordoz, amely elvezethet egy elfogadható eredményhez. Pólya György matematikai problémamegoldásra adott általános algoritmus is ilyen. Természetesen minél általánosabb a megfogalmazás, annál nehezebb az adott feladatra történő konkretizálás is.

A szakirodalom szerint az algoritmikus gondolkodásnak négy szintje különböztethető meg:

1. Már tanult eljárás emlékezetből történő előhívása, amely a deduktív gondolkodás alapja. Konkrét esetekben történő alkalmazása az általános algoritmus specifikálását igényli. Még nincs önálló algoritmus tervezés, csupán általános sémák konkretizálása.

2. Az előző szint bizonyos értelmű fordítottja. Az többszöri megfigyelésekből levont következtetések, általánosítások alapján az induktív gondolkodást használva, a lépéssorozat rögzítésére.
3. A tulajdonképpeni algoritmikus gondolkodás, amely során már tudatos törekvés zajlik a megfelelő algoritmus kiválasztására, megalkotására.
4. Kreativitás, amely során új algoritmus ötletek és lépéssorozatok készülnek.

A 1-4. szint esetén a különbség az algoritmus megalkotásához szükséges kognitív rendszer bonyolultságában rejlik.

Minden szinthez szükségesek azok az elemi lépések, amelyek egymásutánjára épülhet a megoldáshoz vezető út. Az elemi lépések szintaxisát és lehetőségeit az alkalmazás szempontjából releváns tudományterület specifikálja (sokszor több terület is közösen).

Az informatika oktatásának kezdeti szakaszában a programozás tisztán ilyen technikákat használt. Az absztraktsága miatt azonban kevés diák számára jelentett a sikeresen megírt algoritmus (program) katarzist. A felhasználói informatika térnyerésével ez a réteg tovább szűkült, hiszen sokkal egyszerűbb eszközökkel lehet látványosabb eredményt elérni. Nem jelent például motivációs kihívást a diákok számára a karakteres képernyőn megjelenő számsorban megszámolni a páratlan elemeket, hiszen informatika órán alternatívaként a multimédiás elemek sokasága is megjelenik.

2.2 LOGO és LEGO

A hagyományos értelemben vett programozás, amely az algoritmusok tervezésének legabsztraktabb megközelítése, csak az emelt szintű érettségire felkészülés során jelenik meg. Mindezzel egyet lehet érteni, hiszen olyan speciális informatikai területről van szó, amely az átlag felhasználó számára fölöslegesnek tűnik a géphasználat során. A programozás által fejlesztett kompetenciák azonban nagyban hozzájárultak olyan gondolkodási módszerek, struktúrák kialakulásához, amelyek a műszaki, természettudományos és matematikai gondolkodás algoritmusait segítették. Az oktatási dokumentumokban továbbra is minden tudományterületen hangsúlyosan fejlesztendő kompetenciaként jelenik meg az algoritmikus gondolkodás.

Az általános iskolai informatikai gyakorlatban megjelenik az algoritmizálásnak egy olyan eszköze, amely a magas szintű programnyelvek sajátosságaival rendelkezik, és gyakorlati programozást tesz lehetővé. Ez a szoftver a LOGO, amelynek több szoftverfejlesztő által készített változata is forgalomban és használatban van. A tapasztalatok azt mutatják, hogy mindez 4-6. évfolyam tananyagában jelenik meg leginkább, ahol a szűkös órakeretek csak a vektorgrafikus ábrák rajzolását teszik lehetővé. A programmal egyszerűen és jól megtanítható az eljárások használata, akár egymásba ágyazva is. Nagyban segít a matematika szögekkel, arányokkal történő számításaiban, illetve a térbeli orientációt fejleszti. A programozási nyelvek legfontosabb sajátosságai közül az iterációk szerepe emelkedik ki. A változók használata és a feltételekhez kötött utasítás végrehajtás ugyan lehetőségként szerepel a programban, de tapasztalatok szerint nem jelenik meg a tanított anyagban. A probléma abban van, hogy a 10-12 éves korosztály számára a komplexebb alkalmazások elkészítése idegen a megszokott informatikai környezettől. Karakterkódolt utasítások egymásutánja messze van a megszokott „kattintok az egérrel” technikától. Az algoritmusok eredménye egy képernyőképet eredményez, ami ugyan lehet szép, de nem hordoz kellő motivációt, vagy gyorsan csökken a motiváltság. A program sajátosságai révén nagyon elkülönül a későbbiekben használt felhasználói szoftverektől, így 7-8. évfolyamra gyakorlatilag nyoma sem marad a megtanultaknak.

A karakteralapú programozás egyik már említett, és talán legfontosabb gátja a billentyűzethasználat és a karakter alapú programnyelvek szorosan kötött nyelvi szintaxisa. Néhány éve figyelhető meg az a jelenség, hogy a szokásos hardver elméleti oktatás kezdetén a számítógép elsődleges beviteli perifériájaként az egeret és nem a billentyűzetet említik a diákok. A programnyelvek beszélt nyelvektől eltérő nagyon szorosan kötött nyelvtani szerkezete érzékeny a gépelési hibákra, így a karakteralapú programozás tesztelési fázisa nagyobb részt a gépelési hibák javításából áll, ami megnehezíti az algoritmusok tervezését és motivációromboló hatásán keresztül rövid időn belül negatív tanulási rutint eredményez.

Seymour Papert, a LOGO nyelv megalkotója olyan eszközt hozott létre, amely nagyszerűen alkalmas volt algoritmikus gondolkodás fejlesztésére, de az informatikai eszközök fejlődése továbblépésre kényszerít. [5]

A kreativitás fejlesztésére vitathatatlanul egy olyan eszköz talán a legalkalmasabb, amely története során játékként indult, de az oktatás hamar felismerte a benne rejlő lehetőségeket. A LEGO a konstrukció ötletessége és a mögöttes mérnöki koncepció miatt továbbra is gyakorlatilag egyeduralgoló a területen. Részben Papert ötletei nyomán kiegészítve mindezt egy komoly informatikai háttérrel olyan eszköz jött létre, amely alkalmas arra, hogy a legmodernebb technológiát megjelenítve, az algoritmikus gondolkodás fejlesztéséhez olyan eszközt adjon, amely minden hibáját kiküszöböli a fentebb vázolt rendszereknek, ugyanakkor lehetővé teszi a korábban említett elvárásoknak megfelelést. A létrehozott eszköz egy programozható minikomputer, amely szenzorain keresztül érzékeli környezetét, megírt programja segítségével reagálhat rájuk, és a LEGO kreativitását használva csak az emberi fantázia szab határt a benne rejlő konstrukciós lehetőségeknek. Ez az eszköz a MINDSTORMS® névre keresztelt robot. (Jelenleg forgalmazott két változata: NXT és EV3.)

3 MINDSTORMS® robotok

Seymour Papert gondolata alapján is érdemes megvizsgálni a LEGO cég MINDSTORMS® konstrukcióját. „A játék irányítja-e a gyereket, avagy a gyerek a játékot?” Az eszköz egyértelműen csak a lehetőségeket biztosítja a kreatív fantázia számára. A robot csak arra képes, amit a felhasználó által megírt programja enged. Ez egy fontos gondolat és mindennek a tudatosítása a diákokban az eszközhasználat során érhető el.

A robot működését tekintve úgy képzelhető el, hogy készítünk egy konstrukciót, általában a célfeladatra, mindehhez LEGO építőelemeket használva. Beépítjük a konstrukcióba a robot agyát képező minikomputert, amelyhez szervo motorokat és a környezet fizikai, kémiai jellemzőit mérni tudó szenzorokat kapcsolhatunk. Egy számítógépen elkészítjük a robot programját, amely a szenzorokból érkező adatokat értelmezi és az utasításoknak megfelelően vezérli a motorokat, vagy a konstrukciót valamilyen válaszadásra kényszeríti. Az elkészült programot a robotra feltöltve, az már autonóm módon képes a működésre a programjának megfelelően. A működés tehát függ a megépített hardvertől és a megírt programtól. Mivel a robot viselkedését befolyásolja a környezet, ezért hibás működés esetén vagy a konstrukciót, vagy a programot kell átalakítani. Ez nem egyszerű probléma, hiszen a működést a környezet teljes hatásmechanizmusa befolyásolja, amelyből a szenzorok csak néhányat tudnak érzékelni. Például ugyan mérhető a szenzorra jutó fényintenzitás, de mivel ez nem homogén, ezért az árnyékok zavarhatnak, csakúgy, mint mozgás esetén a felület tapadási együtthatója, amely biztosan nem egyenletes. Hibás működésnél a döntés, hogy a programot vagy a hardvert változtassuk-e, már a problémamegoldás tárgykörébe esik. A hibakeresés a problémamegoldás lényeges összetevője. Nem véletlenül ez a PISA mérések problémamegoldás területének egyik hangsúlyos eleme. A robot nem várt viselkedését figyelve, annak azonosítása, hogy tíz esetből egy alkalommal produkált jelenséget mi okozza, nagyon nehéz. Ez a természettudományos kísérlet-megfigyelés-adatelemzés módszeréhez is közelebb visz.

Az eszközről további magyar nyelvű információk találhatóak a [4], [8], [9], [10], [11], [12] hivatkozásban megjelölt művekben.

4 Robotok használata az oktatásban – kontrollcsoportos kísérlet

A MINDSTORMS® robotok használatának oktatásbeli lehetőségeit érdemes megvizsgálni a gyakorlatban is. Bár a leírtak meggyőzőek lehetnek, de a tényleges alkalmazás világíthat rá a problémákra. Az alkalmazás a közoktatásban kétféle szervezésben képzelhető el. Az egyik a szakköri forma, amelynél csupán az érdeklődők vesznek részt a használatban és a tanulási folyamatban. A másik út a tanórai alkalmazás. Ebben az esetben minden diák részt vesz a folyamatban.

A 2009/2010-es tanévben egy kontrollcsoportos kísérletben vizsgáltuk, hogy az eszköz alkalmas-e az algoritmikus gondolkodás fejlesztésére és a tanulói motiváció megerősítésére.

A kísérlet időintervalluma a tanév II. féléve (február-május) volt, informatika tanóra (heti 1 óra) keretében. A kísérleti intervallum rövid, de a tantervi struktúra ezt tette lehetővé, valamint a szakköri formában már működő koncepció csupán megerősítést igényelt.

A kontroll csoport két 16 fős, 6. évfolyamos (12 éves) csoport, LOGO (Imagine) programozási nyelvet használt a kísérleti időszakban.

A kísérleti csoport két 16 fős, 6. évfolyamos csoport, LEGO Mindstorms® NXT robotokat használt, NXT-G ikon alapú keretprogrammal. Két tanulóként egy-egy eszköz használatát tudtuk biztosítani, így a csapatban dolgozás, a team munka is előtérbe került.

A kísérlet eredményességét saját fejlesztésű mérőeszközökkel vizsgáltuk.

A mérési koncepció szerint a kísérlet kezdetén, az algoritmikus gondolkodás fejlettségét mérő környezetfüggetlen, 45 perces papír-ceruza tesztet használtunk. A fejlesztési periódus végén, a bementi méréssel ekvivalens tesztet, valamint attitűdöket, motivációt vizsgáló kérdőívet írtak meg a kísérletben részt vevő tanulók.

Vizsgálati szempontokként a hozzáadott értéket mértük a programozói tudás alapjai és komplexitása terén, és az algoritmikus gondolkodás fejlettségére vonatkozóan, valamint az attitűdök és motiváció alakulását a kísérleti periódus során.

A papír-ceruza teszt összeállításának nehézsége abban rejlett, hogy a célnak megfelelően az algoritmikus gondolkodás fejlettségét, összetevőinek működését szeretnénk volna feltérképezni. A megvizsgált szakirodalom nem tartalmazott utalást olyan vizsgálatokra, mérésekre, amelyek kiindulási alapot jelenthettek volna.

A kísérleti és kontroll csoportban használt két programnyelvi környezet alapvetően eltér egymástól. Mindkettő az életkori motivációt kihasználva a látványelemekre épít, de míg a LOGO alapvetően karakter alapú (karakterek gépelésével lehet a forráskódot előállítani), addig az NXT-G egérhasználatra épül.

Más alapvető filozófiai különbség is van a két rendszer között. A robotprogramozás a szenzorhasználatból eredően, a környezet hatásaira történő reagálást helyezi előtérbe. Vagyis a programok nagymértékben épülnek a robot épített környezetben megjelenő hatásokra. Ezek sokszor csak a robot környezetbe helyezésével válnak ismertté, így a program felkészítése ezekre a hatásokra csak általános. A LOGO esetében a paramétereket a programozó adja meg az esetek többségében, és a környezeti hatás ezért kisebb és kevésbé realizisztikus.

Az LOGO Imagine programot a tanórán (a korosztály esetében) elsősorban különböző geometriai ábrák rajzolására használták a tanulók. Ezen ábrák szimmetriatulajdonságait kihasználva lehet a forráskódot megtervezni. Természetesen a fejlesztőkörnyezet alkalmas arra, hogy a magas szintű programnyelvek minden fontosabb eszközét használjuk, de ezek alkalmazása motivációs és időbeli gátakba ütközik.

Az elkészítendő tesztel szemben azt vártuk el, hogy egyik programnyelvet se favorizálja a másikkal szemben, így lehetőleg objektív képet adjon a mért területen.

3.1 A minta elemszámai

A kísérlet során három alkalommal került sor papír-ceruza mérésre, így a mintaelemszámok a tanulók hiányzásai miatt kis mértékben különböznek. Az adatok elemzésekor a három adathalmaz illesztésénél a legkisebb mintaelemszám az, amelynél az adatsor hiánytalan.

1. táblázat. A minta elemszámai a kísérletben részt vett csoportok szerinti bontásban (fő).

	Nyitó teszt	Záró teszt	Kérdőív
Kontroll csoport	33	33	30
Kísérleti csoport	26	32	32
Teljes létszám	59	65	62

A kísérlet tervezésénél arra törekedtünk, hogy a kísérleti és kontroll csoport létszáma körülbelül azonos legyen. A gimnáziumban működő két párhuzamos osztály profilja a tanult idegen nyelv vonatkozásában tér el (angol nyelv, illetve német nyelv). Mivel a robotprogramozásnál használt szoftver angol nyelvű, ezért mindkét osztályon belül fél-fél csoport vett részt a kísérleti és kontroll elrendezésben.

3.2 Nyitó mérés

A nyitó mérésre egy 46 ítemes papír-ceruza tesztet használtunk. Mivel nem állt rendelkezésre standardizált teszt és próbamérésre nem volt lehetőség, ezért a teszt feladatainak nehézsége nem volt becsülhető. A cél az volt, hogy lehetőleg a vizsgált algoritmikus gondolkodási kompetencia szempontjából ne legyen szignifikáns különbség a kísérleti és kontroll csoportok között.

2. táblázat. A nyitó teszt átlagai és szórásai a kísérleti és kontroll csoportban (százalékpont).

	Statisztikai jellemző	Nyitó teszt
Kontroll csoport	Átlag	64
	Szórás	8
Kísérleti csoport	Átlag	63
	Szórás	11
Teljes minta	Átlag	64
	Szórás	9

A teszt az átlag tanúsága szerint könnyűnek bizonyult (nyitó mérés), viszont a célt sikerült elérni, hiszen a két csoport között nem volt szignifikáns különbség (t-próba: $F=3,60$; $\text{sig}=0,06$; $t=0,37$ $\text{sig}=0,71$).

A záró mérésnél a nyitóteszt megfelelő elkülönítésmutatóval rendelkező itemjeit megtartva (28 ítem), a maradék ítemeket cserélve készítettük el az új mérőeszközt.

3.3 Záró mérés

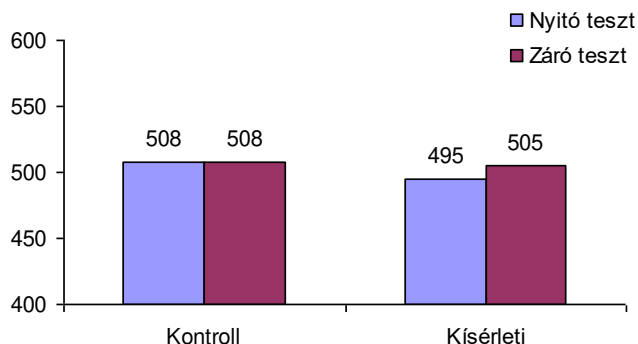
A záró teszt 28 íteme megegyezett a nyitó tesztben szereplő feladatokkal, további 18 új ítemmel kiegészítve.

3. táblázat. A záró teszt átlagai és szórásai a kísérleti és kontroll csoportban (százalékpont).

		Nyitó teszt
Kontroll csoport	Átlag	68
	Szórás	12
Kísérleti csoport	Átlag	66
	Szórás	13
Teljes minta	Átlag	66
	Szórás	13

A záró teszt esetében sem volt szignifikáns a különbség a két csoport között (t-próba: $F=0,09$; $\text{sig}=0,76$; $t=0,70$; $\text{sig}=0,48$).

Ha összehasonlítjuk a nyitó teszt és a záró teszt eredményeit, azt tapasztalhatjuk, hogy az átlagok kis mértékben növekedtek. Mivel a két teszt csak a 28 ítemes magtesztben egyezett meg, de egyik teszten sem volt szignifikáns különbség a két csoport között, ezért standardizálva (átlag: 500; szórás: 100) az eredmények már összehasonlíthatóakká válnak. A standard pontok között a növekedés ugyan számszakilag mindkét csoportnál megjelenik, de egyik esetben sem szignifikáns.



1. ábra. A nyitó és záró teszt átlaga csoportonként standard pontban.

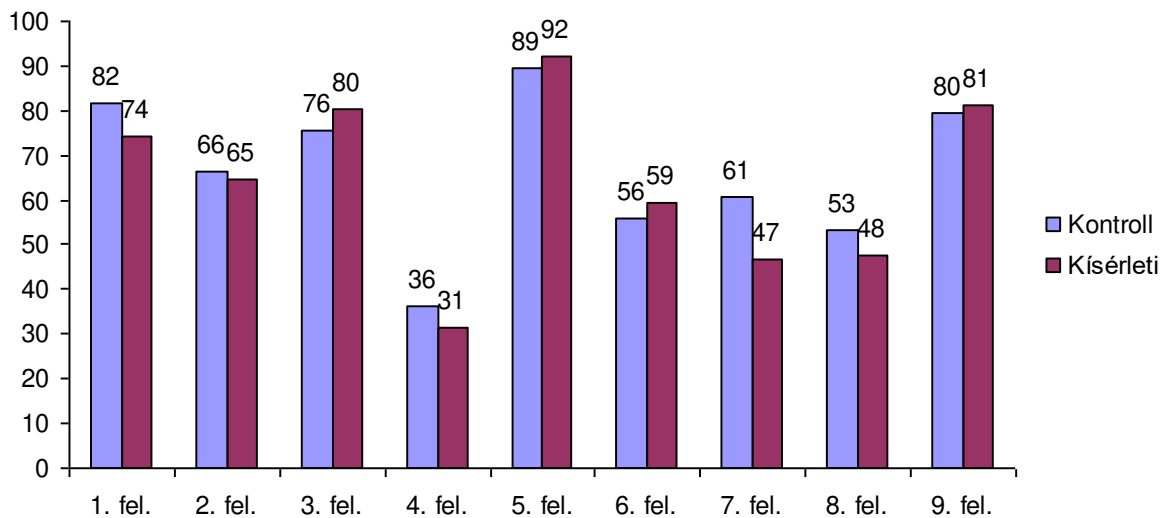
Bár a különbség nem szignifikáns, az mindenképpen figyelemre méltó, hogy a szórás adatok a kísérleti csoport esetében jelentősen csökkentek, míg a kontroll csoport esetében növekedtek. A szórások csökkenése a csoport homogenizálódására utal a vizsgált kompetencia vonatkozásában. A növekvő szórások viszont azt jelzik, hogy a kontroll csoporton (LOGO-Imagine) belül a tanított algoritmus leíró nyelv jobban megosztotta a csoportot. Valószínűsíthető, akik „elveszítették a fonalat” valahol a tanítási folyamat során, azok nehezebben kapcsolódtak be az új témáknál és az ezzel együtt járó motivációvesztés tovább rontotta a tanulási teljesítményt, míg a robotprogramozás esetén ez nem volt ilyen domináns.

A százalékos teljesítmény azonban összességében igen magas, figyelembe véve a tesztek absztrakciós szintjét. Ez mutatja a diákok átlag fölötti gondolkodási képességeit, amit más helyi és országos mérések is jeleznek a kísérleti populáció esetén.

Mivel a kísérleti és kontroll csoport teszteken elért eredményei között nem mutatható ki szignifikáns különbség, ezért érdemes megvizsgálni a feladatonkénti eredményeket, hogy a két csoport tudásában mutatkozik-e eltérés. A két programkörnyezet jelentős eltérése indokolná ezt. Az eredményeket a záró teszt feladatain elemezzük.

4. táblázat. A záró teszt feladatain elért átlagok és szórások a kísérleti és kontroll csoportokban (százalékpont).

	Csoport	Átlag	Szórás
1. feladat	Kontroll	82	14
	Kísérleti	74	16
2. feladat	Kontroll	66	26
	Kísérleti	65	25
3. feladat	Kontroll	76	36
	Kísérleti	80	31
4. feladat	Kontroll	36	32
	Kísérleti	31	36
5. feladat	Kontroll	89	21
	Kísérleti	92	22
6. feladat	Kontroll	56	19
	Kísérleti	59	23
7. feladat	Kontroll	61	39
	Kísérleti	47	40
8. feladat	Kontroll	53	18
	Kísérleti	48	20
9. feladat	Kontroll	80	34
	Kísérleti	81	29



2. ábra. A záró teszt feladatain elért átlagok a kísérleti és kontroll csoportokban (százalékpont).

Az 1. és 7. feladat az, amelyen a kontroll csoport számszakilag jobb átlageredményt ért el, de a különbség nem szignifikáns (1. feladat: $F=0,06$; $\text{sig}=0,82$; $t=2,05$; $\text{sig}=0,056$; 7. feladat: $F=0,14$; $\text{sig}=0,71$; $t=1,40$; $\text{sig}=0,17$).

A feladatok a LOGO nyelvi szintaktikájához illeszkednek az 1. feladat esetén, míg a szokásos tanórai alkalmazásnál megjelenő ábrákhoz a 7. feladat esetén. Mivel a robotprogramozást tanulók esetén ilyen típusú feladatok nem jelentek meg a kísérlet során, így ez a különbség indokolható.

A másik irányú eltérés, tehát a kísérleti csoport javára, a legnagyobb különbség a 3. feladat esetén mutatható ki. Ez sem jelent szignifikáns eltérést ($F=0,56$; $\text{sig}=0,46$; $t=-0,55$; $\text{sig}=0,59$). A feladat tartalma itt a szelektációs programszerkezetekre jellemző elágazások értelmezését vizsgálta. A megjelenítés módja az NXT-G programhoz hasonló szerkezetű, de nem grafikus ikonok, hanem szöveges leírás alapján.

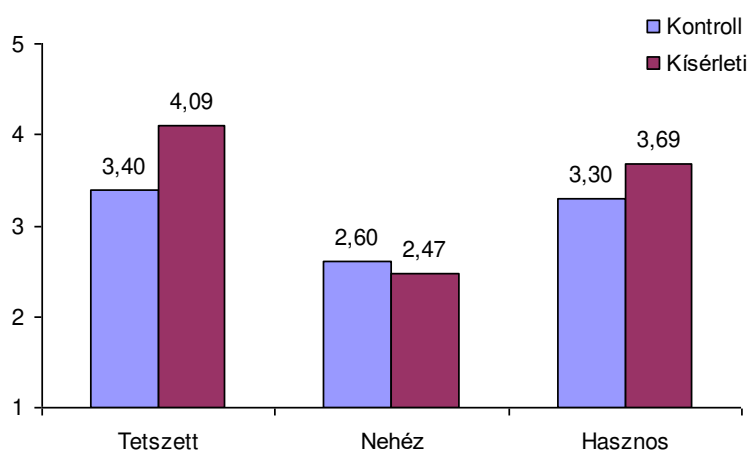
3.4 Kérdőív

A kísérlet során az egyetlen szignifikáns különbség a kérdőívvel mért „tetszési index” alapján mutatható ki. A kérdőíven szerepeltek olyan kérdések, amelyek a kísérleti időszakban tanult programozási környezet és módszerek tetszését, nehézségét és hasznosságát vizsgálták a tanulói válaszok alapján.

A kérdések tartalmáról minden esetben egy ötfokú skála értékei közül választva kellett véleményt alkotni.

5. táblázat. A kísérleti időszakban a tanulók válaszai alapján a „tetszési index” mutatószámai (átlag, szórás).

		<i>Tetszett</i>	<i>Nehéz</i>	<i>Hasznos</i>
Kontroll	Átlag	3,40	2,60	3,30
	Szórás	1,04	0,89	0,88
Kísérleti	Átlag	4,09	2,47	3,69
	Szórás	0,73	0,92	1,09
Total	Átlag	3,76	2,53	3,50
	Szórás	0,95	0,90	1,00



3. ábra. A kísérleti időszakban a tanulók válaszai alapján a „tetszési index” mutatószámai (átlag).

A „Mennyire tetszett az informatikaórán tanult programozás?” kérdésre adott válaszok átlagai között szignifikáns különbség mutatkozott a kísérleti csoport javára ($F=4,22$; $\text{sig}=0,06$; $t=-3,05$; $\text{sig}=0,00$). A 4,09-es minősítés a kontroll csoport 3,40-esével szemben azt mutatja, hogy a robotok használata nagymértékben fokozta a motivációt, ami a kompetenciafejlesztés alapja lehet. Ugyanakkor a tanulók (bár nem szignifikáns mértékben), de könnyebbnek és hasznosabbnak is érezték a programozás kísérleti csoportokban használt módon történő megközelítését.

Összegzésül tehát levonhatjuk a következtetést, hogy a kísérlet kezdetén és végén elvégzett papír-ceruza alapú tesztelés során nem adódott szignifikáns különbség egyik csoport javára sem. Az algoritmikus gondolkodást tehát mindkét technika azonos módon fejlesztette. Bár ennek egyértelműsítéséhez nagyobb mintán, részletesebb vizsgálatokra lenne szükség, de a kiindulási alapot a jelen kísérlet képviselheti.

Motivációs hatását tekintve viszont a kísérleti csoport egyértelműen (szignifikánsan) jobb eredményeket mutatott.

A vizsgált tanulói populáció gondolkodási képességeit tekintve átlag felettinek mondható, így valószínűleg ez is hozzájárult, hogy a különbségek nem adódtak szignifikánsnak.

A kísérlet tehát elérte célját. Bebizonyosodott, hogy a választott programozás-oktatási eszköz, a LEGO® cég MINDSTORMS® robotjai alkalmasak a tanórai használatra, az algoritmikus gondolkodás fejlesztésére. A bennük rejlő kreatív lehetőségek a természettudományos oktatás új alapokra helyezését is elősegíthetik. A motivációs szerepük viszont meghaladja a „hagyományos” programozás-oktatásban eddig használt eszközökét.

4 Problémamegoldás versenyszinten

Egy oktatási rendszer fontos eleme, hogy ne csak a tömegek számára teremtse meg a lehetőséget az eszközökhöz történő egyenlő esélyű hozzáféréssel, hanem az adott területen különös tehetséget mutatók számára biztosítson olyan színteret, amely további tanulásra motiválhat. A tehetséggondozás egyik szintere a versenyeztetés.

A bemutatott eszközökhöz kapcsolódóan több nemzetközi verseny is tartozik. Ezek összetettsége néha még távolinak tűnik a magyar oktatási gyakorlathoz viszonyítva, de a hazai trendek is ebbe az irányba mutatnak. Egyre több, a komplex tantárgyi kereteken átívelő tudást igénylő csapatverseny indul. Szerencsére a matematika és a természettudomány jár az élen e tekintetben.

Talán a legnagyobb általános és középiskolai korosztály számára szervezett robotverseny a First Lego League, amely az USA-ból indult 2001-ben és napjainkra az egész világon szerveznek területi fordulókat. Magyarországon 2007 óta rendezik meg 12-16 év közötti diákok, 5-10 fős csapatai számára. A koncepció szerint minden évben egy adott témához kötődően kell egy kutatási projektet lebonyolítani és az eredményeket prezentálni, valamint a MIT mérnökei által tervezett nagyméretű akadálypályán szereplő, problémamegoldás kategóriájába sorolható feladatokat megoldani, saját tervezésű és programozású MINDSTORMS® robotokkal. A versenyen résztvevő csapatokat több szempont szerint értékelik (kutatási prezentáció, csapatmunka, robotfeladatok megoldása, robotdesign). A területi fordulók győztesei juthatnak a következő fordulóba. Világszerte több tízezres a nevezett csapatok száma.

A verseny nem csak a robotika alkalmazását segíti, hanem lehetőséget teremt olyan zömében a természettudományokhoz köthető kutatási projekt lebonyolítására, amelyek nagyon fontosak lennének a magyar oktatási gyakorlatban is.

Példaként egy ilyen projektet említünk. A verseny feladatának apropójaként 2010-ben a „Body forward” versenytémához kapcsolódóan kellett kutatást lebonyolítani. Az orvosbiológia és a mérnöki tudományok összefonódását takaró cím kapcsán a csapatoknak egy általuk választott problémát kellett azonosítani, körüljárni és választ találni a feltett kérdésre. A versenyen a csaptnak által vizsgált kérdés az volt, hogy a jövő orvosi gyakorlatában a kézsérülések területén a műtéti vagy mérnöki technika lesz a hangsúlyosabb. Tehát egy esetleges amputáció során a gyógyítás műtéti technikával (testrész visszavarrás, áthelyezés), vagy mérnöki technikával (művégtag, robotikai eszközök használata) történik-e. Orvosi és kutatómérnöki interjúk során kerestük a kérdésre a választ neves szakemberek segítségével. Az elkészült prezentáció több versenyen is első díjat kapott. A kutatás során összegyűjtött információk olyan plusz motivációt biztosítottak a diákoknak, amely hosszútávon meghatározó volt a pályaválasztás során.

A verseny másik szála a robotika. Itt a világszerte egységes tesztpályán kitűzött feladatok megoldására kell a csapatnak robotot tervezni és építeni. Az egységes feladatspecifikációk igen szűkszavúak. Általános szabály, hogy a feladatleíráson és a verseny szabályrendszerén kívül nincs további segítség. A leírás csupán azt tartalmazza, hogy például a pálya adott pontján elhelyezett tárgyat át kell szállítani egy másik adott pontra a robottal. A technikai kivitelezés, amelynek része a robot megépítése és programozása is teljesen a csapatra van bízva. Ezek a feladatok teljes egészében eleget tesznek a szakirodalomban vázolt problémamegoldásnak. Mindez nem tűnhet bonyolultnak, de ha figyelembe vesszük, hogy összesen 15-20 feladat kerül kitűzésre és a robotnak összesen 180 másodperce van valamennyi feladat megoldására, akkor a helyzet már bonyolultabb. Egyetlen robotot lehet használni a megoldás során. A feladatok lényegesen eltérnek egymástól. Kezdve az egyszerű átszállítási feladattól, a bonyolultabb tárgyakból építmény létrehozásáig, vagy a szenzorhasználatot is igénylő felderítési feladattól a tájékozódást igénylő kereséséig. A sikerességhez egy alaprobot megépítése szükséges, amelynél figyelembe vesszük a pálya felépítését a rendelkezésre álló terep adatosságait. A robotra elhelyezett különböző felépítmények segítségével oldhatók meg a feladatok. Mindezek gyors cserélhetősége, modularitása biztosítja a rövid idő alatt a precíz megvalósítást. A versenyekről további információk a <http://www.first-lego-league.org/en/> hivatalos weblapon található.

A másik nagy múltú nemzetközi robotika verseny a World Robot Olympiad. Az elmúlt 11 év nevezési statisztikái alapján, 2014-ben közel 21 000 csapat részvételével zajlottak az egyes országok nemzeti döntői.

bejárni (kockától kockáig). Nehezítés, hogy a pályán olyan kockák is szerepeltek, amelyekhez nem volt szabad hozzáérni. Tehát a robotnak át kellett haladni felettük. Ezeken kívül korlátozott a használható szenzorok és motorok száma (4 db szenzor és 3 db motor), valamint összesen 180 másodperc állt rendelkezésre a megoldáshoz, és az indítás után már nem lehetett a robothoz hozzáérni.

A feladat megértése után a robot tervezése, megépítése és programozása a csapat feladata. Ha megértettük a feladatot, akkor egy laikus számára nem tűnik bonyolultnak, de a részletekben történő elmélyedés után jelentkeznek a problémák. Ezek közül néhány a teljesség igénye nélkül:

- Ahhoz, hogy a robot áthaladjon a tiltott kockák felett magasra kell helyezni a színérzékelő szenzorait, amelyeket így a környezet fénye zavar.
- Egyetlen motor használható a kocka felvételére és robotra helyezésére, hiszen a mozgáshoz két motor szükséges.
- A pályát neon világítja meg, amelynek vibrálási frekvenciája a szenzor mintavételei frekvenciatartományába esik.
- A pályán való tájékozódáshoz nem csak a kiindulási és célkoordináták ismerete szükséges, hanem a robot aktuális haladási iránya is, hiszen ez fogja meghatározni a fordulások irányát.
- A cél meghatározáshoz a kocka színének beolvasása mellett a kocka alatti mező színének leolvasása is szükséges. Ezek távolsága legalább 3,5 cm.
- A pontos pozíció meghatározásához érzékelni kell a koordináta rendszer vonalait, ugyanakkor az egyenes mozgáshoz és a fordulásokhoz a vonalak követése szükséges.

A vázolt problémák csak ízelítők abból, hogy milyen bonyolultságú feladatot kell megoldani a 13-16 éves diákoknak. Ezek egy része a konstrukció kialakításával, míg más része programozás-technikai eszközökkel oldható meg.

A nemzetközi versenyek jól példázzák, hogy van lehetőség az általános és középiskolás diákok számára a komoly műszaki és programozási kompetenciák elsajátítására. Az informatika nem csak a felhasználói szoftverhasználatról szólhat. Mindez Magyarországon is egyre nagyobb teret hódít és segíti a felsőoktatási képzésbe bejutott tanulók és oktatók munkáját.

5 Összegzés

A tanulmányban gyakorlati szempontból mutattunk be egy olyan eszközt, amellyel az informatika oktatás algoritmikus gondolkodás fejlesztési részét lehet akár kisiskolás kortól hatékonyan és tanulói motivációt erősítően fejleszteni.

A tapasztalatok és a kismintás pedagógiai kísérlet meggyőző lehet a felhasználás jogosságát illetően. Az alkalmazás gátló tényezői közül a pénzügyi érvek mellett a tanári innováció hiánya, amit legfontosabbnak tartunk.

Az eszköz használatával olyan kompetenciák, képességek fejleszthetők, amely más tantárgyak, tudományterületek eszközrendszerét és bővítik és hatással vannak rájuk. Az analízis, rendezés, absztrakció, összehasonlítás, szintézis, általánosítás, konkretizálás, analógia, algoritmikus gondolkodás, problémamegoldás, konstrukciós készség, természettudományos mérési-elemzési képességek fejlődésével olyan komplex gondolkodás és szemlélet alakítható ki, amely megalapozhatja az egyre inkább preferált műszaki- és természettudományos továbbtanulást, gondolkodásmódot.

Az oktatáspolitikai előtt tehát lehetőségként ott áll egy koncepció, amely támogatásával az informatika oktatás megújítható.

Felhasznált források

- [1] Nagy József (2000): XXI. század és nevelés. Osiris Kiadó, Budapest
- [2] Szántó Sándor (2002): Az algoritmikus gondolkodás fejlesztése általános iskolában Új pedagógiai szemle, 2002/5: 84-175.
- [3] Pentelényi Pál (1999): Az algoritmikus szemléletmód kialakítása és fejlesztése a tanítástanulási folyamatban. LIGATURA Kiadó, Budapest
- [4] B. Erwin (2001): Creative Projects with LEGO Mindstorms, Addison-Wesley Professional

- [5] Bessenyei István (1998): Képernyő, tanulási környezet, olvasás: Seymour Papert tanuláseméleti nézeteiről az olvasás kapcsán. Új Pedagógiai Szemle, 1998/10. sz.
- [6] Csapó Benő (2003): A képességek fejlődése és iskolai fejlesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest
- [7] Lénárd Ferenc (1978): A problémamegoldó gondolkodás, Budapest, Akadémiai kiadó
- [8] M. Gasperi, P. „Philo” Hurbain, I. Hurbain (2007): Extreme NXT, Extended the LEGO Mindstorms NXT to the Next Level, Apress, Inc.
- [9] D. Astolfo, S. Cavers, K. Clague, Cs. Soh, L. Whitman, T. Witherspoon (2002): LEGO Mindstorms Ultimate Builder Projects, Syngress Publishing, Inc.
- [10] Kiss Róbert, Pásztor Attila (2009): Mobil robotok programozása NXC és NXT-G nyelven. Kecskeméti Főiskola GAMF Kar, főiskolai jegyzet.
- [11] Kiss Róbert, Badó Zsolt (2011): Egyszerű robotika, a Mindstorms NXT robotok programozásának alapjai, National Instruments Hungary, digitális könyv (<http://www.amcham.hu/other-publications>)
- [12] Kiss Róbert (2014): Kreatív robotika, a MINDSTORMS EV3 robotok programozásának alapjai, National Instruments Hungary, Digitális könyv (http://www.hdidakt.hu/adat/dw_anyagok/dw_74.pdf)

AZ EXCEL “REJTETT” ERŐFORRÁSAINAK FELHASZNÁLÁSA AZ OKTATÁSBAN

APPLICATION OF THE ‘HIDDEN’ RESOURCES OF EXCEL IN EDUCATION

*Dr. Salamon József Imre**

Ceglédi Szakképzési Centrum Közgazdasági és Informatikai Szakközépiskolája

Kulcsszavak:

Excel,
Fejlesztőeszközök,
Informatika,
Matematika,
Fizika

Keywords:

Excel,
Developer toolbar,
Informatics,
Mathematics,
Physics

Cikk történet:

Beküldve: 2015. október 12.
Átdolgozva: 2015. október 30.
Elfogadva: 2015. november 1.

Összefoglaló

Az Excel program - alaphelyzetben nem bekapcsolt - fejlesztőeszközeinek segítségével olyan munkafüzetek létrehozására leszünk képesek, melyekkel bővítve oktatásunk módszertanát, egyértelműen növekszik munkánk hatékonysága.

Az űrlap-vezérlőelemek használata interaktívvá teszi az automatizált ismeretátadásunkat, miközben egyéni tempót engednek meg. Az alkalmazhatóság széles spektruma is indokolja a közoktatásban való felhasználását. Ezáltal válhat az Excel program az ismeretszerzés célján túlmenően annak hasznos eszközévé.

Abstract

Excel's Developer toolbar - which are default switched off – increases the ability to create workbooks for expand educational methodologies and increase the efficiency of our work.

The application of Form Controls makes automatic knowledge transfer interactive, while it allows students individual pace of work. The wide spectrum of 'Form Controls' application justifies the necessity of its utilization in state education.

1 Bevezető

Az Excel hatékony, és egyszerűen kezelhető fejlesztő környezetet biztosít interaktív munkafüzetek létrehozásához.

A fejlesztőeszközeinek eléréséhez a Fájll/Beállítások párbeszédablak “Menüszalag testreszabása” lapján kell bekapcsolnunk a “Fejlesztőeszközöket”. Ennek eredményeként menüszalagunk kiegészül az azonos nevű menüponttal. Ebben a menüben (ennek menüszalagján) elérhetővé válik a teljes fejlesztő környezet.

A felhasználó és a munkafüzet közötti párbeszédhez az “Űrlap-vezérlőelemek” nevet viselő eszközrendszer áll rendelkezésünkre. Közülük a hat legtöbbször használt eszköz nevét és funkcióját az 1. Táblázat tartalmazza.

* Kapcsolattartó szerző. Tel./fax: +36-53-505-095
E-mail cím: salamon@ckik.hu

1. Táblázat. Űrlap-vezérlőelemek és feladatuk

A vezérlőelem neve	A vezérlő funkciója
Jelölőnégyzet	A csatolt cella tartalmát kapcsolja IGAZ, vagy HAMIS értékűre.
Választógomb	A csatolt cella tartalma a választógombnak a csoportban elfoglalt sorszáma.
Léptetőnyíl	A csatolt cella tartalmát lépteti az adott intervallumon belül egy adott értékkel.
Gördítősáv	A léptetőnyíl funkció az eszköz grafikus bővítésével (sávval és csúszkával).
Beviteli lista	A csatolt cellában a bemeneti tartományból kiválasztott elem sorszáma kerül.
Gomb	Visual Basic makró indítása

A fenti eszközrendszer felhasználásával, egyéb didaktikai megfontolásokra építve készültek az alábbi fejlesztések, melyeket tantárgyankénti csoportosításban mutatok be.

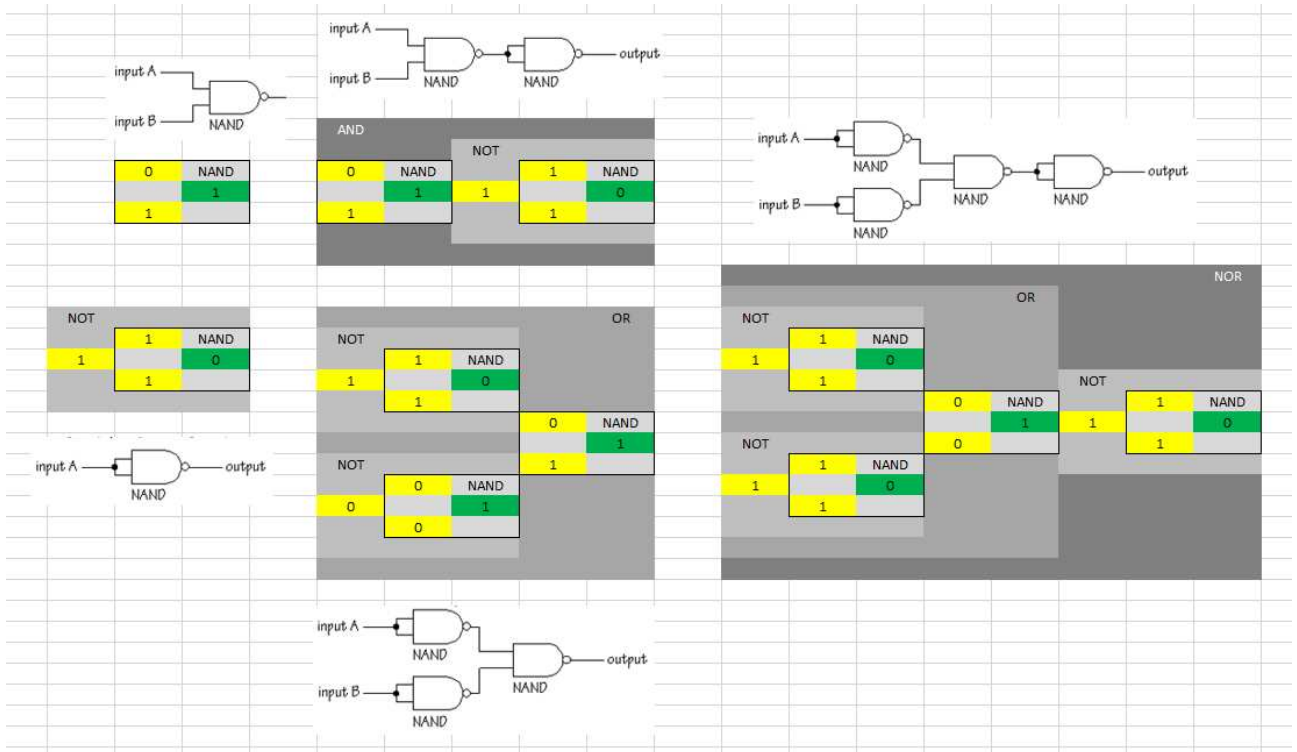
2 Informatikai ismeretek támogatása

Az informatikai ismeretek átadása az egyik legösszetettebb kihívást állítja a tárgyat oktató pedagógusok elé. A praktikus gondolkodás lefordítása egy-egy alkalmazás nyelvezetére gyakran szembesít azokkal a rejtett észjárás sablonokkal, melyek tanulónként eltérő módon akadályát képezhetik a hatékony és gyors tanuláshoz. Sokszor ezek áthidalását elintézzük annyival, hogy gyakorlásra buzdítjuk a tanulót, mely előbb-utóbb eredményre vezet, bár fogalmunk sincs arról, hogy mi történik a tanuló elméjében. Ezirányú nyomkövetéshez olyan tananyagokra van szükség, melyben a logikai lépések könnyen azonosíthatók. Az alábbiak ezt célozzák.

2.1 A hardver építőkövei és működésük

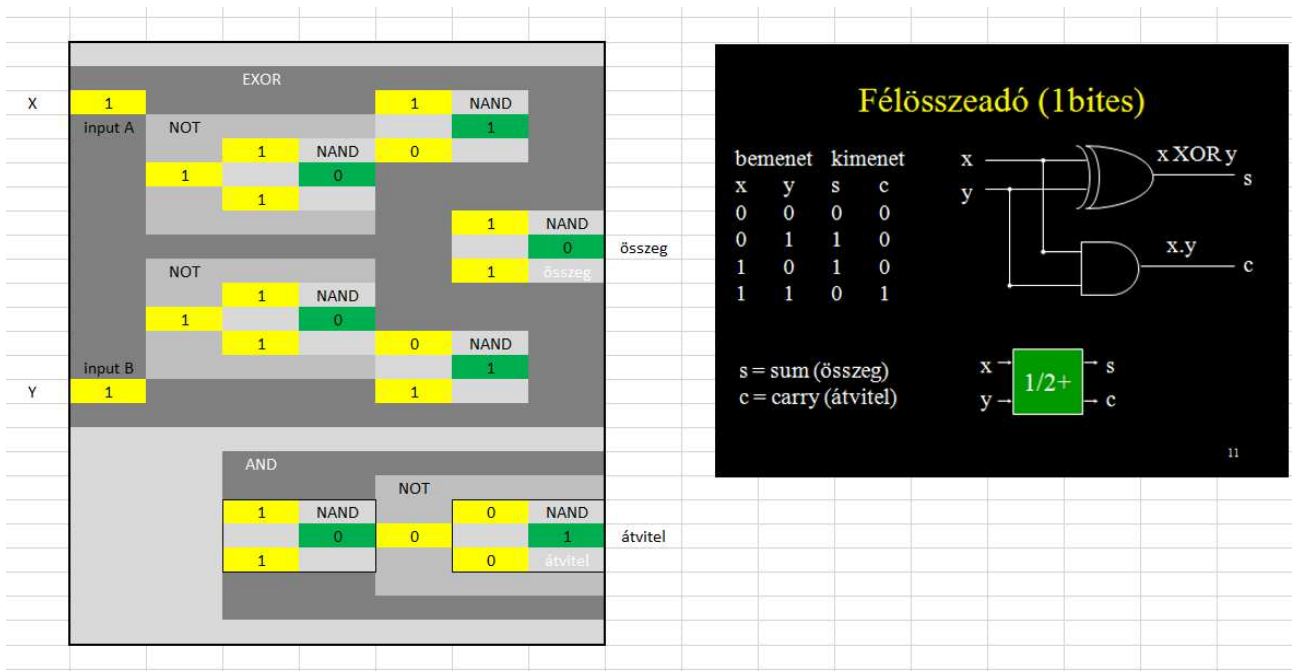
A logikai kapuktól a működő számítógépig hosszú szellemi út vezet. A közoktatásban elnagyolt, és mozaikszerű képet festünk erről a folyamatról. Egy négy bites, négy műveletes ALU (Aritmetikai Logikai Egység) felépítése "kézzelfoghatóvá" teszi az említett út lényeges vonatkozásait, különös tekintettel a modellezés eltérő absztrakciós szintű megvalósíthatóságára.

Az Excelben a cellahivatkozás, és a HA függvény lehetővé teszi a NAND-kapura épülő kapurendszer egyszerű felépítését. Az 1. ábra ennek néhány elemét mutatja be.



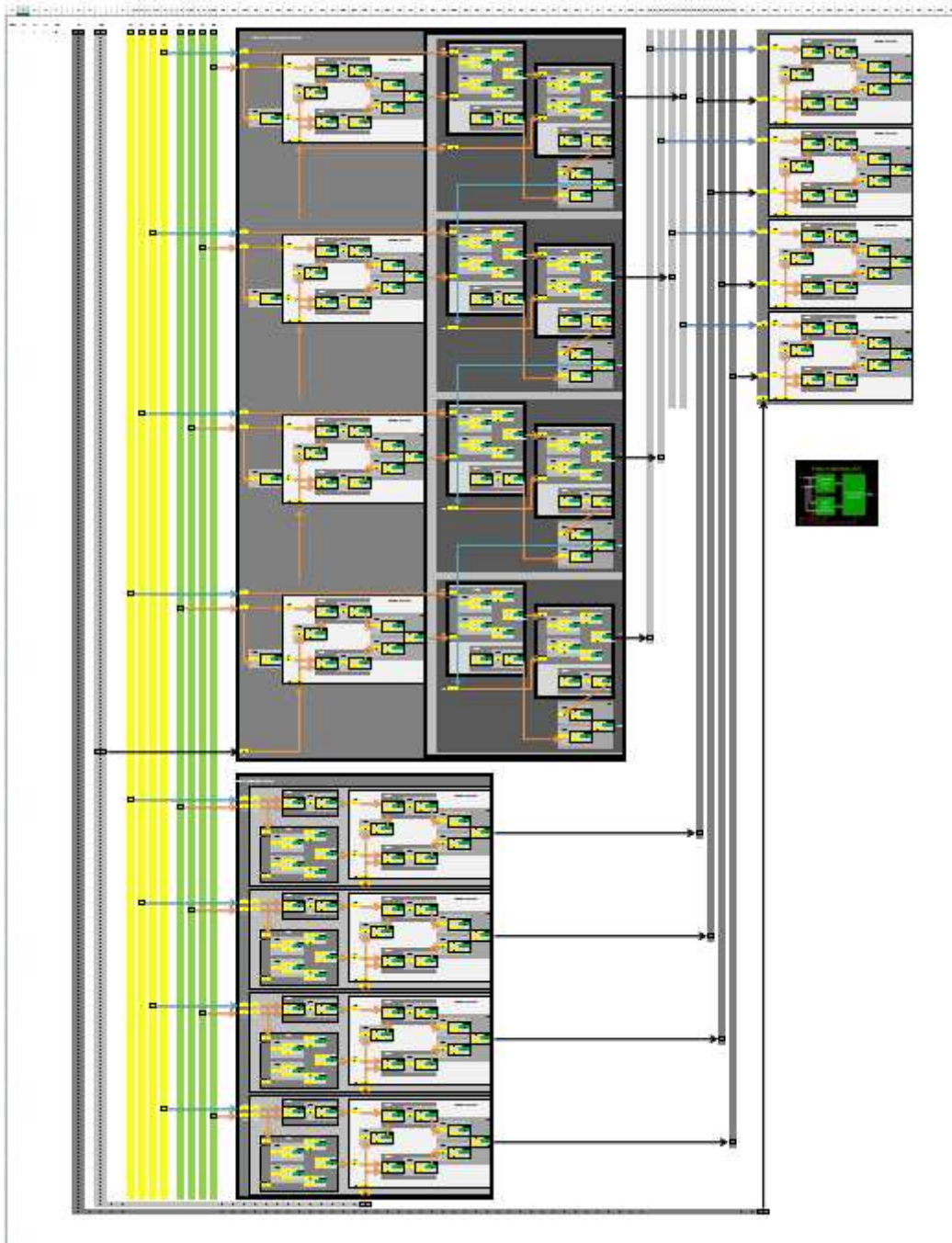
1. Ábra. Logikai kapuk felépítése

A fenti építőközből könnyen felépíthetjük a félösszeadót, az egy, majd négy bites teljes összeadót, a multiplexert, a négy bites AND és XOR függvényeket végrehajtó áramkört, végül a négy bites összeadó és kivonó áramkört. Dr. Istenes Zoltán interneten elérhető prezentációját¹ felhasználva útmutatóként sikerült működő képes, 4 bites aritmetikai logikai egység szimulátorát megépítenünk. A 2. ábra a folyamat egyik fázisát mutatja be.



2. Ábra. Félösszeadó megvalósítása Dr. Istenes Zoltán útmutató diájával

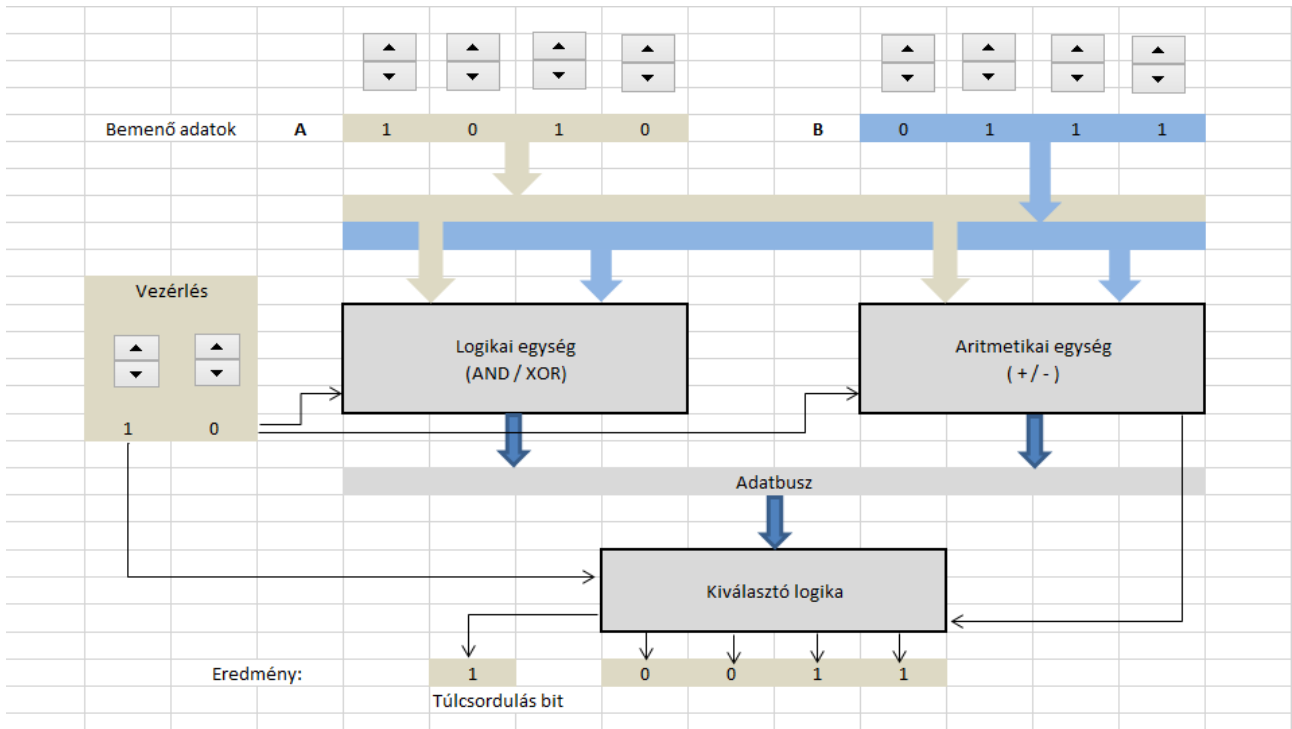
Az elkészült ALU bonyolultsága már elegendő ahhoz, hogy a tanuló valóban átérezze (hiszen ő építette fel) ennek az építkezésnek a nehézségét. A 3. ábra (bár erősen lekicsinyítve) mutatja az ALU összetettségét.



3. Ábra. A teljes 4 bites, 4 műveletes ALU

A munkafüzet tartalmát visszagyújtva a bal felső sarokban található adat és vezérlő bitek módosításával tanulmányozhatóvá válik az áramkör működése.

Az, hogy az emberi elme hatalma a modellalkotási képességében rejlik szintén gyakran hangoztatott, és alkalmazott eszköze az oktatásunknak. Sajnos ritkán adódik alkalom arra, hogy ez ügyben erőteljes hűha élményben legyen részünk. Ha az áramkörünk tanulmányozásakor nem a felépülésre, hanem a működésre fókuszálunk, akkor a 4. ábrán látható formára egyszerűsíthető az áramkörünk.



4. Ábra Az 4 bites, 4 műveletes ALU logikai modellje

2.2 Algoritmusok működése

A négyjegyű függvénytáblázat "Informatika" fejezetében ábrázolt algoritmusok hatékony felhasználásához több absztrakciós szinten való jártasságra van szükség. E jártasság megszerzéséhez nyújthat hasznos segédeszközt a bemutatandó Excel munkafüzet. A rendező algoritmusok működésének megértését könnyítheti, ha a tanuló az absztrakt leírás konkrét működését tanulmányozhatja. Az 5. ábrán a beillesztéses rendezés működésének egy pillanatát látjuk.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
		Alaphelyzet		a tömbelem indexe (sorszáma)	az adatsor elemei			i	j		FUTTAT					
1																
2								7	6							
3			a kezdő elem	1.	4			1	1							
4				2.	34			2	2							
5		3	indexe	3.	12			3	3							
6		3	3.	4.	65			4	4							
7				5.	68			5	5							
8			m	6.		56		6	6							
9				7.	71			7	7							
10				8.	23			8	8							
11				9.	87			9	9							
12				10.	59			10	10							
13				11.	8			11	11							
14				12.	27			12	12							
15				13.	11			13	13							
16				14.	94			14	14							
17			n	15.	47			15	15							
18			az utolsó elem	16.	39			16	16							
19			indexe	17.	15			17	17							
20		2	19.	18.	75			18	18							
21		19	19.	19.	29			19	19							
22				20.	16			20	20							
23																
24																
25																
26	Lassítás	434														
27																

Ciklus i = m + 1 -től n -ig

b := a[j]

j := i - 1

Ciklus amíg j >= m ÉS a[j] > b

a[j+1] := a[j]

j := j - 1

Ciklus vége

a[j+1] := b

Ciklus vége

A lépések száma: 8

5. Ábra. Beillesztéses rendezés

Az alaphelyzet gombra kattintva egy rendezetlen adathalmazt kapunk, mely az ötödik oszlopban található. A futtatás hatására a beállított lassítás mértékében követhető az i és j ciklusváltozók értékének módosulása a nyolcadik és kilencedik oszlopban. Az algoritmus kiemeli a soron következő elemet, majd megkeresi a helyét a fölötte lévők között. Ez a működés könnyebben megérthető ha előbb látjuk, hogy mi történik, és csak azután kell szavakba önteni a történések lényegét.

2.3 Automatizált számonkérés

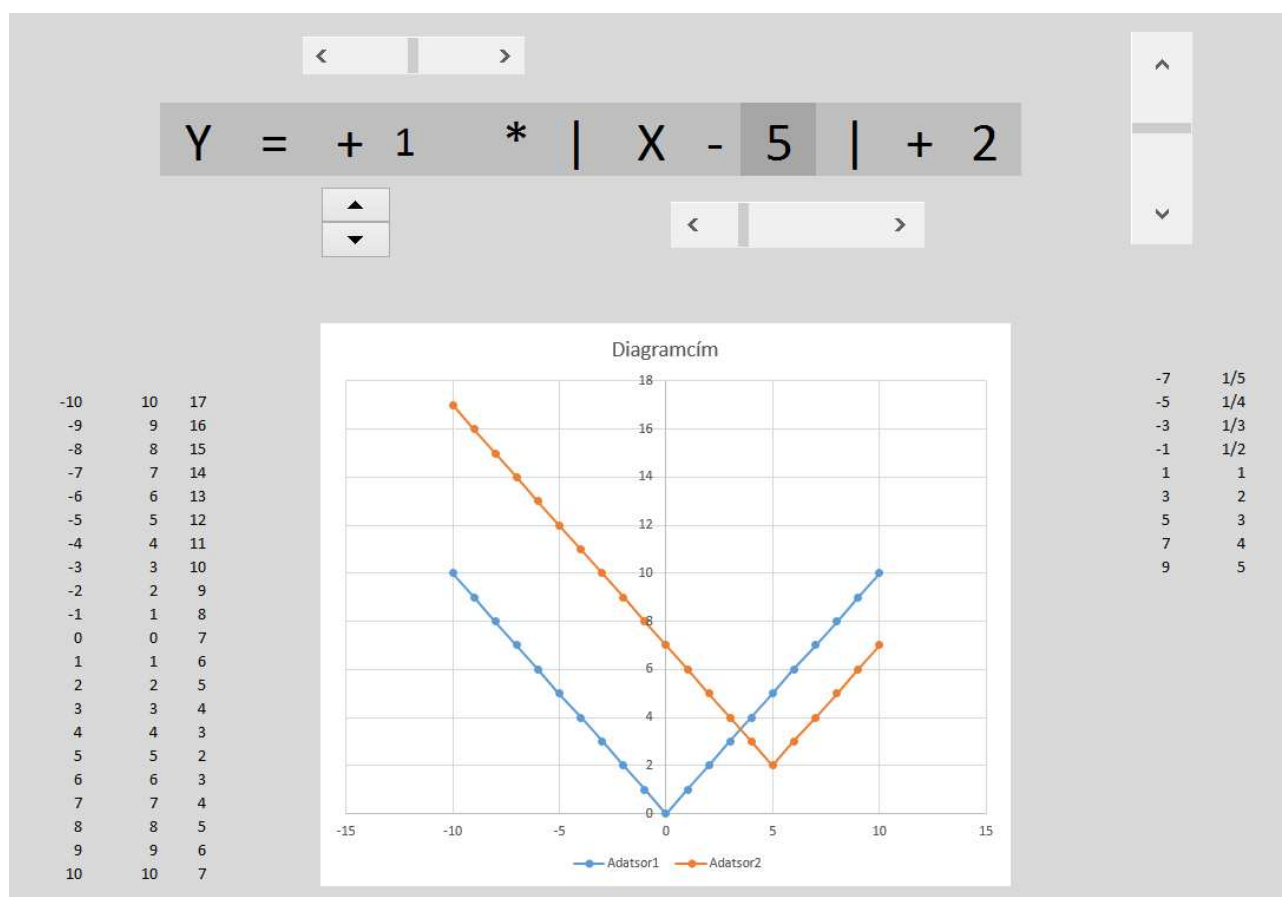
A tanulandó ismeretnek számos olyan eleme van, melyek lehetővé teszik olyan dolgozat összeállítását, melyet a munkafüzet automatikusan pontoz, és értékel. A 6. ábra egy ilyen dolgozat részletét mutatja. Ebben lenyíló listából kell kiválasztania a tanulónak az általa megfelelőnek gondolt elemet. Az értékelést egy egyszerű makró végzi, mely az utólagos manipulációk elkerülése érdekében csak egyszer futtatható.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P															
	az elért pontszám.		A teljesítmény:			Az érdemjegy:					Kész																			
1	1. Az alpfogalmak hierarchiájában válaszd ki az ábra betűihez tartozó megfelelő fogalmakat!																													
2																														
5																A	Hardver													
6																B	[Dropdown menu]													
7																C	Felhasználói programok Tervező programok Hardver Vírusirtó programok Operációs rendszer Sajátgép Végfelhasználói programok													
8																D	[Dropdown menu]													
9																E	[Dropdown menu]													
10																F	[Dropdown menu]													
11																G	[Dropdown menu]													
12																2. A lenyílókkal megjeleníthető listából kiválasztva a megfelelő szavakat, tedd teljessé az alábbi eghatározásokat!														
24																A fejlesztő	programok	olyan	[Dropdown menu]	melyek										
25																egy	[Dropdown menu]	[Dropdown menu]	szabályrendszer	felhasználásával,										
26																[Dropdown menu]	[Dropdown menu]	által	végrehajtható	lehetővé.										
27																[Dropdown menu]	[Dropdown menu]	írását	teszik											

6. Ábra. Informatikai dolgozat részlete az alapfogalmak témaköréből

3 Matematikai ismeret elsajátításának támogatása

A függvénytranszformációk megértése papírral és ceruzával fáradtságos, és erős belső motiváltságot feltételező útja. Excellel kiküszöbölhetjük a folyamatnak a legtöbbet "ártó", legfárasztóbb részét, a számolást. Így csak arra kell koncentrálnia a tanulónak, hogy a forma paraméterei melyik transzformációval vannak kapcsolatban. A megvalósítás formai bemutatása érdekében példaként az abszolútérték függvényhez tartozó munkafüzetoldalt tekintjük a 7. ábrán.



7. Ábra. Az abszolútérték függvény transzformációi

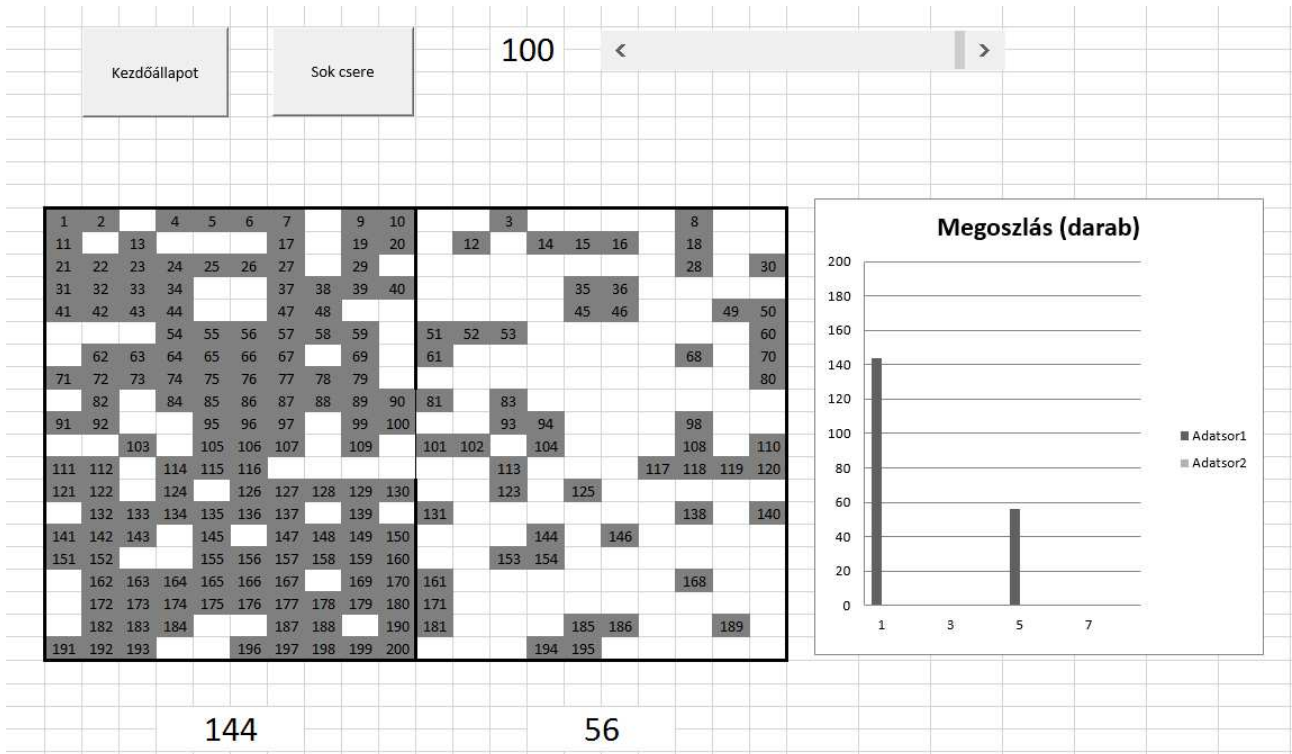
A léptető az előjelváltást teszi lehetővé, a gördítősávokkal pedig a többi paraméter (melyek közelében vannak) módosítható. Tapasztalatom szerint gyorsabb, és stabilabb lesz az elsajátítás, ha ezzel a tanuló előbb “eljátszadzik”, majd megbeszéljük, és a matematika nyelvére fordítjuk a felismert kapcsolatrendszer.

4 Excel használatának lehetőségei a fizika tanításában

A fizika viszonya a számoláshoz egyértelművé tesz minden olyan alkalmazás használatát, melynek lényege a számolás. Az Excel nem csak ebből a szempontból válik érdekessé a fizikán belüli felhasználásra, hanem azért is, mert az adatokat sorokban és oszlopokban képes megjeleníteni, valamint a függvényeket grafikusán ábrázolni. Az alábbi példák csak ízelítők a lehetőségek igen gazdag tárházából.

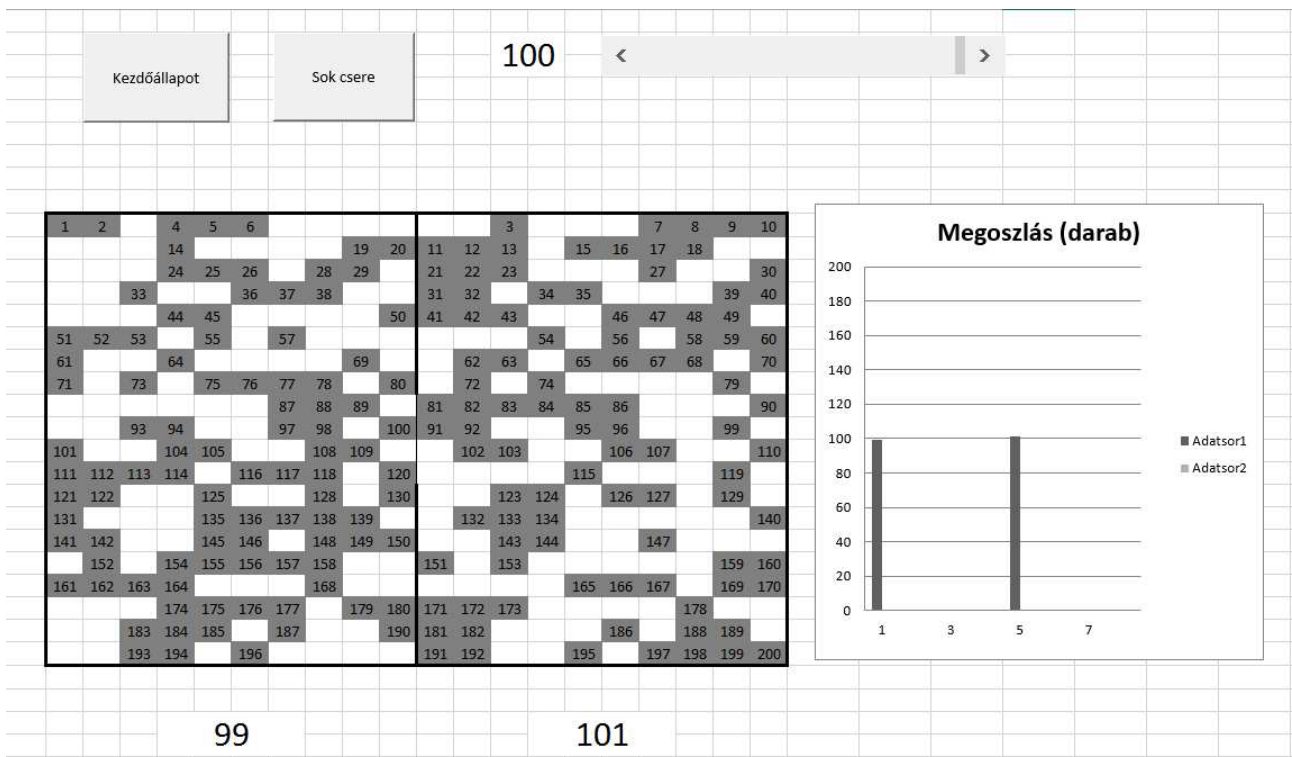
4.1 A termodinamika második főtétele

A hőtan tanításának hatékonysága azon is múlik, hogy elegendő számú feladatot tudunk-e megoldani ahhoz, hogy az általánosító következtetésünk a tanulók szemében kellően megalapozott legyen. Ez különösen akkor lehet gond, ha a feladatok számolásigényesek. Az óraszám korlátok csak úgy küzdhetők le, ha megfelelő eszközzel megtámogatjuk munkánkat. A 8. ábrán két gáztartályt szimbolizálunk, melyekből véletlenszerűen kerülnek részecskék az egyikből a másikba.



8. Ábra. Kiegyenlítetlen részecseszám a tartályokban.

A kezdőállapot (csak a baloldali tartályban vannak részecskék) utáni első 100 véletlenszerű részecskemozgás eredményeként 144 marad a bal oldaliban, és 56 kerül a jobb oldaliba. Újabb cserék után tapasztalható tendenciát számtalanszor megfigyelhetik a tanulók a diagramon is. A 9. ábra az egyensúly környékének egy pillanatát jeleníti meg.



9. Ábra. Az egyensúlyi állapot.

4.2 A kvantumszámok viszonya

Az atomfizikai ismeretek vizualizálása hatékony eszköze az elsajátításuknak. Egyik ilyen lehetőség a kvantumszámok viszonyának dinamikus ábrázolása. A 10. ábra olyan munkalapot mutat, melyben a beviteli listából (a lenyíló eszközzel) kiválasztott főkvantumszámhoz tartozó többi kvantumszámérték már automatikusan megjelenik.

kvantumszámok													72 elektronszám			
n	l	m										s				
fő	mellék	mágneses										spin				
héj	alhéj															
6	h	5	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-1/2	+1/2	22
	g	4		4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4		-1/2	+1/2	18
	f	3			3	2	1	0	-1	-2	-3			-1/2	+1/2	14
	d	2				2	1	0	-1	-2				-1/2	+1/2	10
	p	1					1	0	-1					-1/2	+1/2	6
	s	0						0						-1/2	+1/2	2

10. Ábra. A kvantumszámok viszonya

4.3 Az elemek periódusos rendszere

A tudományos megismerés egyik legjelentősebb lépése az elemek periódusos rendszerének meglátása volt. A szabályosság felismerésén túlmenően egy másik igen hasznos hozadéka is van ennek a lépésnek. Ez pedig nem más, mint az ismeret , és annak ábrázolása közötti kapcsolat fontossága. A periódusos rendszer igen jó példája ennek, hiszen számtalan ábrázolási formájával találkozhatunk attól függően, hogy a rendszer mely elemét kívánja az ismeretközlő hangsúlyozni.

Az atomfizika oktatásában újabb ábrázolási lehetőség kínálkozik. Ebben az elektron konfiguráció alakulását követjük nyomon a rendszám függvényében. Fejlesztésem eredményeként született dinamikus táblázatban a gördít sávval módosítható a rendszám. A 11. ábrán leolvashatjuk az aktuális elem (Francium) elektron konfigurációján túlmenően az alacsonyabb rendszámú elemek pozícióját is.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2		Héj	Alhéj															
3					Elektronszám													
4		fő-	mellék-		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5		kvantum-	kvantum-															
6		szám	szám															
7																		
8	K	1	s	2	H	He												rendszám: 87
9	L	2	s	2	Li	Be												
10			p	6	B	C	N	O	F	Ne								
11	M	3	s	2	Na	Mg												
12			p	6	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
13			d	10	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni						Cu
14																		Zn
15	N	4	s	2	K	Ca												
16			p	6	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
17					Y	Zr		Nb	Mo		Ru	Rh						Pd
18			d	10					Tc									Ag
19																		Cd
20			f	14		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
21																		Lu
22	O	5	s	2	Rb	Sr												
23			p	6	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
24			d	10	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg				
25			f															
26																		
27	P	6	s	2	Cs	Ba												
28			p	6	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
29			d															
30																		
31	Q	7	s	1	Fr													
32																		

11. Ábra. a Francium elektron konfigurációja

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki annak a sok száz tanulónak, akik az elmúlt években lelkes szereplői (használói) voltak fejlesztő munkámnak, miközben tapasztalataikkal, visszajelzéseikkel segítettek kialakítani a tartalom és a forma egységét.

Források/Hivatkozások

- [1] Dr. Istenes Zoltán: Az aritmetikai logikai egység működése, megvalósítása (SZF4mtt.ppt)
<http://pszt.inf.elte.hu/index.php/munkatarsak/65-dr-istenes-zoltan.html>

CSOMAGSZŰRÉS CISCO ROUTEREKEN ACL-EK SEGÍTSÉGÉVEL

PACKET FILTERING ON CISCO ROUTERS USING ACLS

Agg P^{1*}, Göcs L.¹, Johanyák Zs. Cs.¹, Borza Z.²

¹Informatika Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

²Katedra Gimnázium, Informatikai és Művészeti Szakközépiskola és Kollégium, Magyarország

Kulcsszavak:

hálózatbiztonság
tűzfal
ACL
Packet Tracer

Keywords:

network security
firewall
ACL
Packet Tracer

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. november 1.
Átdolgozva 2015. november 10.
Elfogadva 2015. november 10.

Összefoglalás

A számítógépes hálózatok biztonságára különös hangsúlyt kell fektetni a rendszermenedzsment során. Figyelni kell a biztonságos adatáramlásra mind a kimenő, mind a bemenő forgalom esetében. Ebben hatékony segítséget nyújthatnak a forgalomirányítóknál alkalmazott Access Control List-ek (ACL). A cikk célja az, hogy ismertesse az ACL-ek beállítását routereken úgy, hogy azok hatékony védelmet nyújtsanak a belső és külső támadásokkal szemben. A konfigurálást Packet Tracer program segítségével szimulált hálózaton mutatjuk be.

Abstract

The security of computer networks is a prioritized task for network administrators. Secure data flow should be ensured both in case of incoming and outgoing traffics. Access Control Lists (ACLs) could represent a very useful tool for this purpose. This paper describes how ACLs on routers should be configured in order to ensure efficient protection against internal and external attacks. The suggested configuration is tested in a network simulated by Packet Tracer.

1. Bevezetés

Napjainkban gyakorlatilag életünk minden területén találkozunk számítógépes hálózatokkal. Hálózatokon keresztül tartjuk a kapcsolatot barátainkkal, fizetjük számláinkat, rendelünk termékeket, továbbítjuk munkánk bizonyos részeit. Mivel bizalmas, titkos adatok sorát küldjük a hálózatokon keresztül, elengedhetetlen a megfelelő védelem, biztonság.

Biztonság szempontjából a hálózatok esetében nem elegendő, hogy a rendszer jó, működőképes állapotban legyen és folyamatosan abban is maradjon, hanem meg kell gátolni, hogy bizalmas információk a hálózaton kívülre kerüljenek, illetve, hogy illetéktelenek kívülről ne férjenek belső információkhoz. Ahhoz, hogy a megfelelő biztonsági szintet elérjük, szükségünk van arra, hogy a kockázatokat felmérjük, a lehetséges veszélyeket beazonítsuk. Ezt a tevékenységet kockázatelemzésnek nevezzük, és segítségével elérhetjük, hogy hálózatunk gyenge pontjait felderítsük, és megfelelően biztosítsuk.

Biztosan elmondható, hogy tökéletesen biztonságos hálózat nem létezik, csak törekedhetünk arra, hogy minél kevesebb legyen a gyenge pont. Kísérletet kell tenni arra, hogy az úgynevezett „leggyengébb láncszemet”, azaz a felhasznált, minél jobban tehermentesítsük, biztosítsuk. A

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 76 516 418; fax: +36 76 516 399
E-mail cím: agg.peter@gamf.kefo.hu

hálózatok biztonságos hozzáférését többféle módszer segítségével is elérhetjük. Alapvető elvárás a hálózatok biztonságával szemben a felhasználó azonosítása (autentikáció), ami lehet gyenge azonosítás (felhasználói név, jelszó) vagy erős azonosítás (kétfaktoros, háromfaktoros azonosítás). Ehhez elengedhetetlenül szükséges egy hálózati házirend, ami tartalmazza a jelszavakkal szembeni elvárásokat (pl. kis- és nagybetű, szám, lejáratidő). Ezen felül szükség van titkosításra, tartalombiztonságra. Vezeték nélküli hálózatoknál ezt napjainkban a WPA2-es titkosítással oldják meg [4], illetve az SSID tiltásával. Nagyon fontos szerepet játszanak a hálózatvédelemben a tűzfalak. A tűzfalak két hálózat között helyezkednek el, és feladatuk, hogy a rajtuk áthaladó forgalmat szabályozzák a megfelelő előírások, biztonsági szempontok (policy) alapján. Általában a nyilvános és a magánhálózatok közé helyezik el a tűzfalakat. Legtöbbször többszintű védelemmel látják el a magánhálózatokat, és szükség esetén használnak egy úgynevezett DMZ-t (DeMilitarizált Zóna: szigorúan védett privát hálózat és a nyilvános hálózat közé beépített közbülső védelem) is [5]. A hálózatokat és a DMZ-t egy vagy több tűzfalas megoldásokkal határolhatják el. A tűzfalak legegyszerűbb változata a csomagszűrő tűzfal, amit a CISCO routereknél a hozzáférés vezérlő listák (ACL) segítségével oldhatunk meg.

Cikkünkben ezen hozzáférési listák használatát és beállításait ismertetjük. Szimulált hálózaton mutatjuk be az ACL beállításainak lépését, majd a megvalósulás után a tesztelést. A szimulációhoz a CISCO Packet Tracer programot használjuk. Célunk annak bemutatása, hogy a hozzáférési listákkal könnyen tudunk megvalósítani biztonságos csomagforgalmat, mellyel a hálózat működésének hatékonyságát is biztosítjuk.

2. Hozzáférés-vezérlési listák

Az Access Control List (ACL), azaz hozzáférés-vezérlési lista a forgalomszűrés egyik legelterjedtebb változata [2]. Az ACL-ek segítségével hozzáférés vezérlést biztosítunk egy erőforráshoz. Segítségükkel ellenőrizhetjük a hálózatba bejövő illetve kimenő forgalmat, és szükség esetén még szűrhetjük is azt. A forgalomszűrés javítja a hálózat teljesítményét.

Az ACL segítségével az elosztási rétegben korlátozható a hozzáférés, és megakadályozható a nem kívánt forgalom központi hálózatba jutása. A hozzáférési listával ellenőrizhető a forgalomirányító interfészein áthaladó hálózati forgalom. Ez azt jelenti, hogy az OSI modell 3. rétegében dolgozunk, vagyis megelőzzük jóval a szoftveres védelmet. Az ACL-ek engedélyezhetnek és tilthatnak is forgalmat a megfelelő szabályokkal. Az ACL-ek megadási sorrendben hajódnak végre, a szoftver végigmegegy szabályokon, és amelyik megfelelő neki, azt végrehajtja. Ha nincs a kérésre vonatkozó meghatározás, az egyéb beállítások lépnek érvénybe. Háromféle ACL típus különböztethetünk meg, ezek a normál, a kiterjesztett és a nevesített ACL [2].

Normál ACL

A normál ACL (Standard ACL) a legegyszerűbb a három típusból. Forrás IP-cím alapján végzi a szűrést, teljes protokollműködés alapján tiltja vagy engedélyezi a forgalmat. Ha egy ilyen ACL nem engedélyezi egy munkaállomás IP forgalmát, az erről az állomásról érkező összes szolgáltatást letiltja. Lehetőségünk van egy adott felhasználó vagy helyi hálózat számára engedélyezni az összes szolgáltatás elérését a forgalomirányítón keresztül, míg az összes többi IP-cím esetén tilthatjuk a hozzáférést. A normál ACL-ek a hozzájuk rendelt azonosítási szám alapján azonosíthatók be. Az azonosítási számnak 1 és 99, illetve 1300 és 1999 közé kell esnie. Pl. a *Router(config)#access list 2 permit host 172.16.1.80*; ACL a 172.16.1.80 IP címet engedélyezi.

Kiterjesztett ACL

A kiterjesztett ACL (Extended ACL) már nem csupán a forrás IP-cím alapján, hanem a cél IP-cím, a protokoll és a portszámok segítségével is szűrhet. Sokkal elterjedtebb, mint a normál ACL, mivel jobb ellenőrzést tesz lehetővé, és specifikusabb is. Azonosítási számuknak 100 és 199, illetve 2000 és 2699 közé kell esniük. Pl. a *Router(config)#access list 102 permit 192.168.2.0 0.0.0.255 any*; ACL a 192.168.2.0 hálózat minden állomását engedélyezi, ugyanakkor minden mást tilt. Továbbá a *Router(config)#access-list 103 deny tcp any 192.168.2.0 0.0.0.255 range 20 2*; a teljes FTP forgalmat letiltja. A *Router(config)#access-list 101 deny tcp 195.220.0.0 0.0.255.255*

0.0.0.0 0.0.0.0 eq 80; ACL-lel tiltjuk a 195.220.0.0/16 hálózat felől a HTTP (80-as port) kéréseket bármilyen célhálózat felé.

Az ACL definiálását egy interfészhez történő hozzárendelés követi 1

```
(config)#interface Serial 0
(config-if)#ip access-group 1 out (kimenő interfész)
(config)#interface Ethernet 0
(config-if)#ip access-group 101 in (bejövő interfész)
```

Nevesített ACL

A nevesített ACL (Named ACL, NACL): normál vagy kiterjesztett hozzáférési lista, ahol az azonosító szám helyett egy névvel hivatkozunk a listára. A nevesített ACL-ek beállításához a forgalomirányítón NACL üzemmódban kell lennünk.

Az ACL-ek végén mindig van egy implicit tiltás, tehát mindent tiltunk alapesetben, azon kívül, amit engedélyeztünk. Ez a gyakorlatban azért bevett szokás, mert ilyenkor nem a tiltásokat, hanem az engedélyeket vesszük sorra, amit a szükséges ACL-ekkel tudunk megadni. Ebben az esetben nem fordulhat elő az eset, hogy a biztonsági tervezés alatt elfelejtenénk bármely biztonsági szempontból fontos elem tiltását!

Ha a nemkívánatos forgalomforráshoz közel tiltunk, akkor a forgalom nem halad keresztül az egész hálózaton, és foglal le értékes erőforrásokat. A hozzáférési listák minden olyan forgalmat ellenőriznek az ACL-ben megadott szabályoknak megfelelően, amelyek áthaladnak az eszköz megadott interfészén. Az ACL-ek helytelen használatából előfordulható hibák az alábbi típusúak lehetnek.

- Az összes csomag ellenőrzése jelentősen leterheli a forgalomirányítót, így kevesebb időt tud fordítani a csomagtovábbításra. Ilyenkor használható a sorba állítás, amikor protokollok szerint a router egyes csomagokat előbbre vesz, és egyes csomagokat, amelyek nem fontosak, fel sem dolgoz.
- A rosszul megtervezett ACL-ek sokkal nagyobb terhelést okoznak, ami a hálózat működésében zavart, hibát okozhat.
- A nem megfelelően elhelyezett ACL-ekkel pont az ellenkezőjét érhetjük el, mint amit szeretünk volna. Blokkolhatjuk az engedélyezni kívánt, és engedélyezhetjük a tiltani kívánt forgalmat [9].

A jól megtervezett hozzáférési listákkal csökkenthetjük a hálózat terhelését, és jóval kisebb sávszélességet használunk fel.

3. Konkrét megvalósított példa Cisco Packet Tracerben

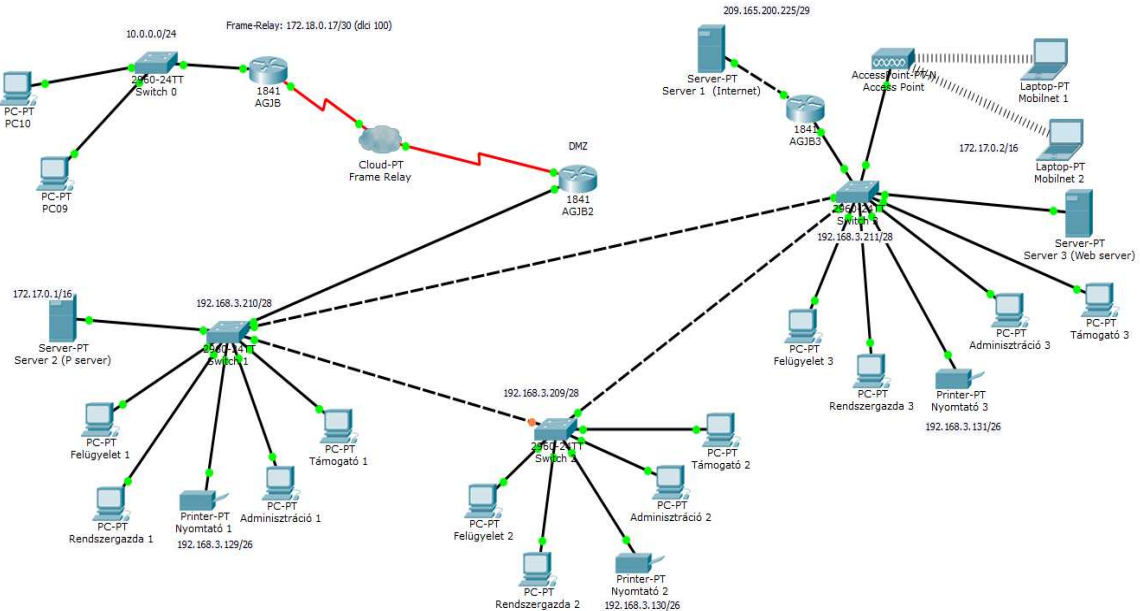
Az alábbiakban röviden bemutatjuk a szimulációhoz használt Cisco Packet Tracer programot. A Cisco Packet Tracer egy emulációs program, amiben könnyen megtervezhetjük, létrehozhatjuk, és tesztelhetjük a kigondolt hálózati konfigurációt. A programban megjelenő eszközöket konzolosan vagy varázsló segítségével állíthatjuk be. Számos forgalomirányítót, kapcsolót, vezeték nélküli eszköz és végberendezést tartalmaz a program, ezeket a megfelelő beállítások után a valóságnak megfelelően működtethetjük.

Konkrét példánkban egy kitalált cég hálózatát hoztuk létre, melynek feladataihoz a tartozik többek között hivatalos esemény rögzítése, megosztása élőben, illetve későbbi időpontban ezek webkiszolgálóról történő megtekintése. Ezen kívül a cég munkatársai felügyelik a szervereken tárolt videó anyagokat, és esetleges probléma esetén támogatást nyújtanak.

Egy többszintű-, hierarchikus címzési- és elnevezési sémában kellett gondolkodnunk, amivel megoldható, hogy a későbbiekben a hálózathoz esetleg újonnan hozzáadott felhasználók, illetve eszközök egyszerűen és könnyen felügyelhetők legyenek. Meg kellett oldani továbbá a külvilág felé megosztott tartalmakat (például a rögzített tárgyalási események) tároló eszközök egy, a belső hálózattól szigorúan szabályozott módon elkülönített, úgynevezett *demilitarizált zónába (DMZ)* történő elhelyezését. Ezzel a megoldással értük el azt, hogy a kívülről érkező támadások egy, a biztonsági szempontból érzékeny területtől jól elválasztott alhálózatba érkezzenek. A létrehozott belső címzési séma külvilágtól történő elrejtésére a Network Address Translations-t (NAT-ot), azaz

a *hálózati címfordítást* alkalmaztuk. Segítségével a cég belső privát címei egy és ugyanazon publikus, mások által is látható címre történő lefordításával megakadályoztuk, hogy kívülről „felderíthető” legyen a hálózat struktúrája. A külső támadások mellett a belső forgalom szűrése is szükséges, így kiszűrhető az egyes hálózati területekre bejövő, illetve onnan származó nem megengedett csomagforgalom. Így a felesleges forgalom kiszűrésével a hálózat sávszélessége is javítható. Minden hálózati eszköz távolról történő elérését úgy kell biztosítani, hogy a megfelelő erősségű jelszavakkal védhetők legyenek a jogosulatlan hozzáférések elől.

A fenti szempontokat és tervezési megfontolásokat figyelembe véve, az alábbi szimulált hálózatot hoztuk létre.



1. ábra. A megvalósított hálózat

Biztonságpolitikai követelmény volt, hogy távoli helyszínekről, ideértve a külső irodákat is, csak bizonyos helyi hálózati erőforrásokat legyenek elérhetőek. A szükséges szabályok a következők.

```
interface Serial0/0/0 (erre a portra állítjuk be)
description Frame-Relay kapcsolat
ip address 172.18.0.18 255.255.255.252
encapsulation frame-relay (beágyazás)
frame-relay interface-dlci 200 (beállítás a kapcsolathoz)
ip access-group 101 in (bejövő)
ip access-group 102 out (kimenő)
```

A távoli felhasználóknak (PC09, PC10) hozzá kell férni a P Serverhez, hogy láthassák a tartalmukat a weben keresztül,

```
access-list 101 permit tcp host 172.18.0.17 host 172.17.0.1 eq www
```

A távoli felhasználóknak képesnek kell lenni a P Serverekről fájlokat letölteni illetve oda feltölteni FTP segítségével.

```
access-list 101 permit tcp host 172.18.0.17 host 172.17.0.1 range 20 21 ftp
```

A távoli felhasználók használhatják a P Servert, hogy e-mailt küldjenek és fogadjanak SMTP és IMAP protokollok segítségével.

```
access-list 101 permit tcp host 172.18.0.17 host 172.17.0.1 eq smtp
```

```
access-list 101 permit tcp host 172.18.0.17 host 172.17.0.1 eq 143
```


A távoli felhasználók nem érhetnek el semmilyen más szolgáltatást a P Serveren. Megjegyzés: Az ACL-ek végén mindig van egy implicit tiltás, vagyis az engedélyezetten kívül minden tiltva van.

access-list 101 permit tcp any any implicit tiltás

Nem engedélyezett a központi iroda munkaállomásairól a távoli felhasználók munkaállomásai felé tartó forgalom. Minden olyan fájlt, amit a két helyszín között szükséges átvinni, a P Serveren kell tárolni, és onnan lehet őket FTP segítségével elérni (vissza irány engedélyezése).

access-list 102 permit tcp any any

Nem engedélyezett a távoli helyszín munkaállomásairól a központi helyszín munkaállomásai felé tartó forgalom.

access-list 102 deny ip 192.168.0.0 0.0.3.255 10.0.0.0 0.0.0.255

A központi irodában lévő routereket és switcheket csak a 70-es vlan munkatársai érhetik el Telnet segítségével.

line vty 0 4

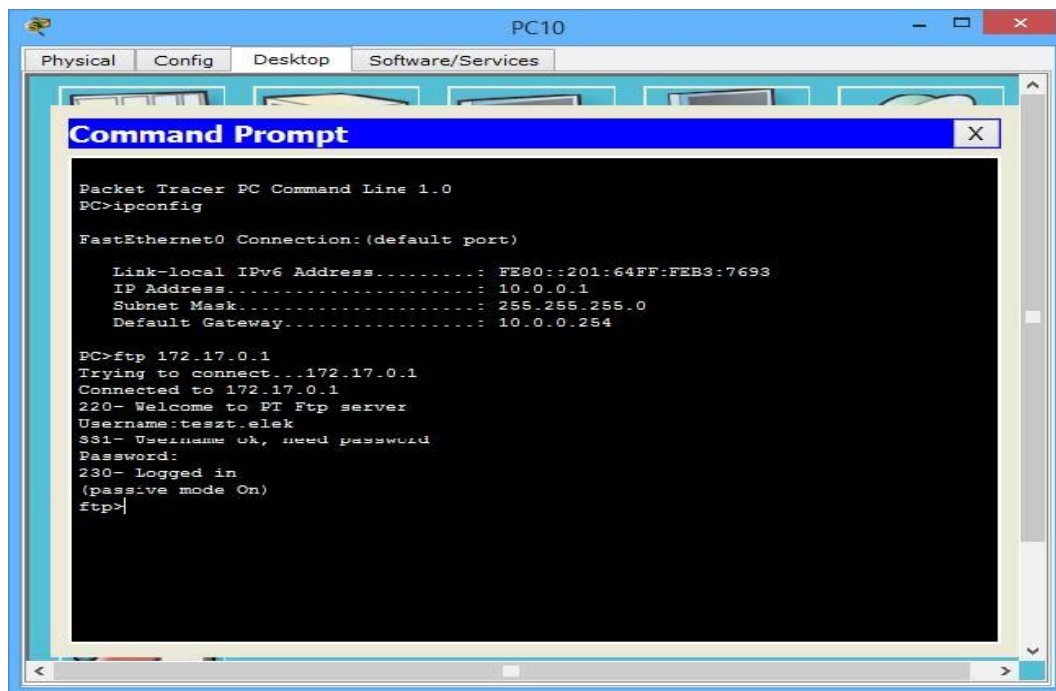
access-class 70 in

password 7 0822455D0A16

login

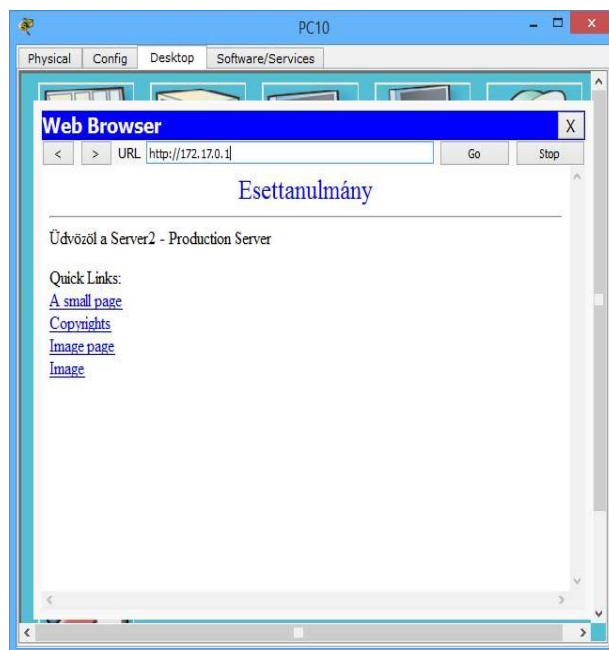
4. Az ACL beállítások tesztelése

Az alábbi tesztkimeneten látható, hogy a PC10-es távoli felhasználó az FTP protokollon keresztül éri el a P Servert. (2. ábra)

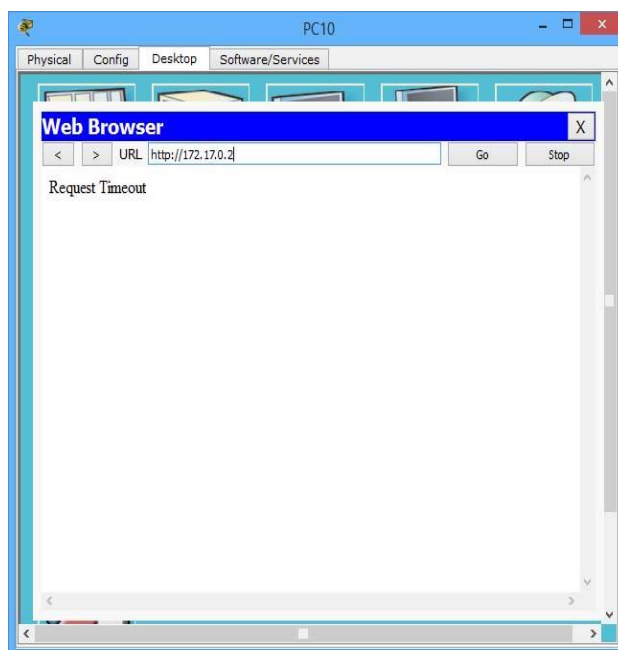


2. ábra. Teszt eredménye

A következő két teszteredmény azt mutatja, hogy a távoli felhasználó HTTP protokollon keresztül éri el a P Server-t (3. ábra), illetve azt, hogy nem sikerül elérniük a Server 3-at (172.17.0.2) (4. ábra).

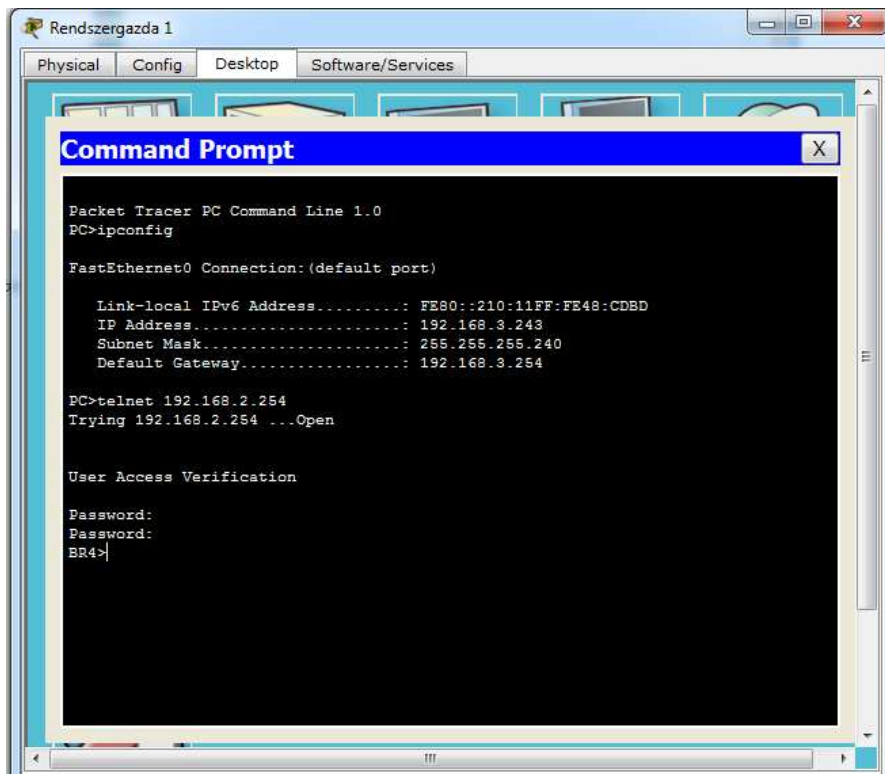


3.ábra. HTTP teszt sikeres



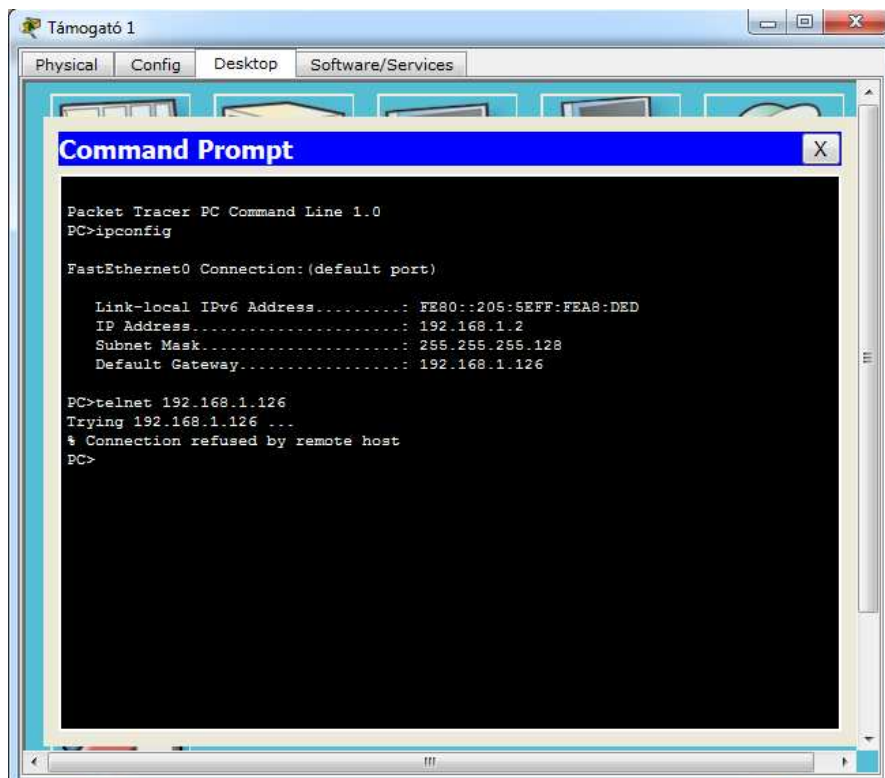
4.ábra. HTTP teszt sikertelen

A 70-es VLAN-ba (PI: Rendszergazda 1) tartozó felhasználók elérik a hálózati eszközöket (5. ábra)



5. ábra. A teszt eredménye

Azon felhasználók, akik nem a 70-es VLAN-ba tartozó (PI: Támogató 1) gépen dolgoznak, nem érik el telnet segítségével a hálózati eszközöket (6. ábra).



5. ábra. Teszt eredménye

5. Következtetések

A cikkben bemutattuk, hogy az ACL-kel nagyon egyszerűen és hatékonyan lehet szabályozni a hálózati forgalmat. Elsősorban a távoli használatra mutattunk be példákat, de természetesen ezt lehet bővíteni helyi hálózaton belül. Fontos, hogy a jól megtervezett, jól elhelyezett ACL-ek, nem csak biztonságosabb hálózatot biztosítanak, hanem elősegítik a hálózat jobb kihasználását, hatékonyabb működését is.

Irodalomjegyzék

- [1] Cisco 2900 Series Integrated Services Routers Data Sheet
http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/2900-series-integrated-services-routers-isr/data_sheet_c78_553896.pdf
- [2] CCNA Discovery 3: Introducing Routing and Switching in the Enterprise 8. fejezet
- [3] CCNA Discovery 4: Designing and Supporting Computer Networks. 1-9. fejezet
- [4] Hogyan tegyük biztonságossá a Wi-Fi hálózatot
<http://pcworld.hu/hardver/hogyan-tegyuk-biztonsagossa-a-wi-fi-halozatot.html>
- [5] DMZ hálózatok tervezése és használata, Linuxvilág, 2001 május,
http://linuxvilag.pbk.hu/content/files/cikk/06/cikk_06_40_44.pdf

POLYMER MELT VISCOSITY MEASURING BY AN INJECTION MACHINE

Gergely Tóth ^{1*}, Attila Bata ² Zsolt Dugár ³, Tamás Dugár ⁴, Szabó Tamás Phd. ⁵

^{1, 2, 3, 4} Department of Polymer Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Kecskemét College, Hungary

⁵ Department of Polymer Technology, University of Miskolc, Hungary

Keywords:

viscosity
rheology
polymer
flow-curve
capillar

Article history:

Received 10 October 2015
Revised 31 October 2015
Accepted 5 November 2015

Abstract

In my article I would like to present a special measurement procedure of polymer melt viscosity measurement. The general idea is based on the capillary viscometer measuring technique, but it is closer to the production process' variable conditions, for example the change in melt cross section, melt temperature increase with the shear stress and the melt pressures. An injection machine is able to measure and regulate the filling process pressure, speed and temperatures so, everything is given for a viscosity measurement. Of course it is not a standard measuring process, but it may be very interesting to compare the results with the standard measuring tool's results. In the end I illustrate the results of the standard and non standard procedures in one diagram. The flow curves show a wide range of shear rate, temperature, and shear stress.

1 Introduction

A significant number of plastic products are produced using injection moulding. In the injection moulding method the plastic raw material is formed as a melt. During the production process it has a great importance knowing and controlling the raw material's flow properties. The science of this area is rheology.

For plastic melt viscosity measurements the simplest and the most common testing equipment and measuring instrument is the MFI technique. However, an MFI measurement gives very little information of what really happens with the melt during processing. Well-equipped testing laboratories can have access to rotational and oscillation viscometers which provide accurate results, but ignore the changing condition variables during the processing. The processing conditions are better taken into account by a capillary rheometer, which is closer to the injection molding shear rate range (10-20E 1/s) may also examine the material behavior. Any of these measuring instruments are expensive and the users need to know the rheological properties of the thermoplastic polymers.

In the article we would like to present a measurement method of polymer melt viscosity measurement. The target was to measure viscosity in line the production taking into consideration the process variables. Nowadays with an injection machine we can control and measure all of the process variables, for example the pressures, temperatures and speeds. After building the measurement system and working out the proper data processing and measurement optimization, the measurement of polymer rheology becomes viable. The flow curves and viscosity curves measured by the injection machine are closer to the actual questioned properties than the ones measured by standard measuring techniques. This article describes the measurement and mathematical formulas I used in the evaluation process.

* Corresponding author.

E-mail address: toth.gergely@gamf.kefo.hu

2 Method

2.1 The theoretical background of viscosity measurement [1]

Figure 1. shows a piece of a liquid moving at a strain rate $\dot{\gamma}$ under an applied shear stress of τ . The viscosity of the liquid is the ratio of the applied shear stress to the resulting strain rate (or equivalently, the ratio of the shear stress required to move the solution at a fixed strain rate to that strain rate). The shear strain in Fig. 1. is:

$$\gamma = \frac{du}{dy} \quad (1)$$

where u is displacement in the x direction. The strain rate is therefore:

$$\dot{\gamma} = \frac{d}{dt} \frac{du}{dy} = \frac{d}{dy} \frac{du}{dt} = \frac{dv_x}{dy} \quad (2)$$

where v_x is velocity in the x direction. The relations between viscosity (η), shear stress (τ), and shear rate ($\dot{\gamma}$) are

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad \text{or} \quad \dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta} \quad \text{or} \quad \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

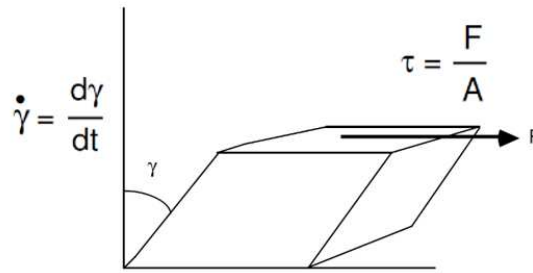


Figure 1. A piece of a liquid moving at shear rate $\dot{\gamma}$ under an applied shear stress of τ . [1]

A Newtonian fluid is one in which the viscosity is independent of the shear rate. In other words a plot of shear stress versus shear strain rate is linear with slope η . In Newtonian fluids all the energy goes into sliding molecules on each other. In non-Newtonian fluids, the shear stress/strain rate relation is not linear.

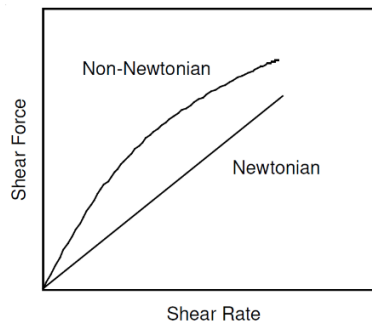


Figure 2. Schematic plots of shear force vs. shear rate for Newtonian and non-Newtonian fluids. [1]

Typically the viscosity drops at high shear rates — a phenomenon known as shear thinning. Although the following development will not discuss shear rate effects in detail, the possibility of experimental results being affected by the shear rate of the measurement should be kept in mind. Plots of shear force vs. shear rate for Newtonian and non-Newtonian fluids are given in Figure 2.

2.2 Calculation with round hole capillary

Using the notation in the *Figure 3* and equations (4), (5) a round hole capillary viscosimetric interpretation becomes clear [3].

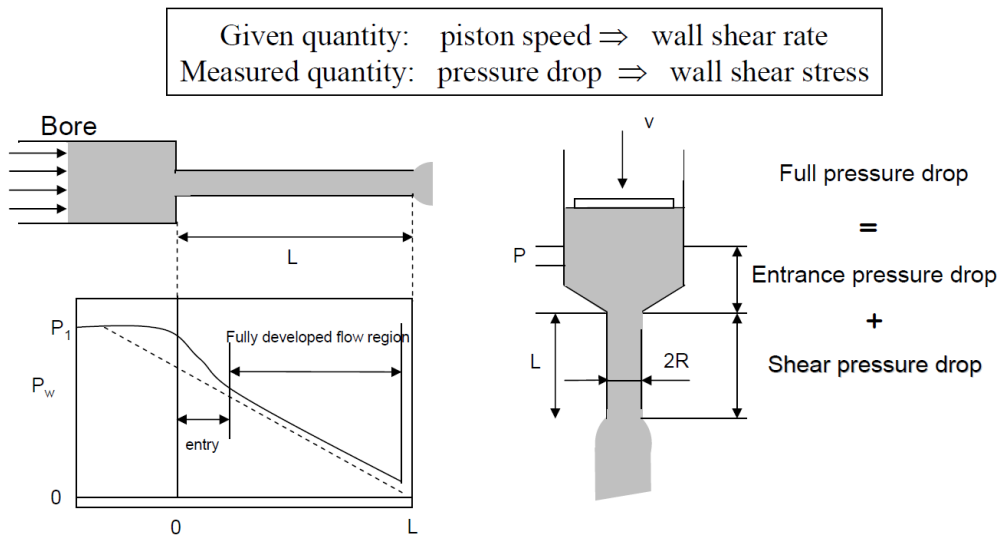


Figure 3. Round hole capillar viscosimetria interpretation [3]

The apparent shear rate and shear stress are possible to calculate with the following equations (4), (5). The results of these equations need to be corrected with a factor mentioned later.

$$\dot{\gamma}_{app} = \frac{4 \cdot Q}{\pi R^3} \quad (4)$$

Where Q is the volumetric flow and R is the capillary radius.

$$\tau_{app} = \frac{R \cdot \Delta P}{2 \cdot L} \quad (5)$$

Where Δp mean the pressure drop in the capillary and L is the capillary length.

2.3 Viscosity measurement with an injection molding machine

Hereinafter we deal with the non-Newtonian polymer melt viscosity measurement with an injection molding machine. The polymer type what we tested was polycarbonate (DOW Calibre 303 EP). It is a thermoplastic water clear polycondensation type plastic.

We used an ENGEL Victory 1050/300 injection molding machine and two special geometry capillary nozzles. In this case the injection machine was used as a capillary rheometer. With the injection molding machine repeatedly plasticizing and injecting with varied injection settings through of the nozzles into the open air. Variables adjusted were for example the injection speed and the temperatures of the barrel zones. With this method the effect of temperature and injection speed on the viscosity can be shown.

The capillaries used were very important in terms of measurement because this gave us the possibility to calculate the corrected viscosity parameters. The main difference between the two capillaries were the holes length and diameter ratio. The diameter is unified (2mm) and the length was changed, one is very short just 2mm and another 20mm.

This difference is necessary for applying the following Bagley correction. During capillary rheometer tests, pressure is measured above the die inlet. The true pressure drop along the capillary is therefore 'hidden' by an additional pressure drop at the entrance of the die, where the flowing material goes from a wide reservoir (the main cylinder or barrel) to a narrow capillary, possibly also creating turbulences. Assuming that the same additional pressure drop takes place with different

capillary lengths (but keeping constant the barrel and capillary diameters, and inlet shapes), it's possible to correct the pressure reading and estimate much more accurately the true pressure drop. This is called the Bagley correction (named after Edward B. Bagley, American scientist) [2].

3 Results

3.1 Primary results

One of the primary results shown the Figure 4. what can be interpreted as a the temperature effect on viscosity and pressure difference next to constant injection speed. Every line represents a three shot average value. On the time axis between two and four seconds the pressure value is constant so the sampling can be performed. At the constant section of the pressure lines we only need one point from one temperature set for the measurement. So, in this measurement we can log pressure differences (measured), volumetric flow (from the injection speed and barrel diameter), and capillary geometry.

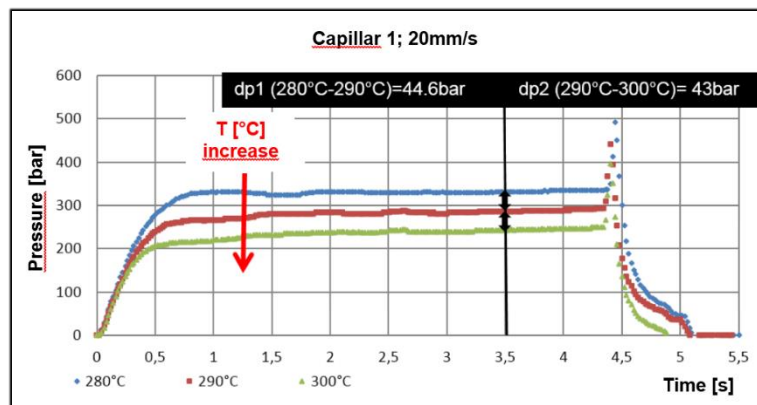


Figure 4. Primary result with capillary 1

First showing the viscosity curves which were calculated from the non corrected data (Figure 5). To test our method we take a control measurement with a capillary viscometer. The reference curves are shown in Figure 5.

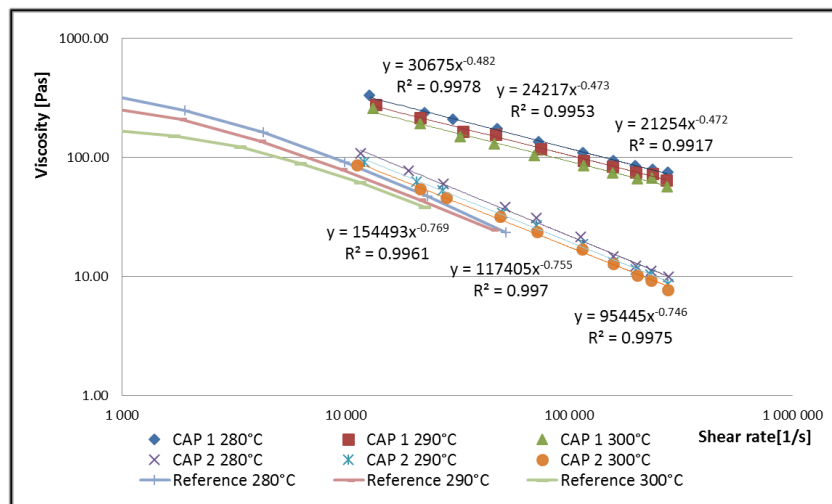


Figure 5. Apparent viscosity curves Capillar 1 vs. Capillar 2

3.2 Correction

First showing the Bagley correction method during the practical process. If we correlate the measured pressure points to the capillaries' length and diameter ratio we get Figure 6. Every two point measured with the same injection speed (shear rate) but with a different capillary. The two

points can be connected with a line. The line's equation shows us where the line and the vertical axis (pressure axis) intersects.

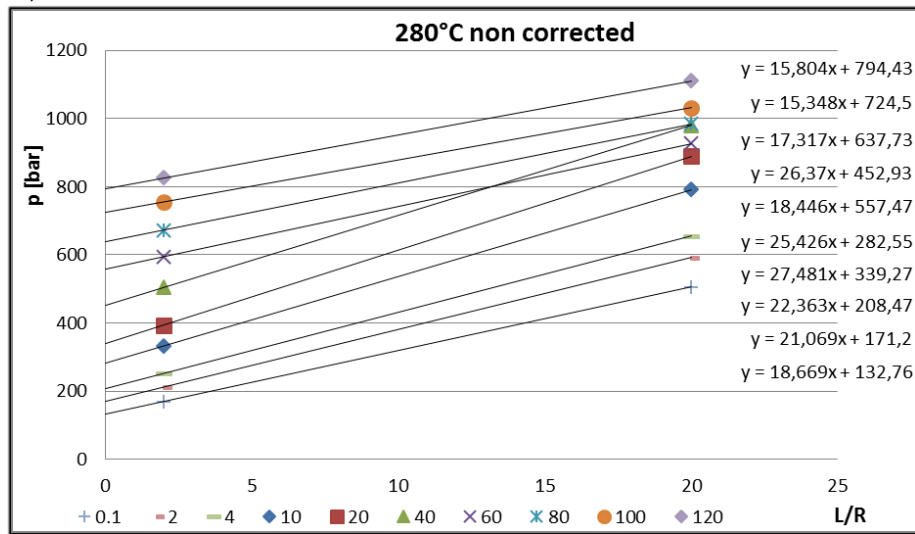


Figure 6. Capillaries L/D and pressure connection (280°C)

If we subtract the points pressure value with the intersection's value the lines' starting point is moved to the origo (Figure 7). With this process the Bagley correction is taken. The real pressures are the decreased values.

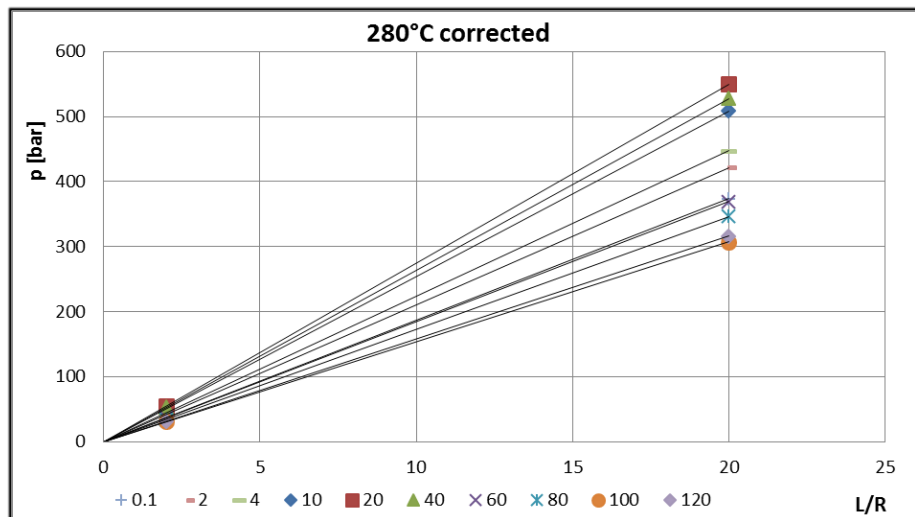


Figure 7. Capillaries L/D and corrected pressure connection (280°C)

4 Discussion

After the corrections Figure 8. shows the corrected viscosity curves. It can be seen that our measurements are close to the reference values and we can increase the shear rate range higher than the reference capillary viscosimeter is able to.

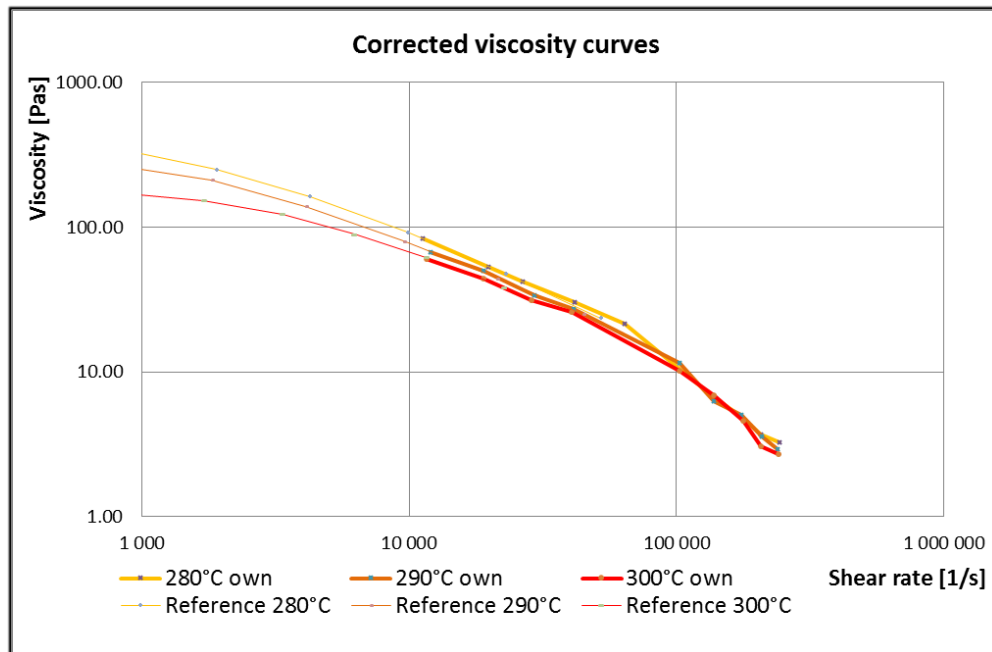


Figure 8. Corrected viscosity curves compared to reference

5 Conclusions

In our work we present a novel measurement method of polymer melt viscosity measurement using an injection machine. Our target was met as the flow curves and viscosity curves measured by the injection machine show good correlation to the properties what were measured by standard capillary measurement techniques. Currently this way of viscosity measurement too slow but after further optimization this method can be quicker and simpler. The most important thing is although that we only use an injection machine and two capillaries for the measurements which are more accessible for industrial entities. In the future we would like to upgrade the method and further improve the procedure. In our plans after working out the upgrade, to have access to this method of measurement one will just need a new software and two capillaries and one can measure viscosity anywhere and any time with an injection machine during the production process.

Acknowledgment

This project consumed huge amount of work, research and dedication. Still, implementation would not have been possible if we did not have a support of many individuals and organizations. Therefore we would like to extend our sincere gratitude to all of them.

First of all we are thankful to Thomas and Betts Gyártó Kft. for their financial and logistical support and for providing necessary guidance concerning projects implementation.

We are also grateful to University of Miskolc, Department of Polymer Technology for provision of expertise, and technical support in the implementation. Without their superior knowledge and experience, the Project would like in quality of outcomes, and thus their support has been essential.

The theoretical work of the authors is financed by the TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv project with support by the European Union and the European Social Fund.

References

- [1] Indian Academy of Science online book Chapter 6. [Online]. Available: http://www.ias.ac.in/initiat/sci_ed/resources/chemistry/Viscosity.pdf. [Accessed: 18-Jan-2015].
- [2] [Online]. Available: <http://www.instron.com/en-us/our-company/library/glossary/b/bagley?region=North%20America>
- [3] Brno, 28-29th march 2012 – School of Rheology. [Online]. Available: http://www.anamet.cz/sites/all/storage/school_of_rheology_part_2_capillary.pdf

ZÉRÓ KIBOCSÁTÁSÚ JÁRMŰ - MEGALUX - TERVEZÉSE

Fodor Antal ^{1*}, Bagány Mihály ², Kutasi Zoltán ³, López Pérez, David ⁴

¹⁻³ Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

² Vehicle Technology of Universidad Miguel Hernandez de Elche, Españaol

Kulcsszavak:

napenergia
káros anyag kibocsátás
elektromos hajtás
aerodinamika
kompozit

Keywords:

Solar Energy
Emission
Electric drive
Aerodynamic
Composite

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Ebben a munkában összefoglaljuk a World Solar Challenge ausztráliai versenyre épített napelemes jármű tervezésének főbb momentumait. Ezt egyben egy cikksorozat indítójának is szánjuk. A világon egyre inkább előtérbe helyeződik a részben vagy egészében elektromos hajtásláncok fejlesztése. A jármű készítésének előzményeként megalkottuk a Megaméter energiatakarékos benzinmotoros járművet, ami jelenleg a világ második legkisebb fogyasztású járműve. Ezen az alapon indulva elkezdtük a Zéró kibocsátású járműfejlesztés összetett feladatát. Most a tervezési fázisok néhány állomását mutatjuk be.

Abstract

The aim of this paper is to summarize the main design steps of the Solar Electric Vehicle, which was built for the Australian World Solar Challenge. Our intention is to introduce the first article of a series. On the world highlights the development of semi or fully electric powertrain. As a prelude micro fuel efficient prototype car within a couple of years was built at Student Workshop of Kecskemét College Faculty of GAMF. Currently it is the second lowest consumption car on the world. This was an excellent basis for developing zero-emission car. As it was a very complex task, we are going to introduce the main design phases.

1. Bevezetés

A napenergiával meghajtott járművek versenyét (World Solar Challenge) 1987-ben rendezték meg először. A járműveknek, az ausztrál kontinentet átszelve közúton kell megtenni Darwin és Adelaide közötti 3022 km-es távot (1. ábra). A Kecskeméti Főiskola járműépítő csapata **MegaLux** nevű kocsijával benevezett a 2015-ös versenyre a Challenger kategóriába. A versenyen 23 országból 45 csapat indult. A nevezők között vannak a világ élvonalába tartozó egyetemek.

Szilícium alapú napelemekből 6 négyzetméternyi lehet elhelyezni a járműre, amit csak a napelemek által termelt villamos energia hajthatja. Pufferként beépíthető 20 kg lítium-ion akkumulátor. Az 5 - 6 napig tartó futam a gondosan megépített üzembiztos járműről, a jó versenytaktikáról, a csapat kitartásáról és a körültekintő szervezésről szól.

1 Fodor Antal Tel.: +36 76 516 300; fax: +36 76 5163 99
E-mail cím: fodor.antal@gamf.kefo.hu

2 Bagány Mihály Tel.: +36 76 516 300; fax: +36 76 5163 99
E-mail cím: bagany.mihaly@gamf.kefo.hu

3 Kutasi Zoltán Tel.: +36 76 516 300; fax: +36 76 5163 99
E-mail cím: kutasi.zoltan@gamf.kefo.hu

4 López Pérez, David Tel.: +34 679 64 57 99; fax: +34 966 65 89 28
E-mail cím: david.perez17@alu.umh.es

2. Energiamérleg és az elérhető átlagsebesség

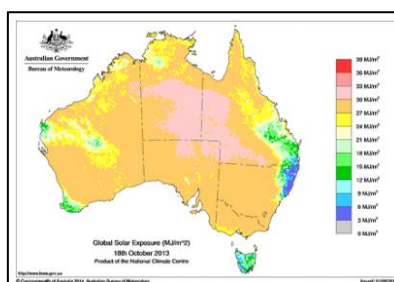
Az október végi (a déli féltekén ez a nyár eleje) versenyen, az útvonal mentén a besugárzott felületi energia $W_{\text{nap}} \approx 28 \text{ MJ/m}^2/\text{nap}$ (2. ábra). Egy $A = 6 \text{ m}^2$ felületű, a napenergiát $\eta_{\text{Si}} = 21\%$ hatásfokkal villamos energiává alakító naptábla energiatermelése naponta:

$$W_{\text{vill}} \approx \eta_{\text{Si}} A W_{\text{nap}} \approx 9,8 \text{ kWh} \quad (1)$$

A szabályzat megengedi, hogy a rajtvonalnál teljesen feltöltött akkumulátorral induljunk (4,5 kWh). Ha az akkumulátor átlagos kisütése napi 1 kWh, akkor naponta 10,8 kWh energia jut a hajtóműre.



1. ábra. A verseny útvonala



2. ábra. A napi besugárzott energia [2]

A hajtáslánc hatásfoka kb. 95%, így a napi vontatási munka 10,26 kWh. A napi haladási idő 8 óra, ezért az átlagos vontatási teljesítmény:

$$P_{\text{vonó}} = \frac{10,26 \text{ kWh}}{8 \text{ h}} \approx 1,28 \text{ kW} \quad (2)$$

A MegaLux kerekeinek gördülési ellenállási tényezője $f = 5/1000$, menetkész tömege $m = 240 \text{ kg}$. A gördülési ellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítmény v sebességnél:

$$P_g = fmgv \quad (3)$$

A jármű homlokkeresztmetszete $A_{\text{hk}} = 0,76 \text{ m}^2$, légellenállási tényezője $c = 0,142$, a levegő sűrűsége $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. A légellenállási együttható (k) és a légellenállás legyőzéséhez szükséges teljesítmény ($P_{\text{lég}}$) a Reylaigh-összefüggés alapján:

$$k = 0,5\rho A_{\text{hk}}c, \quad P_{\text{lég}} = kv^3 \quad (4)$$

2.1. A vontatási teljesítmény:

$$P_{\text{vonó}} = P_g + P_{\text{lég}}, \quad P_{\text{vonó}} = fmgv + kv^3 \quad (5)$$

Az elérhető átlagsebesség ennek a v -ben harmadfokú egyenletnek a gyöke. A fenti adatokkal számolva $v \approx 88 \text{ km/óra}$. Ennél a sebességnél kb. 1 kW szükséges a légellenállás legyőzésére. A 16"-os gumiabroncsok eredő gördülési ellenállása 12 N [1], [2].

3. A légellenállás, és az áramlásvizsgálat

A versenyjármű karosszériákkal szemben alapvető követelmény a kedvező légellenállás. Ennek eléréséhez ismernünk kell a járműtest körüli áramlási szerkezetet, valamint a hajtóműre ható erők megoszlását. A modell körül kialakuló áramkép elemzésére numerikus szimulációt alkalmazhatunk. A járművek mozgása során, – láthatjuk az előző pontban – a teljes mentellenállás jelentős része a légellenállás. Ezért a forma kialakításánál arra kell törekedni, hogy ez csekély legyen. Ezt kis homlok-keresztmetszettel és kis ellenállás-tényezőjű forma kialakításával érhetjük el. Tudjuk, hogy a cseppalak és a szárnyprofil ellenállás-tényezője a legkisebb. Ha a profil csökkenő keresztmetszetű hátsó része kellően hosszú, akkor arról nem válik le a határréteg, a test mögött kisebb áramlási nyom keletkezik, így csökken az ellenállás. A jármű modelljén, a forma kialakítása

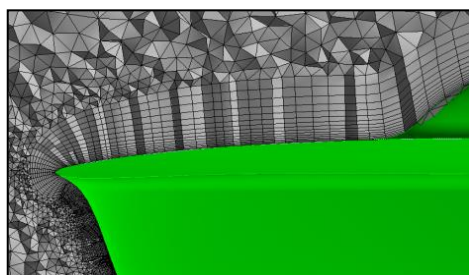
során, numerikus áramlás-szimulációt végeztünk. Annak digitális prototípusát, több fázisban formáltuk, optimalizáltuk. Az egyes változatokat újabb és újabb vizsgálatokkal ellenőriztük [1], [3], [4].

3.1. Az áramlási tér kialakítása

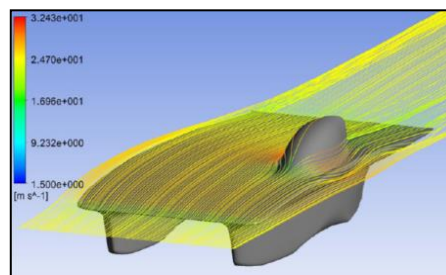
A numerikus áramlás-szimuláció modellalkotása során, a vizsgálat alá vont jármű digitális modelljének megalkotása mellett, szükséges definiálni azt a szinguláris teret, amelynek minimális nagysága már nem befolyásolja számottevően az analízis eredményének pontosságát. Az általános áramlástan ismeretek figyelembevételével ennek magasságát a jármű magasságának kétszeresére vettük fel. A szélességet, a geometriát mindkét oldalra felvéve, annak háromszorosára választottuk. Az áramlási tér hosszúsága három részből tevődik össze. Ezt a jármű előtt másfél-, a jármű után kétszeres járműhosszra vettük fel. Az elkészítéséhez létre kellett hozni a fenti kubaturát a karosszéria körül. Ez globális koordinátarendszer felhasználásával készült, majd Boole-művelettel kivontuk belőle a jármű térfogatát [1], [3], [4], [5], [6], [7].

3.2. Az áramlás-szimuláció paraméterei

Tapasztalat mutatja, hogy a közeg a benne mozgó testre erőt gyakorol. Ennek a meghatározása a hidro- és aerodinamika legbonyolultabb problémái közé tartozik. A relativitás elvéből következik, és mérésekkel is kimutatható, hogy a nyugvó közeg a benne v sebességgel mozgó testre ugyanolyan erőt gyakorol, mint a v sebességgel áramló közeg a benne nyugvó testre. Ez teszi lehetővé, hogy az erő vizsgálatánál a közegben mozgó test helyett, – a szimulációban – nyugvó testet vizsgáljunk áramló közegben. Ennek figyelembevételével készítettük el a numerikus áramlásvizsgálat beállításait, a rendelkezésünkre álló ANSYS Wokrbench Advaced CFX végeselemes moduljában. Itt létre kell hozni egy határréteg hálót a felületeken, és egy volumetrikus hálót (3. ábra) az áramlás környezetéhez. Definiáltuk az áramlási tér (Default Domain) paramétereit is. Ezen kívül szükség volt még a járműre ható, a légellenállásból adódó erők egyenleteinek definiálásaira is.



3. ábra. A határrétegháló



4. ábra. Az áramvonalkép

3.3. Az eredmények értékelése

Az eredmények kiértékelését ezután az alábbiak szerint kapjuk. A közeg mozgásánál a tér tetszőleges pontjában a szoftver a sebességvektorokhoz hozzárendel vektorokat, vagyis egy sebességet definiál. Majd az adott időpillanatban a sebességvektorokhoz simulógörbékét szerkeszt. Az így létrejött áramvonalkép végül jól jellemzi az áramlási térben a sebességek nagyság és irányváltozásait (4. ábra). A jármű végső kialakításnál elértük, hogy elhanyagolható oldalirányú nyomatók jelentkeznek, illetve a leszorító erő csekély. Ez azért előnyös, mert így nem lesz hajlamos a jármű az „elrepülésre”, illetve a túlzott leszorító erő indokolatlanul növelné a menetellenállást [1], [3], [4], [5], [6], [7].

4. A felfüggesztés

Általában egy ilyen napelemes versenyautó nagyon könnyű, és nem csak a formáját nézve, de a rugózott tömegei tekintetében is aszimmetrikus. Ezen túlmenően a felfüggesztéshez rendelkezésre álló hely, ahol az alkatrészeknek funkcionálisan is kifogástalanul kell végrehajtani a feladatát, csekély. Az alkatrészek mozgástartományának végállásainál a burkolófelületek rendkívül

közel vannak. A jármű modelljének kialakításában előnyt élvezett az aerodinamika és a kis homlokkeresztmetszet, ami komoly gondokat okoz a járműdinamika kidolgozása során. A versenyautónak – az autósportban is szokatlanul – nagy távolságot kell megtennie különleges körülmények között az ausztrál sivatagban, ezért (is) szükséges a robusztus, egyszerű, megbízható és könnyen beállítható futómű, valamint a gyors alkatrészcsere.

A tervezőnek elsősorban a biztonságos vezethetőséget, a jó vezetési élményt kell szem előtt tartania akként, hogy a végső kialakítás a lehető legkevesebb és legkisebb tömegű alkatrészből álljon úgy, hogy biztosítva legyen a kiváló minőségű gyártástechnológia megvalósíthatósága és az egész szerkezet járműdinamikai optimuma [8], [9].

4.1. Konceptcionális tervezés, és futómű geometria

A tervezés első fázisában megalkottuk a teljes járműdinamika paraméterezzhető matematikai modelljét. Ez Excelben történt (5. ábra), majd ennek eredményeit kapcsoltuk az Autodesk Inventor tervező rendszerbe, illetve az Assetto Corsa nevű – egyébként komoly járműdinamikai képességekkel rendelkező – „játék” szimulátorba. Az előzetes számítások alapján meghoztuk a döntést, hogy a járműben a kerekek felfüggesztése független hossz-lengőkaros lesz, annak kisebb helyigénye miatt. Az első tengelyen akképpen alakítottuk ki a bázis méreteket, hogy azok biztosítsák az előírt forduló sugarat úgy, hogy a kormányzott kerék minden lehetséges vég helyzetében biztonsággal elférjen a rendelkezésre álló helyen. Ez alatt értendő a jobb és bal fordulóhoz a kerék elfordíthatóság végkitérése, illetve a be,- és kirugózás is. A hátsó tengelyen a lehető legegyszerűbb kialakítást valósítottuk meg.

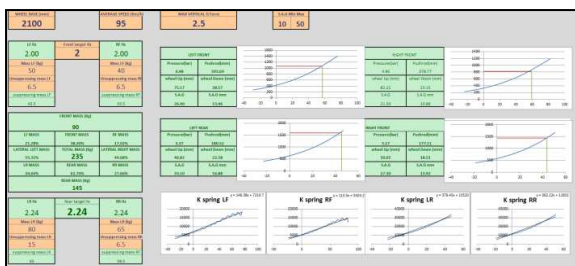
Az első futómű jellemző működési frekvenciáját 2 Hz-re vettük fel a merev, de komfortos rugózás érdekében. Így 90 - 95 km/h sebességnél fel tudja dolgozni a Stuart Highway (észak-dél irányú főút) útfelületére jellemző átlagosan 1 - 2 mm-es útegyenetlenségeket. Körülbelül ebben a sebességtartományban esik egybe az első és a hátsó tengelyen a gerjesztő tag által adott bemenő jel [8], [9].

$$f_{\text{Hz hátsó tengely}} = \frac{v_{\text{jármű}}^{1,5}}{f_{\text{Hz első tengely}} - L_{\text{tengelytáv}}} \quad (6)$$

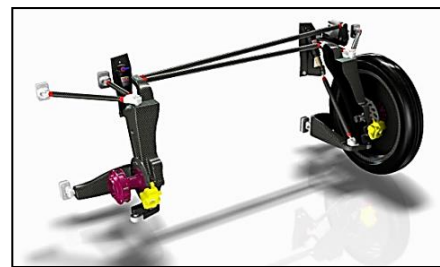
4.2. Légrugós lengéscsillapító alkalmazása

Kezdetben a kerékpároknál használt lengéscsillapítót alkalmaztuk. Ez kiválóan alkalmas egy ilyen futómű geometria rugózásának biztosítására. Ennek paramétereit egy kimerítő (itt nem részletezett) kísérletsorozattal határoztuk meg, beleértve egy három millió ciklusú fárasztóvizsgálatot is. Ezek alapján már rendelkezünk a szükséges egyenletek paramétereivel.

A vizsgálatok szerint, a lengéscsillapító exponenciálisan válaszol a nyomásváltozásra.



5. ábra. Futómű Excel konfiguráció



6. ábra. A futómű összeállítás

A rugózás paramétereit asszimmetrikusak a felépítmény egyenlőtlen tömegeloszlásai miatt. Az egység használatát végül a légrugózásra jellemző hőmérsékletérzékenység miatt elvetettük [8].

4.3. Spirálrugós lengéscsillapító alkalmazása

Ez a beépített rugóstag – a külső hőmérséklettől függetlenül – kerekenként biztosítja az optimális rugózást, a rugó előfeszítés állíthatóságát, a be,- és kirugózás gyors és lassú módjában is a pontos finombeállítást. A kezdeti (alap) beállítások mellett lehetővé teszi különböző áttételi

karokkal, hogy az eltérő paraméterű kerekhez azonos rugóstagot használhassunk [8], [9] (6. ábra).

$$S_{\text{előfeszítés}} = \frac{F_{\text{nyugvóponti}}}{k_{\text{rugómerevség}}} - S. A. G [\%] * S_{\text{teljes rugóút}} \quad (3)$$

5. A karosszéria kialakítása

A versenyeredmények részben a könnyű, merev, kis légellenállású karosszériának köszönhetőek. Cikkünk e részében vázoljuk egy ilyen karosszéria gyártástechnológiai tervezésének és megalkotásának főbb lépéseit. Ennek a sokszor egymással is ellenpólusban lévő főbb követelményei, hogy a karosszéria legyen minél kisebb, az alakja legyen szabadon megtervezhető, legyen minél merevebb és könnyebb. Ezeket világszínvonalon csak a szénszálas kompozitból készült karosszéria teljesítheti [10].

5.1. Előkészítés

Ha már kialakult az elrendezés és alapkoncepció, az alapvető funkciókat figyelembe véve a mechanikai tervezésben már közelítően számolhatók az olyan igénybevételek, amelyek a versenyautó egyes alkatrészeinek anyagát és gyártási technológiáját meghatározzák. A munka e szakaszára már kialakul a jármű belső műszaki tartalma is. A héjszerkezetű váz azért optimális, mert növeli a helykihasználhatóságot és a karosszéria inerciáját, a felhasznált anyagmennyiséget csökkenti, ami tömegcsökkentést eredményez. A belső felépítés optimalizálásához, illetve az előzetes rétegtrend számításokhoz szükség volt megelőző mechanikai- és anyagvizsgálatokra. Ennek alapjául a meglévő alkatrészek tömege, a pilóta tömege és a becsült terhelések szolgálták.

A szoftveres (a kompozit technológiára jellemző helyettesítő) végeselemes vizsgálat feltárta a karosszériában ébredő feszültség-térképet, amely alapján optimalizáltuk a belső bordák elrendezését és a végleges rétegtrendet, figyelembe véve a jó és könnyű gyárthatóságot. Ehhez előzőleg elvégeztük a felhasználandó anyagok próbatesteinek mechanikai vizsgálatát. Az anyagvizsgálatok eredményeinek kiértékelésével már meghatározható volt a végleges rétegtrend.

Mivel a héjszerkezetet több elemből lamináltuk és ezeket ragasztással rögzítettük egymáshoz az osztósíkok mentén, szükség volt a különböző ragasztási technikák mechanikai vizsgálatára is. A gyártástechnológia megválasztásakor az alkatrészekkel szemben támasztott viszonylag magas hőállóság is döntő szempont volt. Ezek figyelembevételével a korszerű repülőgép-ipari Prepreg technológiában alkalmazott szén - méhsejt - szén szendvicsszerkezet kialakítása és a Nomex méhsejt alkalmazása mellett döntöttünk [10], [11].

5.2. A gyártás

Az eddig csak számítógépen megálmodott karosszéria megvalósítása három lépésben történt: az ősminta, a negatívszerszám és a héjszerkezetű műanyag karosszéria elkészítése.

Az egyes alkatrészek ősmintái XPS hőszigetelő hablapokból marással készültek. Figyelembe vettük a felületek további kezelésének rétegvastagságait is. A poliészter anyagok használata miatt a habot el kellett szigetelni a felszabaduló sztiroltól epoxi-műgyantával és üveg-kompozit réteggel. A jó felületi minőségű végtermék készítéséhez az ősmintát fényeztük és políroztuk.

A negatív forma-szerszámot az ősmintára laminálva készítettük el. A használható szerszám készítéséhez az osztósíkok helyének pontos, alámetszés-mentes meghatározására is szükség volt annak érdekében, hogy mind az ősmintát, mind a járműtestet ki lehessen venni belőle (7. ábra). Ezek helyét a 3D modell alapján határoztuk meg. A szerszámokhoz epoxi-szerszámgejt és epoxigyantát használtunk, ami egy epoxi-mátrixú, üvegszál erősítésű kompozit műanyag. Külön figyelmet érdemelt, hogy az anyagoknak és a szerszámnak a gyártás során 100 °C feletti hőterhelést kellett alaktartóan elviselni [10], [11] (7. ábra).

A harmadik lépésben készülő karosszériánál (8. ábra) a méhsejt pontos behelyezése egy ilyen bonyolult felületű szerszámba nem valósítható meg hagyományos módszerekkel. Ezért ennek technikáját (az esztétikai szempontokat is figyelembe véve) úgy dolgoztuk ki, hogy a külső, már térhálósodott szén-kompozit rétegen leválasztó fóliával aprólékosan kikapartuk azokat a területeket, ahol végül nem kell méhsejt réteg.

A felületre a megfelelő tapadás érdekében egy vékony csatoló réteget lamináltunk, melyre a szükségesnél nagyobb méhsejtet vákuumoztunk. A térhálósodás után a leválasztó fóliával kitakart felületekről a méhsejt egyszerűen eltávolítható volt. Ezután egyirányú szénszöveteket, illetve a szendvicsszerkezet záró szénszövet rétegét helyeztük az eddig a szerszámban előkészítettek a rétegrendnek megfelelően, majd ismét levákuumoztuk. A karosszéria teherhordó eleme két fő részből áll, így szükség volt megfelelő tulajdonságú szerkezeti ragasztót felkutatni és a hozzá tartozó alkalmazástechnikát kidolgozni. Így végül az egyes technológiai lépések minősége ellenőrizhetőbb lett [10], [11].



7. ábra. Az osztósíkok, Nomex méhsejt



8. ábra. MegaLux részlet

Összefoglalás

Az elkészült jármű minősége minden tekintetben túlmutatott az évek óta hasonló járműveket építő versenytársak által épített járműveken, amiért a versenytársak számos elismerésben részesítettek bennünket. A jármű kerekei és a futóműalkatrészek is kompozit műanyagból készültek, melyeket hasonló tervezési és gyártási folyamattal állítottunk elő. Az érintett munkáink mellett a csapat által egyedileg tervezett és gyártott töltésvezérlő rendszer, egyedi telemetria és központi járművezérlő is elkészült, ami egy 18, egymással CAN-busz hálózaton kapcsolatot tartó számítógépes hálózati rendszer. A csapat kitartó munkája és segítőink, támogatók összefogása meghozta gyümölcsét, kijutottunk a World Solar Challenge 2015-ös ausztrál versenyre.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk mindenkinek, aki pénzügyileg, műszakilag, gyártással, eszköz-beszerzéssel, ügyintézással, de akár csak jó szóval is támogatta a magyar felsőoktatás jelenlétét ezen a – világ vezető egyetemait felsorakoztató – nemzetközi versenyen.

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Bagány Mihály: *Műszaki áramlás* KF GAMFK jegyzet, Kecskemét, 2009.
- [2] <http://www.bom.gov.au/> 2015.04.09
- [3] Fodor Antal - Boza Pál: Csőszerű bepattanó kötések vizsgálata végeelemes módszer alkalmazásával *GAMF közleményei 2009 XXIII.* Kecskemét 2009 pp. 49.
- [4] Fodor A.: Reverse Engineering a numerikus áramlás-szimuláció szolgálatában. Kecskeméti Főiskola, Factory Automation (konferencia kiadvány) 2010.
- [5] V.Raja, K.J.Fernandes, *Reverse Engineering*. Springer Verlag, 2008., ISBN 978-1-84628-855-5
- [6] Kodácsy János, Fodor Antal, A Reverse Engineering ipari alkalmazásának lehetőségei *Gépgyártás XLVIII.* évfolyam 2008/3. pp.100.
- [7] Erdogan Madenci, Ibrahim Guven.: *The finite element method and applications in engineering using ANSYS®* The University of Arizona Springer ISBN-10: 0-387-28289-0
- [8] López Pérez, David, Estudio de la eficiencia y comportamiento de un prototipo para la shell eco-marathon, Pages 50-105.
- [9] William F. Milliken, Douglas L. Milliken, Race Car Vehicle Dynamics
- [10] Santin, J. J.: *The world's most fuel efficient vehicle*. VDF Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, 2007.
- [11] <http://www.grm-systems.cz/en/carbon-reinforcements> 2014.09.10.

FÁRASZTÓVIZSGÁLATOK POLIMER PRÓBATESTEK ISMÉTLŐ IGÉNYBEVÉTELÉNEK VIZSGÁLATÁHOZ

Antal Fodor¹, Dr. Pal Boza²

*Kecskemét College Faculty of GAMF, Vehicle Technology Department, Kecskemét Izsáki út
Magyarország*

Kulcsszavak:

Rapid Prototyping,
Kifáradás vizsgálat,
Műszaki műanyagok)

Keywords:

Rapid Prototyping,
Fatigue Analysis,
Technical Plastics

Cikk történet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A „műszaki műanyagok” felhasználása az utóbbi időben felgyorsult. Ennek megfelelően egyre gyakrabban terveznek műanyagokból is olyan alkatrészeket amelyeknek, szélsőséges igénybevételnek is meg kell felelni. Az anyagtulajdonságok pontos meghatározása nagyon költséges eljárás, ennek ellenére a tervezés minden fázisában a pontos definiálására szükségünk van. Az ipar minden területén fontos, hogy egzakt anyagjellemzőkkel dolgozzanak a tervezők, különösen olyan területeken, ahol szigorú biztonsági előírások (élettel kapcsolatos) vannak előírva! Ebben a munkában a polimer próbatestek ismétlődő igénybevételére alkalmas fárasztó vizsgálatok tervezését mutatjuk be, amellyel meghatározhatóak a különböző Gyors Prototípus gyártási eljárások változatos anyagainak kifáradási tulajdonságai. Fontos lehet ez az információ a katonai eszközökben tönkrement alkatrészek gyors, megbízható cseréje kapcsán is! Ezért a fárasztóvizsgálatok tervezését úgy végeztük el, hogy a hadi,- és biztonságtechnológiai fejlesztésekben, felújítási technológiák kidolgozásában segítséget nyújtson a tervezőknek.

Abstract

The using of „technical materials” speeded up lately. Because of this, parts are being designed from plastic, which have to sustain extreme stresses. The proper definition of material qualities is expensive; despite in every phase of designing, we need it to be done perfectly. In every industrial section it is important to work with exact material qualities, especially areas where there are strict safety rules (in connection with the lifespan). In this work we will introduce how to design suitable fatigue stress for the plastic samples and how to define the fatigue qualities of the various materials of Rapid Prototyping. This information could be important to change damaged equipments and parts in the military. Due to this, we performed the design of fatigue tests to help the designers elaborate military, safety improvements and proper renewing technologies.

1 Fodor Antal Tel.: +36 76 516 300; fax: +36 76 5163 99
E-mail cím: fodor.antal@gamf.kefo.hu
2 Dr. Boza Pál Tel.: +36 76 516 300; fax: +36 76 5163 99
E-mail cím: boza.pal@gamf.kefo.hu

1. Bevezetés

Napjainkban a műanyagok térhódítása igen jelentős, miközben a műanyagok anyagjellemzőiről kevesebbet tudunk, mint a fémek tulajdonságairól. Természetesen a műszaki műanyagok is rendelkeznek szilárdsági mutatókkal, ilyen például a szakítószilárdság, nyúlás, vagy a Young modulus, viszont egy ciklikus igénybevétellel szemben mutatott ellenállását nem ismerjük olyan széles körben. [1] A Gyors prototípus eljárásokkal készített műanyagok kifáradási tulajdonságai viszont egyáltalán nem kerültek meghatározásra. A vizsgálatok megtervezését anyagi megfontolásból fröccsöntött műszaki műanyagból készített szabványos, szakító próbatestekkel végeztük. Az itt szerzett tapasztalatokat fogjuk a későbbiekben átültetni a tényleges Gyors prototípus gyártási eljárásokkal készült azonos méretű próbatestek vizsgálatának elkészítéséhez.

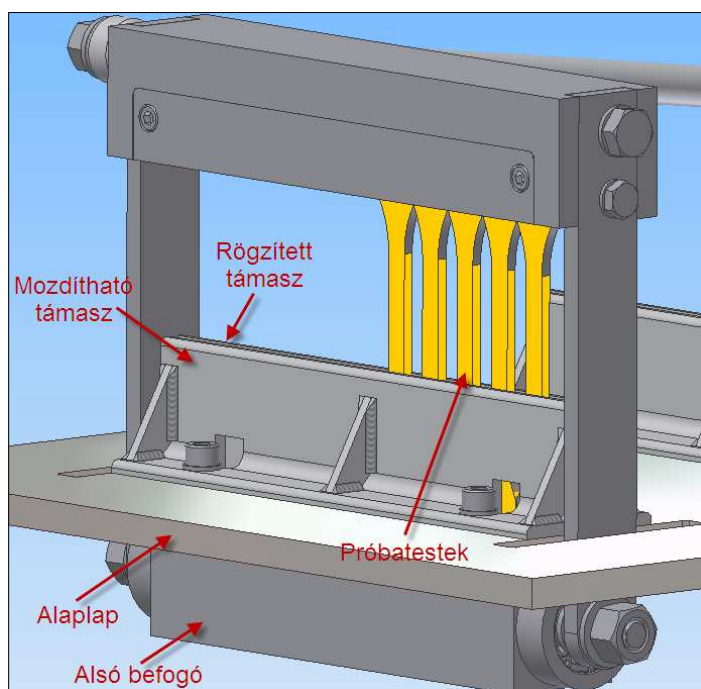
2. A FÁRASZTÓVIZSGÁLAT TERVEZÉSI FOLYAMATA

A kifáradásra való méretezés alapja a fárasztóvizsgálatok segítségével megállapított kifáradási határ. A szabvány minimum négy próbatestet ír elő, ám a mértékadó meghatározásához sokszor 80 - 100 darabos kísérletsorozat is szükséges. Az irodalomban gyakran a kifáradási határ és a rövid idejű terhelés esetén mért szilárdsági értékek hányadosát adják meg, de a polimerek tönkremeneteléről átfogó mérésekkel alátámasztott módszer a fémekkel ellentétben nincs kidolgozva. Elsősorban gyártó cégek saját anyagaira érvényes javaslatokat adnak meg.

A polimerekkel kapcsolatos kutatásoknál elengedhetetlen korszerű, gyors és megbízható anyagjellemzőket meghatározó berendezések és technikák alkalmazása.

A polimerek viselkedése fárasztó igénybevétel hatására jelentős mértékben eltér a fémektől. A vizsgálatok, vagy a terhelések során az acélok rugalmassági modulusa időben nem változik, abban az esetben, ha a Hooke-féle rugalmassági tartományon belül marad. A fémek csillapítása kisebb, mint a polimereké, ezért nagyszámú igénybevétel esetén sem nő jelentősen a próbatest hőmérséklete.

A fémeknél, a rugalmassági modulus és a feszültségváltozás amplitúdója a melegedésből kifolyóan a vizsgálat alatt nem, vagy alig változik. A műanyagoknak nagy belső csillapításuk mellett rossz a hővezető képességük, így a fárasztó igénybevételnek kitett próbatestek már 10 Hz-nél kisebb frekvencián is felmelegedhetnek, ebből kifolyólag a modulusuk csökken. [1]

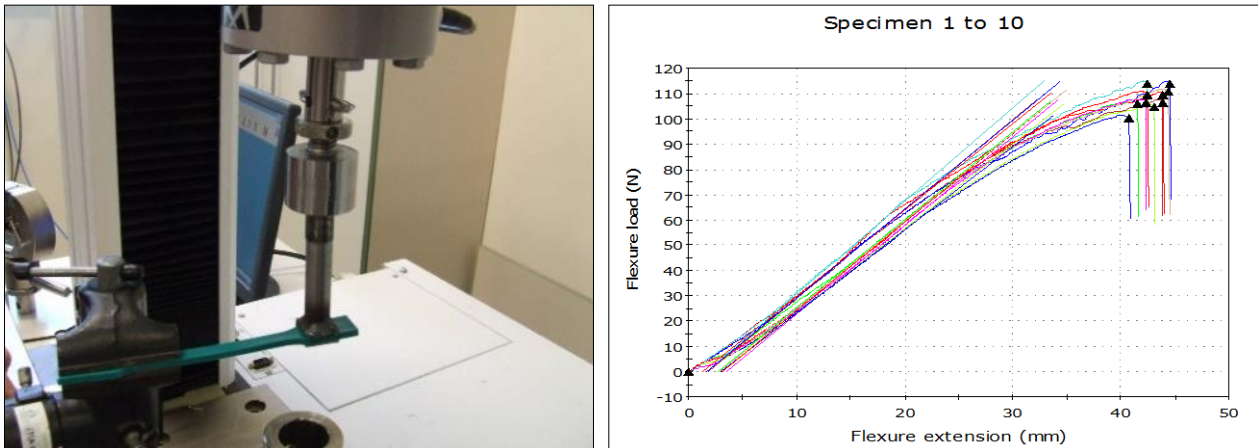


1. ábra. A fárasztó próbatestek befogására alkalmas készülék

A kifáradási határ meghatározásához olyan hajlító-fárasztó berendezést terveztünk és gyártottunk, amelyben 40 db. próbatestet tudunk vizsgálni egy időben.

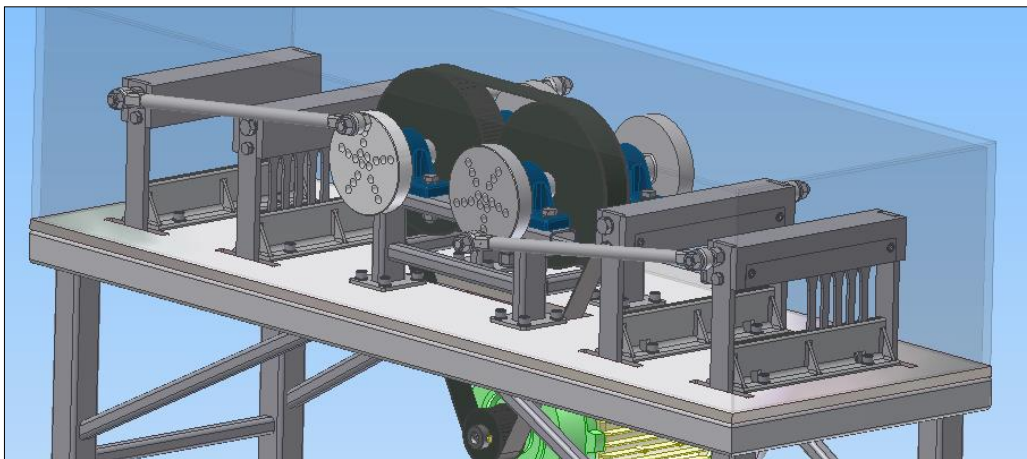
Ebben a próbatest – hossz tengelyére merőleges tengely körül – hajlítást szenved, úgy, hogy a nyomtérk síkja a próbatest hossz tengelyét magában foglalja. A próbatestet a nyomtérk egy, - vagy mindkét végén befogva terheli. Az általunk korábban tervezett és elkészített kényszermozgású, csak hajlító igénybevételel kifejtő fárasztógép elrendezését mutatja az 1. ábra. [2]

A kísérlet sorozathoz kb.: 55 – 60 db próbatestre van szükség. Első lépésben a vizsgálat terhelés szintjét célszerű meghatározni. Ehhez 5 - 10 próbatestet a hajlítási hossz figyelembe vételével Instron 3366 szakító berendezésen törésig terheljük (2. ábra)



2. ábra. Hajlító vizsgálat és eredménye PA3WG6 polimer esetén

A 2. ábra mutatja, hogy a darabok kb.: 40 mm-es lehajlásnál törtek el megközelítőleg 105 N terhelésszinten. Ez alapján került meghatározásra a fárasztó vizsgálat feszültség szintje, amit így, az előzetes konzultációk, és az irodalom kutatásaink, szerint 50%-ra, azaz 20 mm-es hajlítási amplitúdóra választottunk. Ezt, a közlőtengelyekre helyezett körhagycs tárcsákon tudunk beállítani (3. ábra). [1][2]



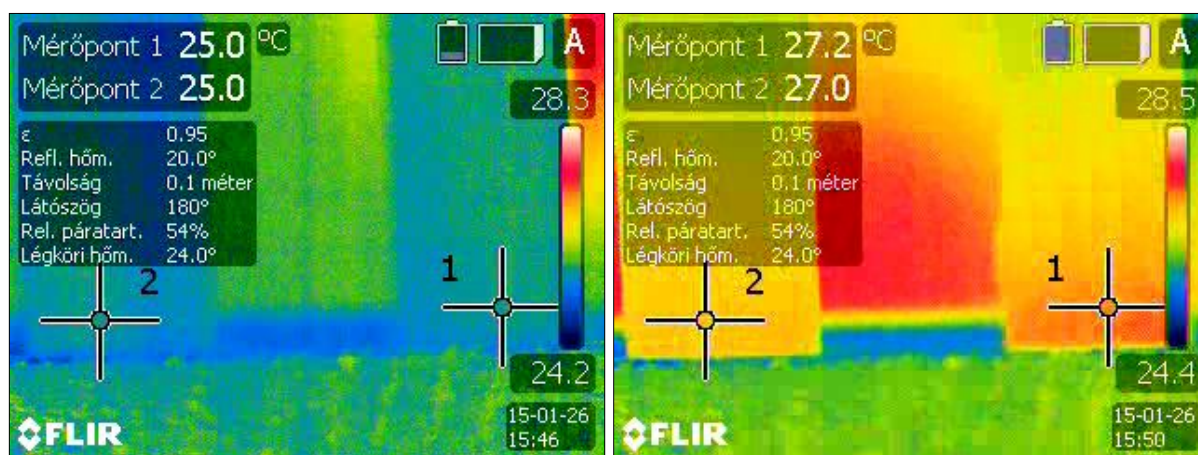
3. ábra. A hajlító-fárasztó berendezés felépítése

A vizsgálati frekvenciát önkényesen 2,5 Hz-re vettük. A befogó fejekbe elhelyeztük a négyszer tíz darab próbatestet. A fárasztást szobahőmérsékleten, négy fázisban végeztük el. Az első fázisban 1.000, a másodikban 10.000, a harmadikban 100.000, és a negyedikben 1.000.000 ciklussal terheljük a próbatesteket. [3]

3. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A teljes vizsgálat több mint hét napig tartott. Az egyes ciklusok után a berendezés a beépített ciklus-számlálójának segítségével megállt. Ekkor ki tudtuk venni az egyes ciklusokban terhelt vizsgálati darabokat.

Az első fázisban vizsgáltuk a darabok belső csillapításából, és a rossz hővezetéséből adódó felmelegedését is, az FLIR T360 infrakamerával (4. ábra).



4. ábra. A hőmérséklet a hajlítási pontban

A hőmérséklet kb.: négy perc után stabilizálódott körülbelül 2 °C hőmérséklet emelkedésénél. Az eltelt időhöz tartozó ciklusszámot a vizsgálati frekvencia ismeretében számolhatjuk. Ez szerint, kb.: 600 ciklus után kiegyenlítődik a hőmérséklet a hajlítási pontban.

1. táblázat A fárasztóvizsgálat eredményei.

Terhelési ciklus szám	Tensile extension at Break (Standard)	Load at Break (Standard)
	(mm)	(N)
0	5,3	3508,48
1.000	5,28	3377,83
10.000	4,66	3310,18
100.000	4,35	3289,88
1.000.000	2,67	2382,33

A teljes vizsgálati sorozat elvégzése után a terheletlen, és az egyes fárasztó ciklusokhoz tartozó terhelés szintek szerint, szintén szobahőmérsékleten az Instron 3366 szakítógépen tönkremenetelig terheltük. Az 1. táblázat első oszlopában a fárasztási ciklusszámokat, a másodikban a szakadási nyúlásokat, a harmadikban a tönkremeneteli terheléseket tüntettük fel.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Polimereknél a fémes anyagokhoz hasonló kifáradási határ nem állapítható meg. A vizsgálatokat általában 10^7 ciklusszámig szokták végezni, és az ehhez, vagy más terhelési ciklusszámhoz, adott vizsgálati frekvenciához, környezeti hőmérséklethez, nedvességtartalomhoz és törési valószínűséghez tartozó igénybevételi számot adnak meg kifáradási határként. Az

irodalomban gyakran a kifáradási határ és a rövid idejű terhelés esetén mért szilárdsági értékek hányadosát adják meg, de a polimerek tönkremeneteléről átfogó mérésekkel alátámasztott módszer a fémekkel ellentétben nincs kidolgozva. [1][4] Elsősorban gyártó cégek saját anyagaira érvényes javaslatokat adnak meg.

Az előbbieket és a kutatáshoz rendelkezésre álló idő alapján, a fárasztóvizsgálat kidolgozásánál a kísérletterv ebben a fázisában gazdaságossági megfontolásból a vizsgálatokat PA3WG6 műszaki műanyag próbatestekkel végeztük. A kifáradási határ tendenciájának meghatározásakor a szokványostól eltérő módon, nem az egyes terhelés szinteken a tönkremenetelig végeztük a vizsgálatokat, hanem a kiválasztott terhelés szinten az egyes ciklusszámok után szakítóvizsgálatokat végeztünk a darabokon.

A kutatás során szerzett tapasztalataink alapján a következő következtetéseket hoztuk.

Az előzetesen kiválasztott terhelésszint (amplitudo), túl magasnak bizonyult, ugyanis a legnagyobb ciklus számnál a darabok 90%-a eltört, miközben a teljesen tönkre nem ment darab terhelésszintje nem csökkent látványosan. A jelenség magyarázata, hogy a meglévő PA3WG6 anyagú próbatest 30% üvegszál töltésű ezért a benne lévő szálanyag tartalom tönkremeneteli határa határozta meg a maximális szakítási erőt. A szakadási nyúlás viszont jelentősen csökkent. Ennek oka lehet az „ágyazó” ABS alapanyag kifáradása.

A választott próbatest anyaga Gyors prototípusgyártással létrehozott anyagok tulajdonságaitól jelentősen eltér. Ennek alapján kijelenthető, hogy ez nem volt szerencsés választás. Így a kísérletterv második szakaszában, egy jelentősen alacsonyabb terhelésszinten, száltöltés nélküli műszaki műanyag próbatesttel fogjuk megismételni a teljes vizsgálat sorozatot. Azonban a vizsgálati eljárás kidolgozásának helyes irányát jól szemlélteti, hogy az egyes terhelésszintek hatására folyamatosan csökkenő tendenciát mutat a tönkremeneteli határ.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a Varinex Zrt-nek, illetve Falk Györgynek a prototípus próbatestek biztosításáért a kísérletekhez, Dr. Belina Károlynak a sok személyes konzultációért, és Hansághy Pál tanszéki mérnök segítségéért a szakítóvizsgálatok elvégzésében.

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] M.De Monte, E.Moosbrugger, K. Jaschek, M. Quaresimin: MultiaxialFatigue of a shortglassfibrereinforcedpolyamide 6.6 – Fatigue and fracturebehaviour, International Journal of Fatigue 32. (2010) pp.: 17-28
- [2] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, Development of endurance testing machine for the investigation of repeating use of polymer specimen, AGTEDU 2010 pp.: 243-249
- [3] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, Examination of snap joints using finite element method AGTEDU 2009, pp.: 287-291
- [4] Antal Fodor, Dr. Pal Boza, The examination of non-linear behaviour of pieces used in extreme circumstances in condition of time using finite element method OGÉT 2009, pp.: 68-73

ORIGINÁL ÉS RECIKLÁLT PET KEVERÉKEK TULAJDONSÁGAINAK TANULMÁNYOZÁSA

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF ORIGINAL AND RECYCLED PET RAW MATERIAL

Bata Attila*, Tóth Gergely, Ádámné Major Andrea, Nagy Dorottya, Dugár Tamás, Dugár Zsolt

Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

PET,
reológia,
viszkozitás,
újrahasznosítás
reciklált PET

Keywords:

PET,
rheology,
viscosity,
recycling
recycling PET

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A tömegműanyagok közül a PET felhasználás tekinthető az egyik legnagyobbaknak. Ennek az anyagnak a visszagyűjtése részben megoldott, így nagy mennyiségben áll rendelkezésre PET darálék. A regranulálás során molekula szerkezeti változások következnek be, amelyek vizsgálata reológiai, termoanalitikai mérésekkel lehetséges.

Abstract

Among plastic materials PET is used one of the most often. The collection of the material to be recycled is partially solved. This way we have great quantity of reground PET. During regrinding the structure of molecules changes, and these properties can be measured by rheology and thermal analysis methods.

1. Bevezetés

Napjainkban a PET (Polietilén-tereftalát) az egyik legelterjedtebb műanyag, ismertségét széleskörű, nagymennyiségű felhasználása okozza. A szénsavas, szénsavmentes ásványvíz illetve üdítő palackok jelentős része ebből az alapanyagból készül. A PET palackokat bizonyos helyeken már újrahasznosított PET felhasználásával állítják elő. Ebben az esetben körülbelül 10-25% reciklált PET-et alkalmaznak. A cél az, hogy ezt az újrahasznosított mennyiséget növeljék, ezzel visszaforgatva a felhasznált anyagot új palackok, termékek gyártásába. Ez a fejlesztési út, alaposabb és kidolgozottabb technológiákat igényel, hiszen nem egyszerű megállapítani az egyszer használt palackról, hogy mit tároltak benne, mennyire volt szennyezett az első felhasználás során [1]. A PET mechanikai tulajdonságai kiemelkedőek. Magas az ütésállósága, jól formázható, mérsékelten ellenáll a zsíroknak, olajoknak. Az UV sugárzás ellen bevonatokkal teljesen rezisztensé lehet tenni, bevonatolás nélkül viszont tartós sugárzás hatására besárgul. A PET +90°C-felett deformálódik, az ára a jelenlegi piaci állás szerint magas. Higroszkopikus hőre lágyuló polimer, ezért nagy jelentősége van a szárításnak, hiszen ez hatással van az anyag reológiai tulajdonságaira, a későbbi feldolgozás során pedig a termék jellemzőire [2]. A maradék nedvességtartalom hidrolitikus degradációt okoz az anyagban, ezért minél nagyobb a nedvességtartalom annál jelentősebb ez a hatás, ezért fontos az alapanyag szárítása.

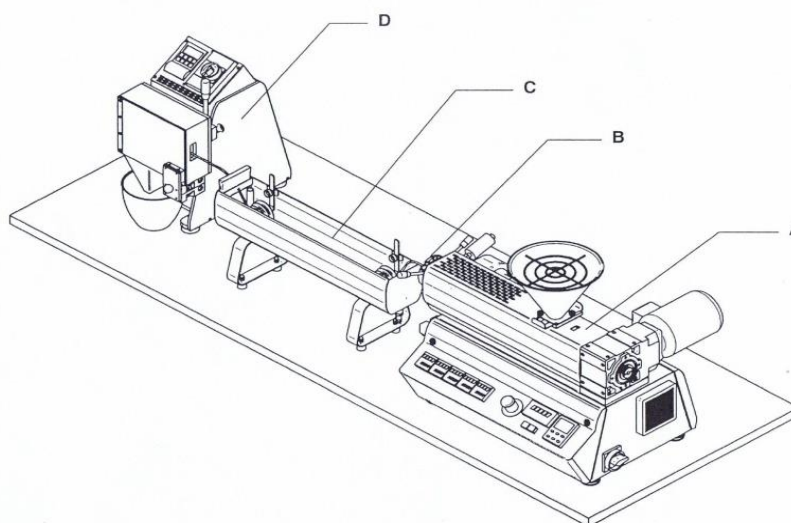
* Kapcsolattartó szerző. e-mail cím: bata.attila@gamf.kefo.hu

A cikk témája PET daralék visszadolgozhatósági vizsgálata különböző keverési arányokban, illetve egyes méréseknél 100% - ban reciklált PET alapanyagot is vizsgáltunk. A méréseink mechanikai tulajdonságok vizsgálatára, illetve termoanalitikai mérésekre vonatkoznak.

2. Kísérleti rész

2.1. Alapanyag, keverékek előállításához használt berendezések

A vizsgálatainkhoz a Neogroup, által forgalmazott NEOPET 80 típusú, PET alapanyagot használtuk fel [3]. Az extrudálást a Collin Teach-Line E20T egycsigás extrúderrel végeztük el (1. ábra). Az egységnek független meghajtása és hőmérséklet szabályozása van, mindezek a keverés hatékonyságát segítik elő. A szemek méretét próbáltuk az originált alapanyaggal megegyező méretűre beállítani különböző technológiai paraméterek változtatásával, ezzel gondolván a megfelelő felület – térfogat arányra, ami fröccsöntésnél befolyásolhatja a keverékek feldolgozását.



1. ábra. Collin Teach-Line E20T egycsigás extrúder granuláló sorral

A szabványos próbatetek fröccsöntését egy ENGEL e –mac 310/100 típusú fröccsöntő gépen végeztük el (2. ábra). A gép teljesen elektromechanikus működtetésű, ezért precíz mechanikájának, illetve vezérlésének köszönhetően kiválóan sikerült reprodukálni a próbateteket.



2. ábra. ENGEL e –mac 310/100 típusú fröccsöntőgép

2.2. Vizsgálati módszerek, eljárások

Az alapanyag, amit vizsgáltunk szennyeződésektől mentes új anyag, illetve annak reciklált anyagát használtuk fel 10 és 20% - os keverési arányban. Külön-külön fröccsöntöttünk próbatesteket az alapanyagokból, majd a kész darabokon mechanikai, illetve termoanalitikai vizsgálatokat végeztünk el. Az anyagvizsgálatokat az Instron 3366-os típusú univerzális kétoszlopos elektromechanikus vizsgálórendszerrel végeztük [4]. Az ütvehajlító vizsgálat egy kiépített mérő állomáson, Charpy Impactor II. műszerezett ütőmű segítségével történt [5]. A termikus jellemzőket TA Q200 DSC berendezéssel határoztuk meg [6].

3. Eredmények

3.1. Szakítóvizsgálat

Az originált alapanyagon, illetve a három keveréken a húzóvizsgálatot szobahőmérsékleten végeztük el. A mért görbékből meghatároztuk a rugalmassági moduluszt (1. táblázat).

1. Táblázat. Húzó rugalmassági modulus

Anyag	Rugalmassági modulus [MPa]	Szórás
PET originált	1769	69.8
PET 10% reciklált	1751	23.8
PET 20% reciklált	1742	37.4
PET 100% reciklált	1572	141,1

A kapott értékek alapján megállapítható, hogy a három keverék között minimális, szinte elhanyagolható a rugalmassági modulus értékének különbsége, viszont a 100%-ban reciklált anyag modulus értéke 13%-os változást mutat az originál anyaghoz képest. Az alapanyagok merevsége közel egyformának tekinthető.

A keverékek, illetve az originált alapanyag nyakképződési feszültségét a 2. táblázatban mutatjuk be.

2. Táblázat. Nyakképződési feszültség

Anyag	Nyakképződési feszültség [MPa]	Szórás
PET originált	60.8	0.252
PET 10% reciklált	57.35	0.371
PET 20% reciklált	57.57	0.371
PET 100% reciklált	60.6	0.849

A méréseink alapján meghatározható hogy a nyakképződési feszültséget jelentős mértékben nem befolyásolta egyik keverék sem, viszont az originál anyagnak van a legnagyobb feszültségi értéke. Ezért valószínűsíthetően az originál anyag lesz a legridegebb. A nyakképződési feszültség értékéhez tartozó nyúlás minél kisebb, az anyag annál ridegebb. A reciklált anyagból készített keverékek szórás mértéke nagyobb, mint a már korábban előállított granulátumból gyártott próbatesteké. A 100% - ban reciklált anyag szórása kicsivel több mint a háromszorosára nőtt. Ez a reciklált anyag moltömegeloszlására utalhat. A töredezett molekulaláncok miatt a szórás is nagymértékben nő. A rugalmassági modulusz illetve a nyakképződési feszültség értékei viszonylag jól meghatározhatóak voltak.

3.2. Ütővizsgálat

Minden egyes keveréknek meghatároztuk a fajlagos ütőmunkáját, melyeket ezáltal össze tudtuk hasonlítani (3. táblázat). A mérés során a hornyolatlan próbatestet hárompontos hajlításnak megfelelő elrendezésben a két végén megtámasztjuk, majd elütjük.

3. Táblázat. Fajlagos ütőmunka

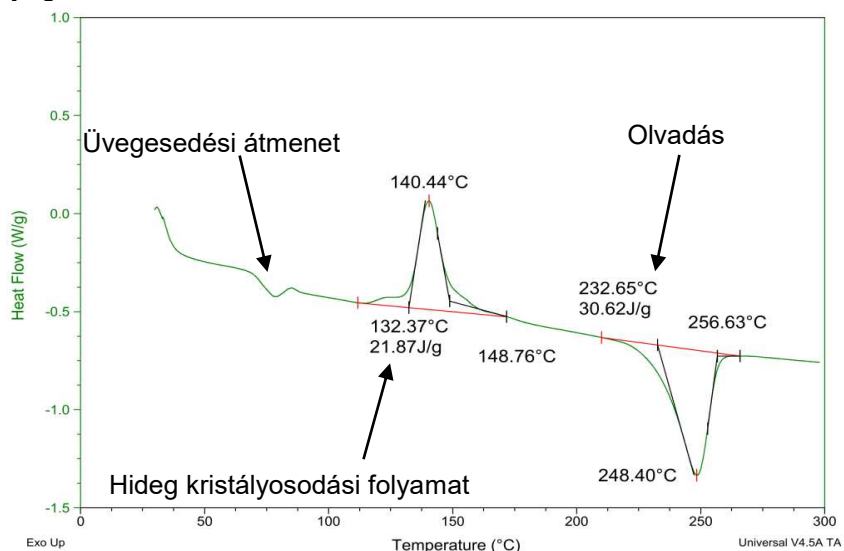
Anyag	Fajlagos ütőmunka [kJ/m ²]	Szórás
PET originált	182,1	13,2
PET 10% reciklált	367,1	18,2
PET 20% reciklált	310,8	7,7
PET 100% reciklált	122,2	10,5

Az ütőmunka eredményei szignifikáns különbséget mutatnak. A 10, illetve 20 % - ban kevert PET alapanyagok jóval nagyobb fajlagos ütőmunkával rendelkeznek, mint az originál, illetve 100% - ban reciklált PET anyagok. Ez azt jelenti, hogy a 10, és 20% - os keverék sokkal szívósabb, míg a keveretlen anyagok jóval ridegebb viselkedést mutatnak. Elméletben az originál anyagnak kellene a legnagyobb ütőmunkával rendelkeznie. Valószínűsíthető, hogy a részben kristályos, illetve amorf részek aránya befolyásolta a mérési eredményeinket.

3.3. DSC vizsgálat

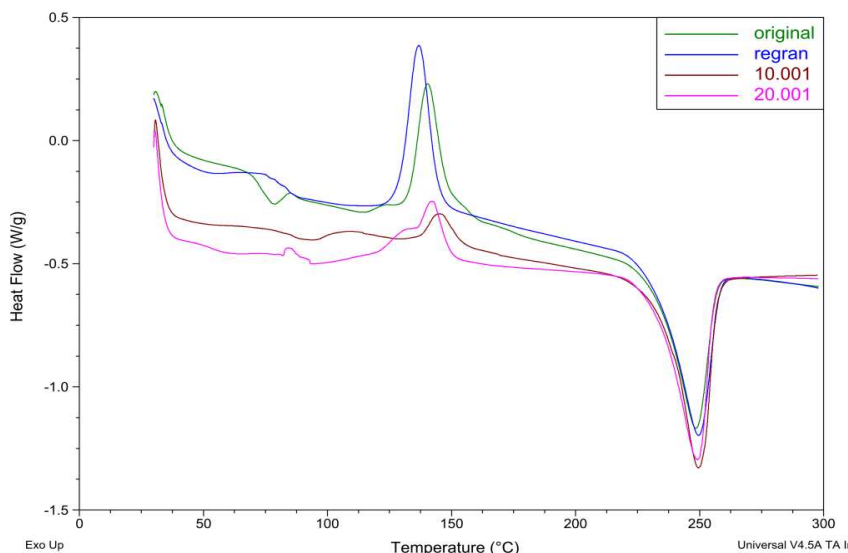
A Differential Scanning Calorimetry (DSC) segítségével a termikus átalakulásokhoz társuló hőáramlások mérhetőek. A pásztázó kaloriméterek ideális eszközei a különböző anyagokban lejátszódó, hőeffektussal járó folyamatok gyors vizsgálatára. A mérés elvégzéséhez a mintákat, a Charpy ütővizsgálat során elütött minták töretfelületéről vettük. Mivel az első felfűtést vizsgáljuk, ezért csak a termikus előéletről, azaz a feldolgozás körülményeiről kapunk információt. A DSC mérés során alkalmazott program egy fűtési metódusból állt, ahol a felfűtési sebesség 20 °C/min nitrogén gáz közegben történt [7].

Az originál alapanyag első felfűtését, és annak értelmezését az 3. ábrán szemléltetjük.



3. ábra. Originált alapanyag DSC görbéje

A görbe alapján információt kapunk az üvegesedési átmenetről, a kristályosodásról, illetve a kristályolvadási hőmérsékletről. A különböző keverékeknel, alapanyagoknál a TA Universal Analysis 200 program segítségével meghatároztuk az olvadáshőket. A hidegkristályosodás értékéből következtetni lehet az amorf részhányadra. A kristályolvadási hőmérséklet 1,5 °C – os tartományon belül maradt mind a négy minta esetében. A minták összesített DSC első felfűtése (4. ábra).



4. ábra. Összes első felfűtés összevonva

Az első felfűtések alapján jól látszódik, hogy a hidegkristályosodás során felszabaduló hő mértéke jelentősen eltér a 10, és 20 % - os keverékben, míg az originál és 100%- ban reciklált anyagnál közel azonos. A DSC mérés első felfűtéseinek hidegkristályosodási eredményei igazolhatják a fajlagos ütmunka értékének változását (4. táblázat).

4. Táblázat. Minták olvadáshője, hőmennyisége

Anyag	Hidegkristályosodás [J/g]	Kristályolvadás [J/g]
PET originált	21,87	30,62
PET 10% reciklált	4,73	38,78
PET 20% reciklált	13,72	34,9
PET 100% reciklált	21,69	33,72

A 10% - os keverékben a hidegkristályosodás során felszabaduló hőmennyiség 4,73 J/g, ami nagy valószínűséggel azt jelenti, hogy ennél a keveréknél lehetett a legnagyobb kristályos részhányad. A 20% - os keverék olvadáshője követte ezt 13,72 J/g – os értékkel, tehát feltehetően a 10 és 20%-os keveréknél volt a legnagyobb kristályos rész, amely a fajlagos ütmunkával arányban állhat. Mivel az amorf, és kristályos részeknek eltérőek a mechanikai tulajdonságai, így ezek hányadától függően eltérőek lehetnek a kapott ütmunka értékek. Feltehetően ezért mérhettünk jóval nagyobb ütmunkát e két keveréknél. Az originál, és 100% - os keverék esetében a hidegkristály kialakulása során felszabaduló hő mértéke jóval meghaladja a 10, és 20% - os keverékek értékét. Ebben az esetben az amorf részek hányada lehetett nagyobb, tehát ez a két keverék ridegebben viselkedett, mint a 10, és 20 % - os reciklált anyagok.

Ezeket az eredményeket nagyon sok változó befolyásolhatja. A legfontosabbak, amivel a kristályos, illetve amorf részhányadra kihathatunk technológia szempontjából, a hűtési sebesség (fröccsszerszám hőmérséklete), ömledékhőmérséklet. Természetesen ezeken kívül még számos technológiai paraméter befolyásolhatta az eredményeinket.

4. Összefoglalás

A mért eredményeink alapján kijelenthető, hogy a három keverék között minimális, szinte elhanyagolható a rugalmassági modulus eltérése, viszont a 100%-ban reciklált anyag modulus értéke 13%-os változást mutat az originál anyaghoz képest.

Az ütőmunka eredményei nagymértékű különbséget mutattak. A 10, illetve 20% - ban kevert PET alapanyagok jóval nagyobb fajlagos ütőmunkával rendelkeznek, mint az originál, illetve 100% – ban reciklált PET anyagok. Valószínűsíthető, hogy a részben kristályos, illetve amorf részek aránya befolyásolta a mérési eredményeinket.

A DSC mérésből meghatározott hidegkristályosodási adatok alátámasztják azt a megfigyelést, hogy a fajlagos ütőmunka csökkenő tendenciát mutat az amorf tartalom növekedésével. Ez alapján megállapítható, hogy a reciklált tartalom lényegesen befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat. Az anyagi összetétel mellett kiemeljük, hogy a próbatest készítés paraméterei is befolyással bírnak az anyagok viselkedésére. Ilyen például a hűtési sebesség (fröccsszerszám hőmérséklete), ömledékhőmérséklet, utónyomás stb.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a reciklált anyag visszakeverhető a folyamatba, azonban az ütésállóság változására nagy figyelmet kell fordítani.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni mindazoknak, akik segítették kutatásunk előre haladását. Köszönettel tartozunk a Deltaplást Kft munkatársainak a kutatómunkánk alatt nyújtott segítségért. A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Ronkay Ferenc: PET palackok anyagának fizikai újrahasznosítása 2006
- [2] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000
- [3] Neogroup Neopet 80 PET, <http://neogroup.eu/products/neopet-788082/>
- [4] Instron 3366 www.instron.com/hu
- [5] Charpy Impactor II. <http://www.instron.com/hu-hu/products/testing-systems/impact-systems/pendulums?region=Hungary>
- [6] TA Instruments Q200 <http://www.tainstruments.com/product.aspx?n=1&id=16>
- [7] Thermal Analysis of Plastics Theory and Practice, Ehrenstein, Gottfried W., Riedel, Gabriela, and Trawiel, Pia, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2004.

AZ AUTOMATIZÁLT MIG/MAG HEGESZTÉS VALÓS IDEJŰ MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

REAL TIME QUALITY ASSURANCE POTENTIALS IN AUTOMATED MIG/MAG WELDING PROCESSES

Kis Dávid^{**}, Weltsch Zoltán¹, Dugár Zsolt¹, Klam Kitti¹, Béres Gábor¹

¹ Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

Hegesztés felügyelet
Varratkövetés
Fénymetszet szenzor
Ívszenzor

Keywords:

Arc welding control
Seam tracking
Structured light vision sensor
Through the arc sensor

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 20.
Átdolgozva 2015. november 11.
Elfogadva 2015. november 15.

Összefoglalás

Az automatizált ívhegesztő eljárások során fellépő zavarjelenségek már a gyártás során észlelhető hibákat okoznak. A hegesztési hibák nagy része visszavezethető a programozott robotpálya és a valós varratvonal közti eltérésre, a helytelen fémátviteli módra és az ívhosszra. A hegesztett szerkezetek minőségének utólagos ellenőrzésére számos anyagvizsgálati módszer létezik. Ezek a módszerek nem váltják ki egymást, így számos vizsgálat szükséges, amelyek időigényessége lelassítja a termelést. Egy fejlett, valós idejű hegesztés felügyeleti rendszer képes a bemenő jelek alapján a hegesztési folyamat szabályozására. Cikkünkben bemutatjuk az automatizált ívhegesztés szabályozási lehetőségeit, és az érzékelő rendszereket.

Abstract

The noise phenomenon of automated arc welding processes can cause noticeable imperfections during the manufacturing. Most of these imperfections can be derived from the difference of the pre-programmed robot path and the actual joint, incorrect metal transfer or arc. Many post-welding material test method exist to ensure the quality of the joint. One test accompanies the other, thus many tests have to be executed for a correct conclusion. This takes time that can build up high costs for the companies. A real time arc welding system is able to control the welding process. In this article the control possibilities of automated arc welding and the sensing systems are presented.

1. Bevezetés

Cikkünkben az automatizált, azon belül a robotokkal végzett fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés minőségbiztosítási lehetőségeit mutatjuk be. A gépesített hegesztő berendezések között egyre nagyobb térhódítással bírnak a hegesztő robotok. Az ívhegesztő módszerek közül a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés a legelterjedtebben robotosított eljárás.

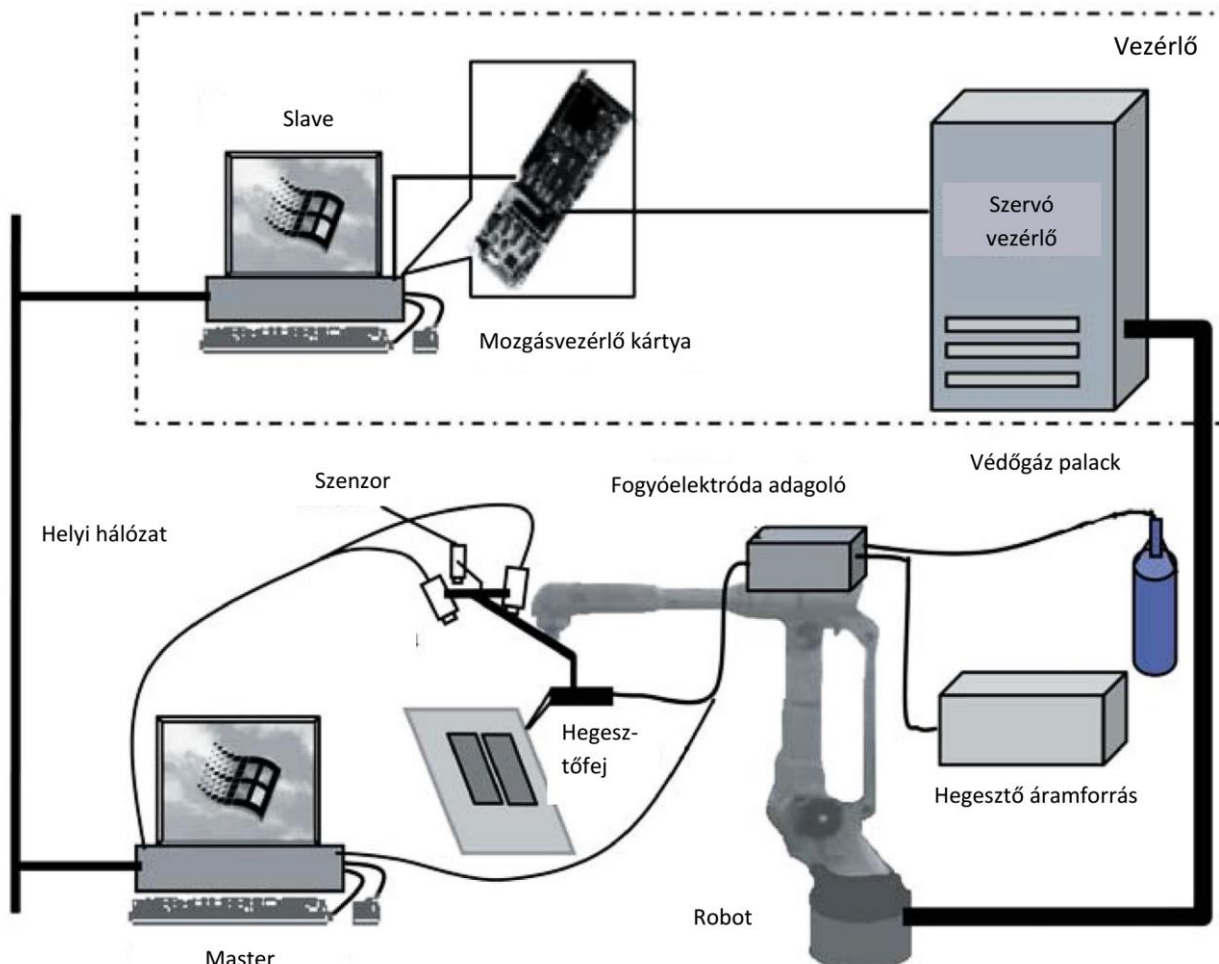
A legfejlettebb szenzoros vezérléssel ellátott robotok ma már a változó körülményekhez adaptálódó hegesztésre is alkalmasak, miközben az ilyen berendezések használatával a termelékenység is javul. Köztudott, hogy a selejtgyártás, a vevői reklamációk kivizsgálása és az esetleges termékviSSzahívások jelentős kieséseket okozhatnak a cégek bevételeiben. A hegesztés

* Kapcsolattartó szerző. e-mail cím: kis.david@gamf.kefo.hu

technológiában ezért kifejezetten nagy jelentősége van a minőségbiztosítási módszerek folyamatos korszerűsítésének. A XX. század végén dolgozták ki az első olyan hegesztés felügyeleti rendszerrel ellátott hegesztőrobotokat, amelyek alkalmasak voltak a hegesztés villamos paramétereinek rögzítésére. Az adatok alapján következtetni lehetett a kész varrat minőségére, és ez alapján módosíthatták a hegesztési folyamatot. A legújabb rendszerek feladata ma már nem kizárólag a megfigyelés, hanem a bemenő paraméterek alapján történő szabályozás is. A szabályozás kiterjedhet a robot mozgatásáért felelős rendszerre, a hegesztő áramforrásra és a huzaladagoló berendezésre. A hegesztés villamos paramétere mellett lehetséges még pl. a varratvályú geometria, az ívhossz, és az elektróda pozíciójának mérése is. A következőkben bemutatjuk a hegesztés minőségét befolyásoló fő paramétereket, illetve áttekintjük a különböző érzékelő rendszerek működését.

2. Az ívhegesztett kötés minőségét befolyásoló jelenségek

A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés során az ív az alapanyag és egy leolvadó elektróda között jön létre. A védőgáz fajtájától függően beszélhetünk semleges (MIG – metal inert gas welding) vagy aktív védőgázos (MAG – metal active gas welding) fogyóelektródás ívhegesztésről. A fő különbség, hogy az utóbbi eljárás védőgáza CO_2 és vagy O_2 formájában oxigént tartalmaz.



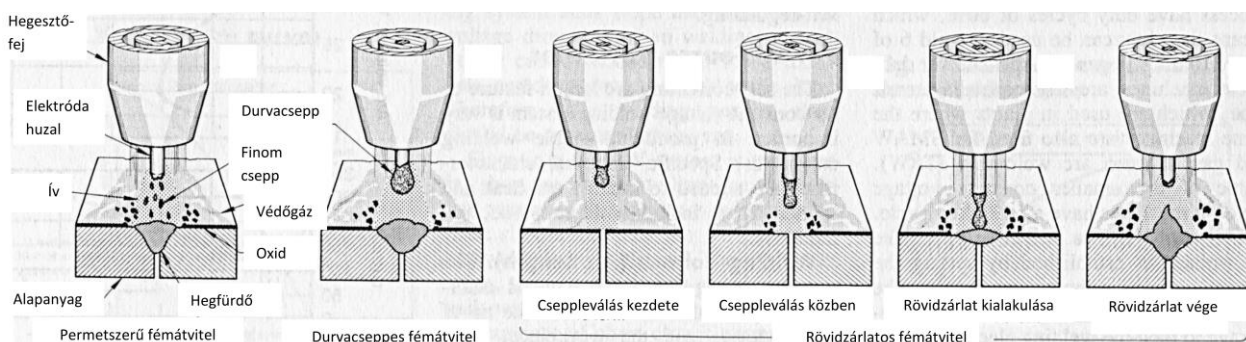
1. ábra Egy optikai varratkövető szenzorral ellátott fogyóelektródás ívhegesztő robot, és az azt kiszolgáló alrendszerek*

* [5] alapján saját fordítású ábra.

Az (1. ábra)-n egy optikai varratkövető rendszerrel ellátott aktív védőgázás fogyóelektródás ívhegesztő robot elvi elrendezését láthatjuk. A fogyóelektródás védőgázás ívhegesztés alapvetően félig gépesített eljárás, mivel a huzaladagolás automatikus, azonban a hegesztőpisztolyt kézzel mozgatják. A gépesített eljárásokban a hegesztőfej mozgatása is géppel vezérelt. Egy automatizált hegesztést végző robot mozgásának vezérlése önmagában nem elegendő egy hegesztési varrat elkészítéséhez. Szükséges az áramforrás, a huzalelőtoló rendszer és a gázellátás vezérlése is. Ha ezek összehangoltan működnek, esztétikus és szilárdságilag megfelelő varrat hozható létre. Ebben nyújthatnak segítséget a hegesztés felügyeleti rendszerek.

Ahhoz, hogy jobban megértsük, hogyan befolyásolhatók a hegesztési varrat tulajdonságai, meg kell ismerni, milyen módon jut a hozaganyag a hegfürdőbe. Fogyóelektródás hegesztéskor a beolvadó elektróda megolvadt cseppek formájában jut az ív talpában kialakuló olvadékfürdőbe. A fémátvitelt jellemzően befolyásolják a hegesztő áramerősség és ívfeszültség értékek, az anyagminőség, a védőgáz összetétele és az áramsűrűség (ezek kölcsönösen egymást is befolyásolhatják). A leggyakoribb fémátviteli módok lehetnek:

- permetszerű-,
- durvacseppes-,
- rövidzárlatos- és
- impulzusíves fémátvitel.



2. ábra Néhány fémátviteli forma ismertetése *

A permetszerű, a durvacseppes és a rövidzárlatos fémátvitelt ismerteti a (2.ábra). Permetszerű fémátvitel esetén az elektróda átmérőnél kisebb méretű cseppek egymást érve esnek a hegfürdőbe. Nagy leolvasztási teljesítmény mellett, semleges vagy közel semleges védőgázban alakul ki. Durvacseppes fémátvitelnél az előzőnél kisebb áramsűrűségű ívben jönnek létre a cseppek, melyek rövidzárlat nélkül az ívben szabadon repülve jutnak a hegfürdőbe a gravitációs vonzás hatására. Rövidzárlatos cseppátmenet során a cseppek villamos rövidzárlat közben jutnak át a hegfürdőbe. A huzalelektroda villamos ív által felhevített vége beleütközik a hegfürdőbe, ennek eredményeként rövidzárlat keletkezik. Az elektródavégen megnövekedett áramsűrűség cseppleválást eredményez, így a rövidzárlat megszűnik. Az elektróda újbóli közeledésével a cseppleválási ciklus előről kezdődik. Ez a cseppátmenet az eddigieknél alacsonyabb villamos teljesítmény mellett lép fel. Az impulzus ívű hegesztésnél a hegesztő berendezés szabályozott teljesítmény-impulzusokkal mesterségesen választja le a cseppeket a hegesztőhuzal végéről, mely irányított cseppátmenetet biztosít. Ezzel a fröcskölés gyakorlatilag kiküszöbölhető. Az impulzushegesztés bizonyos változataival a hegesztési hőbevitel csökkenthető.

A fogyóelektródás védőgázás ívhegesztő áramforrásokban beállítható karakterisztika görbén az ívhossz változásból adódó munkapont eltolódást szűk korlátok között kell tartani, hogy a varratképzésben ne jöjjenek létre zavarok. A keletkező zavarok kompenzálására az ívhosszat kell szabályozni. A MIG/MAG eljárásoknál ezt szolgálja az áramforrás úgynevezett belső szabályozása. Fogyóelektródás ívhegesztés esetén feszültségtartó jelleggörbéjű áramforrásokat alkalmaznak, ami biztosítja az elektróda leolvadási sebesség és a huzalelőtolási sebesség egyensúlya mellett a stabil ívet. A belső szabályozás során az ívhossz csökkenésekor, az

* [1] alapján saját fordítású ábra.

áramerősség megnő, ennek következtében nő a leolvadási teljesítmény. Állandó huzalelőtölési sebesség mellett a leolvadási sebesség nagyobb lesz, mint a huzalelőtölési sebesség, így az ívhossz az eredeti értékre nő vissza. Ezzel visszaáll az egyensúlyi állapot. A megfelelő minőségű varratok esetén az ívhossz stabilizálódás reakcióideje maximum 0,1 s [2]. Belső szabályozást többnyire a leolvadó elektródás, részben gépesített és gépesített, automatizált eljárások esetében alkalmaznak.

3. A robotosított ívhegesztő rendszerek felépítése

3.1. Az ívhegesztő robotok

Az iparban alkalmazott robotok nagy része nem rendelkezik ágens* képességekkel. Az ív dinamikai jelenségei, a nem megfelelő él-előkészítés, vagy a hőtágulás okozta vetemedés miatt azonban ágens robotok alkalmazása lehet szükséges a zavartalan hegesztés fenntartásához. Az ívhegesztő eljárások robotosításának térhódítását nagymértékben segíti elő az intelligens működésű robotok fejlődése [2]. A következő fejezetben néhány olyan érzékelő eljárást ismertetek, amelyek számottevően előfordulnak az intelligens ívhegesztő robotok szabályozásában.

3.2. A robotosított eljárások során alkalmazható szenzorok

A robotosított ívhegesztést szabályozó rendszerekkel szemben támasztott fő elvárásokat [3] foglalta össze az alábbi szempontok szerint:

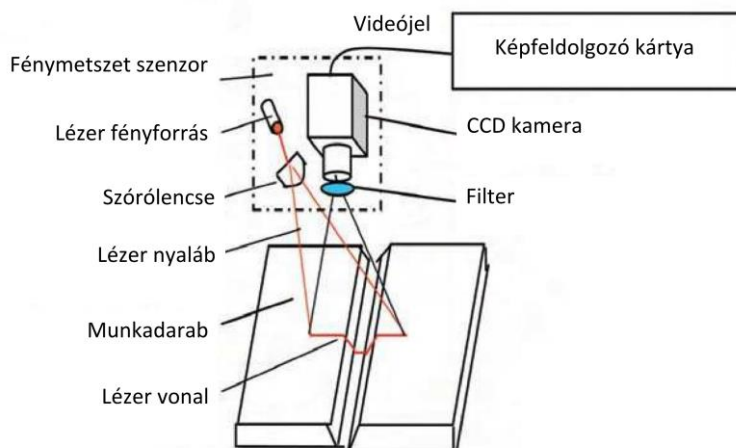
- Egy eszköz különböző varratgeometriákra is kompatibilis legyen.
- Ipari felhasználhatóság jellemezze.
- Az eszközök különböző hegesztő eljárásokban is alkalmazhatók legyenek.
- Valós idejű működés jellemezze.
- A hegesztési varrat képzéséről legyenek térbeli információk.
- Az eszközök mérete ne akadályozza a munkadarabhoz való hozzáférhetőséget.
- Az érzékelő rendszer ára legyen minél kedvezőbb.

Általánosságban elmondható, hogy a különböző alkalmazások más megoldásokat nyújtanak, így nincs olyan univerzális robot konfiguráció, ami minden hegesztéshez használható. Ebből kifolyólag, az előbb említett tulajdonságok keverten jelennek meg a különböző hegesztés felügyeleti eszközökben. Ezek közül a legfontosabbakat ismertetjük az alábbiakban.

Számos szerkezet hegesztésénél okoz problémát, hogy az on-line vagy off-line programozási módszerekkel létrehozott robot mozgáspályák eltérnek a valódi illesztések helyétől. A varrat nem megfelelő helyen jön létre, így a varratgeometria és a kötés minősége is alacsonyabb lesz a vártnál. Ezt eredményezhetik például az előgyártási pontatlanságok és a pontatlan készülékezés. Ez a probléma varratkereső szenzorok alkalmazásával kiküszöbölhető [2]. A pályagörbe szisztematikus eltérései legegyszerűbben mechanikus elven működő érintéssel érzékelőkkel mérhetők fel. A fogyóelektródás ívhegesztő robotoknál leggyakrabban mégis a kontakt elektromos szenzorokat alkalmazzák [2, 3]. Az egyszerűségüket jelzi, hogy ilyenkor az érzékelő szerepét az elektróda és a gázfúvóka is betöltheti. A hegesztő vályú véletlenszerű helyi változásait azonban nem lehet tapintós szenzorokkal megfelelően kezelni. Ilyen esetekben valós idejű varratkövető szenzorokat lehet alkalmazni [3].

Az optikai elven működő varratkövető szenzorok fényforrásai keskeny hullámhossz spektrumúak, így a megfelelő szűrők alkalmazásával zavarmentes képek hozhatók létre. Kompakt felépítésük és hosszú élettartamuk miatt a lézerdiodák a legmegfelelőbb fényforrások a feladatra [2]. Az alábbiakban ilyen optikai szenzorokat mutatunk be.

* Az általunk taglalt téma szempontjából ágens az lehet, ami emberi beavatkozás nélkül képes a környezetében végbemenő változásokat érzékelni, és azokra megfelelő mértékű beavatkozással reagálni [2].



3. ábra Egy fénymetszet eljárással működő szenzor felépítése *

A fénymetszet eljárás során egy fényforrás vonalat vetít a munkadarab felületére. A fénymetszet szenzorok gyakori felépítését mutatja be a (3. ábra). Ez alapján egy képfeldolgozó rendszer a kamera (vagy kamerák) és a fényforrás által bezárt szög ismeretében kirajzolja a varrat vályú valódi alakját [3]. Ezt a vezérlés a referencia értékkel összehasonlítja, és korigálja a robotpályát. A szenzort általában egy lézer fényforrás, egy sík szóró lencse és egy szűrővel ellátott kamera alkotja [4].

Számos egyéb geometriaérzékelő optikai szenzor kialakítására látunk még példát a szakirodalomban [2, 3]. Általánosan elmondható erről a szenzorcsaládról, hogy hegesztés előtti (off-line) varratkeresésre és hegesztés közbeni (on-line) varratkövetésre is alkalmasak. Azonban méretükből és a hegesztőfejen való elhelyezésükből adódóan gátolhatják a munkadarab hozzáférhetőségét. A kompakt méretek kialakítására folyamatos a gyártók törekvése [2]. Alkalmazási lehetőségük így mégis eset specifikus.

A következő érzékelő eljárások célja nem csak a robotkar mozgásának vezérlése lehet, hanem a folyamatszabályozás is.

A folyamatérzékelő optikai szenzor a hegfürdőt figyeli. A feldolgozott képen kiértékelhető a hegesztőhuzal helyzete az olvadékban, a huzal hossza és az olvadék szélessége. Ezen értékek felhasználhatók a hegesztési paraméterek vezérlésére. A képfeldolgozás sebességének hatékony növelése kritikus a hegesztés közben végzett folyamatszabályozásban [2].

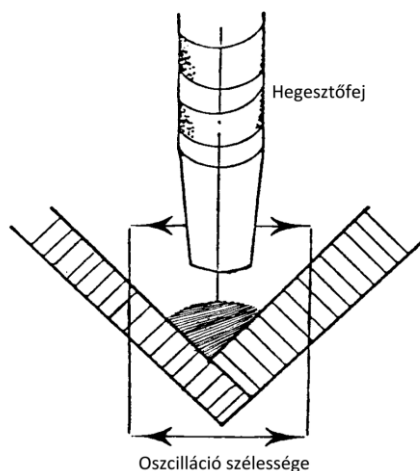
A leggyakoribb érintésmentesen érzékelő rendszerek az ívparaméterek változását használják visszacsatoló jelként. A lapos jellegű áramforrások belső szabályozásának köszönhetően a hegesztőáram fordítottan arányos az elektróda és a munkadarab közötti távolsággal. Az ezt felhasználó folyamatérzékelő, belső paramétereket mérő szenzorokat a szakirodalomban ívszenzorokként emlegetik [2]. Egyes ívszenzorok varratkövetési feladatokat látnak el, mások a hegesztési folyamatot szabályozzák. Közös jellemzőjük, hogy az érzékeléshez nincs szükség hegesztőfejre szerelt szenzorokra, így a munkadarabhoz való hozzáférés nem akadályozott. Az ívszenzorok csoportosításának egyik lehetséges módját [2] mutatja be az alapján, hogy a szabályozáshoz felhasznált jelet a természetes hegesztési folyamatból nyerik, vagy egy kiegészítő technológiai fogást alkalmaznak hozzá. Így megkülönböztetnek természetes és mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorokat.

A természetes érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok egyik példája a rövidzárlati frekvencia mérésen alapuló ívszenzor. Tulajdonképpen a rövidzárlati frekvencia és az optimális hegesztési sebesség kapcsolatát használják fel. A cél, hogy úgy szabályozzák a hegesztési sebességet, hogy a rövidzárlati frekvencia az optimális tartományban maradjon [2].

A mesterséges érzékelőjel-képzés alapján működő ívszenzorok működése során egy a hegesztési sebességre merőleges irányú lengetést hoznak létre. Az előzőek alapján a lengetésből adódó ívhossz változás szolgáltatja a jelet. Valójában ez csak olyan varratvályú geometria esetén lehetséges, ahol ez mérhető ívhossz változással is jár. A lengetés során a lehető legnagyobb

* [4] alapján saját fordítású ábra.

amplitúdóra kell törekedni, hogy minél nagyobb áramerősség-különbséget generáljunk. A lengetés frekvenciája pedig nem lehet akármilyen nagy, mivel azt befolyásolja a belső szabályozó folyamat időszükséglete. A lengetés frekvenciája alapján két eljárás csoportot különböztetnek meg: a kvázi statikus és a dinamikus ívszenzorokat [2].



4. ábra A kvázistatikus eljárások során létrehozott lengőmozgás*

A kvázistatikus ívszenzorok alacsony lengetési frekvencia tartományban működnek, így a hegesztő robotkarral lekövethető a lengetés (5. ábra). A [3] két eljárást különböztet meg: a mintamegefeleltetési módszer és a differenciál szabályozás módszere. Az utóbbi stratégiája, hogy minimalizálja a lengés szélső helyein mért jelek különbségét. E két módszer mellett továbbiakat mutat be [2], ahol felhasználják a hegesztési feszültség mellett a huzal előtolási sebességet is, vagy a hegesztőáram változás elemzésével generálnak jeleket.

A dinamikus ívszenzorokat főképp nagy sebességű hegesztések esetén alkalmazzák. Közös jellemzőjük a magas lengetési frekvencia. Ilyen frekvenciatartományban az oszcilláló mozgás nem hozható létre a robotkar rendszerrel, így ezt kétféleképpen valósították meg: elektromágnessel vagy egy nagy sebességű mechanikus elektródaforgatóval. A hegesztőfejre szerelt elektromágnes az ívet lengeti, míg a forgató megoldás egy excentrikus hajtáson keresztül az elektróдавéget lengeti. Az elektródaforgató eljárás előnye, hogy magas körfrekvenciája tartományban a kvázi statikus eljárásoknál jóval nagyobb jelet generál. Emellett ez kifejezetten jó hatással van a varrat alakítványozására is [2].

4. Összefoglalás

A cikkben bemutatásra kerültek a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztő eljárások minőségbiztosítási problémái, a varratkereső és varratkövető érzékelők főbb csoportjai. Kitértünk továbbá az ívben zajló fémátviteli jelenségekre, és az ívszabályozási lehetőségekre. Az univerzális, minden feladatra alkalmas szenzor még nem létezik. A szükséges érzékelő-konfiguráció alkalmazásonként egyedi, és több szenzor együttes alkalmazása is szükséges lehet az optimális ívhegesztés fenntartására.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Acknowledgment

The theoretical work of the authors is financed by the TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv project with support by the European Union and the European Social Fund.

* [3] alapján saját fordítású ábra.

Irodalomjegyzék

- [1] ASM Metals Handbook, Volume 6: Welding Brazing and Soldering, ASM International, 1993
- [2] Dr. Farkas Attila: A mesterséges intelligencia alkalmazása az ívhegesztés robotosításában és annak gyakorlati hasznosítása a katonai járműgyártásban, doktori PhD értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2012
- [3] F. B. Prinz, K. T. Gunnarsson: Robotic Seam Tracking, The Robotic Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, 1984
- [4] De Xu, Min Tan and Yuan Li: Visual Control System for Robotic Welding, Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control, 2006
- [5] De Xu, Min Tan, Xiaoguang Zhao, Zhiguo Tu: Seam tracking and Visual Control for Robotic Arc Welding Based on Structured Light Stereovision, International Journal of Automation and Computing 1, 2004

A Ni-BÁZISÚ SZUPERÖTVÖZETEK MEGMUNKÁLHATÓSÁGA HORONYMARÁSKOR

MACHINABILITY OF THE Ni-BASED SUPERALLOYS BY END MILLING

Kodácsy János^{1*}, Kovács Zsolt Ferenc², Viharos Zsolt János³

^{1, 2}Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

³MTA SZTAKI, Budapest, Magyarország

Kulcsszavak:

Ni-bázisú szuperötvözet
horonymarás
forgácsolóerő
forgácsolási nyomaték
forgácsolási hőmérséklet

Keywords:

Ni-based superalloy
end milling
cutting force
cutting torque
cutting temperature

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A publikáció a Rene108 és a GTD111 jelű, Ni-bázisú szuperötvözetek horonymarása terén végzett kísérleti munka eredményeit foglalja össze. A megmunkálhatósági vizsgálatok során a szerzők erő és nyomaték, valamint ezt kiegészítve, hőmérséklet mérésére alkalmas eszközöket és módszereket alkalmaztak. A kísérleti eredmények hatékony gyakorlati alkalmazását elősegítendő, a mérési és az adatkiértékelési folyamatok során korszerű IT-eszközöket alkalmaztak.

Abstract

This paper describes the results of an R+D work in the field end milling of Rene108 and the GTD111 Ni-based superalloy. In the investigation of machinability by end milling technology, the authors used force, torque and additionally, temperature measuring equipments and methods. For the furtherance of the practical adaptation of the R+D results by the measuring process and data evaluation, advanced IT-tools were applied.

1. Bevezetés

Az energetikai, a repüléstechnikai valamint az űrkutatáshoz kapcsolódó iparágban egyre szélesebb körű a Ni-bázisú szuperötvözetek felhasználása. Valamennyi ötvözet közös jellemzője a nagy szilárdság, a rossz hővezető képesség, a hő- és korrózióállóság és a paramágnesesség. A belőlük készült alkatrészeket gyakran forgácsolják annak ellenére, hogy tulajdonságaiknak alapján a különösen nehezen forgácsolható anyagok közé sorolhatók. Az üzemi tapasztalatok szerint a hornyok marása okozza az egyik legtöbb problémát. A horonymarók igen intenzíven kopnak, sűrűn törnek, teljesítőképességük kirívóan alacsony. Az ismertetésre kerülő kísérleti munka során a Rene108 és a GTD111 ötvözeteket horonymarási lehetőségeit vizsgáltuk. Az első részben irodalmi adatokat is figyelembe véve ([1], [2]) elméleti összehasonlító forgácsolhatósági értékelést végeztünk, majd horonymarási kísérletekkel igyekeztünk feltárni az anyagválasztás nehézségeinek valódi körülményeit. A mérési adatok feldolgozása után mód nyílt az elméleti és gyakorlati szempontok alapján kialakított forgácsolhatósági mutatók összehasonlítására is.

* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: kodacsy.janos@gamf.kefo.hu

2. A Rene 108 és a GTD 111 jelű szuperötvözetek kémiai összetétele és tulajdonságai

A vizsgált és a kísérletekhez használt ötvözet a speciális vákuumöntéssel előállított *Rene108* (B50A936) és a *GTD111* (B50A719) Ni-bázisú szuperötvözet, melyek kémiai összetétele az 1. táblázatban látható. A táblázat referencia anyagként tartalmazza még a KO36Ti (X6CrNiTi1811) ausztenites korrózióálló és a C45 jelű ötvözetlen szénacél ide vonatkozó adatait is [3], [4], [5].

A 2. táblázat a forgácsolhatóság szempontjából lényeges mechanikai tulajdonságokat, a 3. táblázat a fizikai tulajdonságokat foglalja össze [6].

1. táblázat. A Rene108 és a GTD111 Ni-ötvözet, valamint a KO36Ti és C45 jelű acél kémiai összetétele

Anyag	Fe %	Ni %	C %	Si %	Mn %	Cr %	Co %	Al %	Ti %	W %	Mo %	Ta %	Zr %	B %	Hf %
Rene 108		63,3	0,07			8,00	9,00	5,25	0,60	9,30	0,40	2,80	0,005	0,01	1,3
GTD 111		62,3 7	0,08			13,7	9,00	2,80	4,70	3,50	1,40	2,4		0,05	
KO36 Ti	68,8	11	0,1	1	0,50	18			0,6						
C45	98,9		0,45	0,17	0,50										

2. táblázat. A Rene108 és a GTD111 Ni-ötvözet, valamint a KO36Ti és C45 jelű acél mechanikai tulajdonságai

Anyag	Szakítószilárdság, MPa	Nyúlás A ₅ , %	Kontrakció Z, %	Keménység HB, N/mm ²	Keménység HRC
Rene108	1331	8	10		42,1
GTD111	1310	5	5		41,4
KO36Ti	490	40	55	180	
C45	610	16	40	230	

3. táblázat. A Rene108 és a GTD111 Ni-ötvözet, valamint a KO36Ti és C45 jelű acél fizikai tulajdonságai

Anyag	Fajlagos tömeg ρ , kg/m ³	Hővezetőképesség 20°C-on λ , W/m·K	Fajhő 20 °C-on c, J/kg·K
Rene108	8130	12,10	0,444 x 10 ³
GTD111	8000	12,56	0,452 x 10 ³
KO36Ti	7800	12,50	0,502 x 10 ³
C45	7700	45,35	0,461 x 10 ³

3. Forgácsolhatóság a mechanikai és fizikai jellemzők alapján

Valamely fém forgácsolhatóságát főleg a következő jellemzők befolyásolják: a szövetszerkezet, a szakítószilárdság és keménység, a nyúlás és kontrakció, a hővezető képesség és a fajhő (hőtárolóképesség) [7].

A Ni-bázisú szuperötvözetek szövetszerkezetét az ausztenites γ -fázis, γ' -fázis, primer fémkarbid és szekunder fémkarbid fázisok alkotják. Az ausztenites fázisra a korrózió- és hőállóság, a rossz hővezető-képesség és a paramágnesesség jellemző. A Ni-bázisú szuperötvözetek nagy szilárdsága a γ' -fázisnak és a fémkarbidoknak köszönhető. A γ -fázis lapközepes, köbös kristályszerkezetű, ahol a Ni, Ti, Al atomok véletlenszerűen oszlanak el a rácspontokban. A kiválás útján létrejött γ' -fázis kristályai szintén lapközepesek, köbösek, de itt az atomok elhelyezkedése meghatározott: lapközepén a Ni atomok, míg a csúcspontokban a Ti vagy Al atomok helyezkednek el. A két fázis között a diszlokációk nehezen tudnak átlépni, és ez növeli az ötvözet szilárdságát. A Rene108 és a GTD111 ötvözetek vegyi összetétele olyan, hogy öntéskor és az azt követő hőkezeléskor megvan a lehetőség az igen kemény primer (TiC, TaC, NdC) és szekunder karbid

(WC, Cr₂₃C₆, Mo₂C) képződésre, melyek a szemcsehatárok mentén kiválva akadályozzák az elcsúszást, tovább növelve az ötvözet szilárdságát [8]. A forgácsolhatóságot erősen rontja a karbidok intenzív koptató hatása is.

A szakítószilárdságot, a keménységet és a képlékeny alakíthatóságot tekintve – ha elfogadjuk, hogy szilárdabb, keményebb és a felkeményedésre hajlamosabb anyag nehezebben forgácsolható – a referencia anyagokhoz viszonyított forgácsolhatósági sorrend a következő: KO36Ti ($\sigma_{EKO36} = 664 \text{ N/mm}^2$) ← C45 ($\sigma_{EC45} = 670 \text{ N/mm}^2$) ← GTD111 ($\sigma_{EGTD11} = 1345 \text{ N/mm}^2$) ← Rene 108 ($\sigma_{ERENE108} = 1391 \text{ N/mm}^2$). A rangsorolás az σ_E egyenletes nyúlás valódi határfeszültsége alapján történt, ami a szakítószilárdságon kívül (R_m) figyelembe veszi az anyag nyúlását (A_5) is:

$$\sigma_E = \frac{R_m}{1 - \frac{0,52 \cdot A_5}{1 - 0,52 \cdot A_5}} [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

Csak hőtani jellemzőkkel két forgácsolhatósági mutatószám is képezhető:

- hővezetési mutató $K_{hv} = \lambda/\rho$, (2)
- hőelnyelési mutató $K_{he} = \lambda \cdot c$. (3)

Mindkét mutató növekedése csökkenti a szerszám hőterhelését. Értékeiket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. A Ni-bázisú szuperötvözetek, valamint a referencia anyagok hőtani mutatószámai

Anyag	K_{hv} , W·m ² /kg·K	Viszonyszám, %	K_{he} , J ² /m·kg·s·K ²	Viszonyszám, %
Rene108	0,00149	26	$5,37 \times 10^3$	26
GTD111	0,00157	27	$5,68 \times 10^3$	27
KO36Ti	0,00160	28	$6,27 \times 10^3$	30
C45	0,0058	100	$20,91 \times 10^3$	100

A táblázat szerinti a forgácsolhatósági sorrend: C45 ← KO36Ti ← GTD111 ← Rene108, ami – amint a későbbiekben kitűnik – az előző sorrendnél jobban, de még mindig nem tökéletesen tükrözi a valóságot. A megoldást a hibrid, hővezetési – szilárdsági

$$k_{hv} = K_{hv}/\sigma_E \quad (4)$$

és a hőelnyelési – szilárdsági

$$k_{he} = K_{he}/\sigma_E, \quad (5)$$

mutatók bevezetése jelentheti. Az így képzett hibrid mutatószámok értékei és azok százalékos arányai az 5. táblázatban láthatók, melyeket az utolsó oszlop átlagol (Átlag H).

5. táblázat. A Ni-bázisú szuperötvözetek, valamint a referencia anyagok hibrid mutatószámai

Anyag	k_{hv}	k_{he}	K_{hvC45}	K_{heC45}	Átlag H, % $K_{hvC45}+K_{heC45}$
			k_{hv}/k_{hvC45} , %	k_{he}/k_{heC45} , %	
Rene108	$1,07 \times 10^{-6}$	3,86	12,5	12,3	12,4
GTD 111	$1,167 \times 10^{-6}$	4,22	13,5	13,5	13,5
KO36Ti	$2,41 \times 10^{-6}$	9,44	27,8	30,2	29
C45	$8,66 \times 10^{-6}$	31,21	100	100	100

A táblázatból az olvasható ki, hogy a vizsgált Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálásakor a C45 ötvözetlen szerkezeti acélhoz viszonyítva 87...88%-os, míg a KO36Ti ausztenites, Ni-tartalmú acélötvözethez képest 52...56 %-os forgácsolhatóság csökkenésre számíthatunk.

4. Forgácsolhatóság aforgácsolási kísérletek alapján

Az irodalmi adatok, normatívák és ajánlások alapján képzett forgácsolhatósági mutatószámok és azok összehasonlító elemzése a konkrét problémák megoldására csak támpontként szolgál. A valódi helyzetfelmérés forgácsolási kísérletekkel lehetséges. Igaz ez ebben az esetben is, amikor a Ni-bázisú Rene108 és a GTD111 szuperötvözetek zárhorony marása a konkrét feladat.

4.1. A kísérleti körülmények

A kísérleteket CNC megmunkáló központon végeztük. A munkadarabokat kézi működtetésű gépsatuba rögzítettük, a szerszámokat precíziós patronba fogtuk. Szerszámként a Walter cég ProtomaxTMH4038217-8-1 jelű, változó horonyemelkedésű újmaróját használtuk, melynek jellemzői: $z = 4$ fog, $D = \varnothing 8$ mm, nagy Co-tartalmú ($Co \approx 12\%$), finomszemcsés keményfém alapanyag, TiAlN-ZrN összetételű kopásálló és súrlódáscsökkentő bevonat.

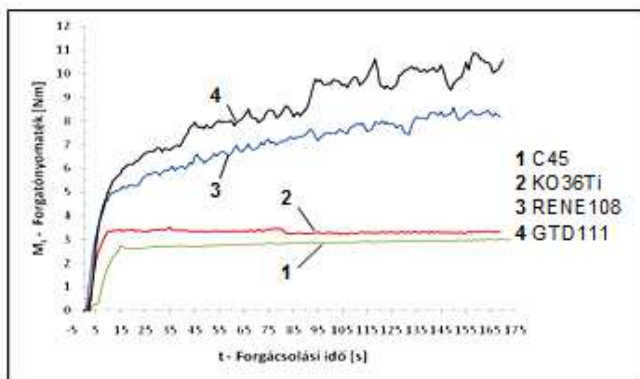
A forgácsolóerő és –nyomaték méréseket a KISTLER 9125A24A2 típusú nyomaték- és erőmérővel végeztük. Az adatok a DynoWare 2825A1-2 számítógépes szoftver segítségével értékelhetők ki. A horonyból távozó forgács hőméréséhez a FLIR T360 típusú infrakamerát használtuk. A mérésekről IR-fotók készültek, és a maximális hőmérséklet-értékeket rögzítettük.

Zárt hornyot martunk a következő technológiai paraméterekkel: $v_c = 16$ m/min; $f_z = 0,013$ mm/fog; $a_p = 7,5$ mm, $a_e = 8$ mm. A megmunkálási úthossz: $L = 90$ mm. A kísérleteket szerszámon kívüli árasztásos hűtéssel végeztük. Az alkalmazott hűtő-kenő folyadék: BLASOCUT 35 kombi, 6%-os olajkoncentrációval. Az adagolt mennyiség 15 l/min.

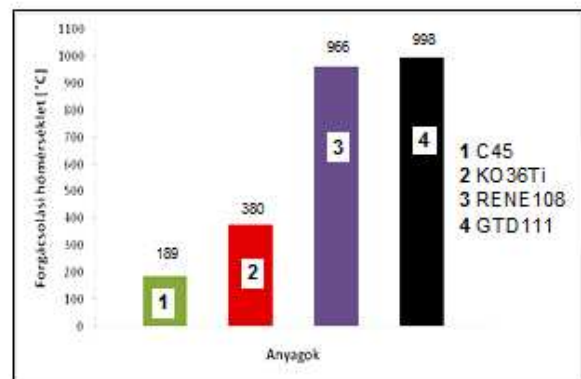
4.2. A kísérleti eredmények

Elsőként a forgácsolási nyomaték alakulását vizsgáltuk a négy, előbb felsorolt anyagra. A kapott eredményeket a 1. ábra szemlélteti. Látható, hogy a Ni-bázisú szuperötvözetek horonymarásakor a referenciaanyagokhoz viszonyított nyomaték magasan kezd, intenzíven emelkedik, és a mért értékek erősen szórnak, ami az fokozott szerszámkopás és az intenzív rezgés következménye. GTD111 ötvözet produkálja a legmagasabb értékeket, és ha ez elérjük az $M_c = 10$ Nm-t, tapasztalat szerint a szerszám 90 %-os valószínűséggel eltörik. Meg kell jegyezni, hogy az itt alkalmazott szerszámmal, technológiával és úthosszal a KO36Ti és a C45 referenciaanyagok közt elhanyagolható a különbség, kisebb a szerszámkopás és rezgésmentesebb az anyagleválasztás is. Az úthossz nagyságát a Ni-ötvözetek forgácsolása során tapasztalt gyors szerszám-tönkremenetel korlátozta.

Infrakamerával mértük a horonyból hűtés-kenés nélkül távozó forgács hőmérsékletét az $L = 90$ mm munkaút megtétele után, kopott szerszámokkal. A képernyőn megjelenő maximális értékekből oszlopdiagram készült (2. ábra). A 6. táblázata kísérletek során mért nyomatékokat és hőmérsékleteket tartalmazza abszolút és százalékos formában. Az átlagos százalékos értékek (Átlag K) összevethetők az 5. táblázat C45-re vonatkozó, hibrid mutatószámaival (Átlag H).



1. ábra. A forgácsolási nyomaték

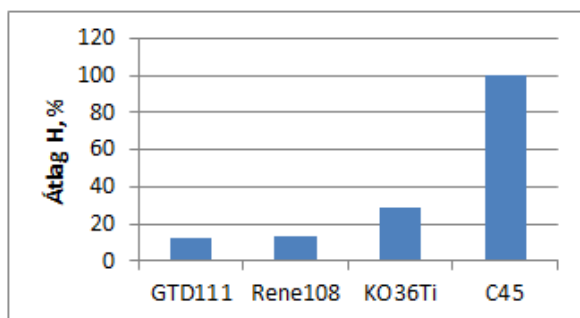


2. ábra. A forgács hőmérséklet

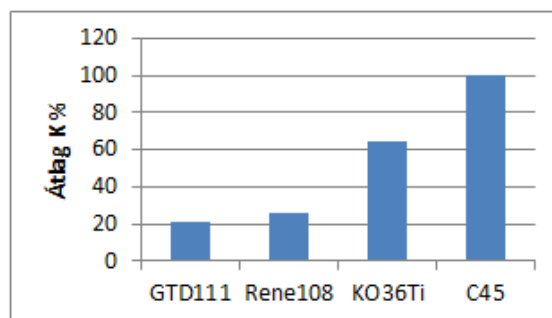
6. táblázat. A C45-re vonatkoztatott forgácsolhatósági viszonyszámok a kísérletek alapján

Anyag	Nyomaték, Nm	Viszonyszám, %	Hőmérséklet, °C	Viszonyszám, %	Átlag K, %	Átlag H, %
GTD 111	10,8	24	998	19	21	12,4
Rene 108	8	32	966	20	26	13,5
KO36Ti	3,2	81	380	52	65	29
C45	2,6	100	198	100	100	100

A 3. és 4. ábra szemlélteti a forgácsolhatóság alakulását az elméleti(hibrid) és a kísérleti adatok szerint.



3. ábra. Forgácsolhatóság a hibrid adatok szerint



4. ábra. Forgácsolhatóság a kísérleti adatok szerint

5. Értékelés és következtetés

A Ni-bázisú, Rene108 és GTD111 jelű szuperötvözetek hibrid forgácsolhatósági mutatószámai azt jelzik, hogy várhatóan ezen anyagok forgácsolhatósága a referenciaként használt C45 ötvözetlen szerkezeti acélhoz $\approx 15\%$, a KO36Ti jelű ausztenites acélhoz viszonyítva $\approx 50\%$ lesz. A referencia anyagok egymáshoz viszonyított forgácsolhatósága 30%-ra becsülhető, a C45 javára.

Elvégezve a mechanikai és hőtani jellemzőkkel összefüggő nyomaték- és hőmérséki vizsgálatokat az előzetesen jelzett hibrid viszonyszámokhoz képest akár 45...50%-al is jobb eredményt kaptunk, ami a technológiai tervezéskor természetesen a biztonság irányába hat. Valószínűsíthető azonban, hogy az eltérés mértéke sokkal kisebb lenne, ha az éltartam vizsgálatok eredményét, a szerszámok teljes tönkremenetelig eltöltött időt is bevennénk az összemérésbe. Ez lehet a következő kutatás-fejlesztési feladat.

Gyakran előfordul, hogy valamely anyagot „jól forgácsolható” vagy „rosszul forgácsolható” jelzővel illetünk anélkül, hogy konkrét ismereteink lennének a technológia körülményekről. Az így kialakított vélemény csak hozzávetőleges lehet, de az anyag mechanikai és hőtani jellemzőivel képzett ún. hibrid mutatószámok támpontként szolgálhatnak a technológiai és a későbbi kutató munka megtervezéséhez is.

Irodalomjegyzék

- [1] www2.coromant.sandvik.com/.../C_2920_18_ENG_009
- [2] W.T. King: Nickel-base Alloy – RENE'108 – Investment Castings. GE Power kiadvány, 1996.
- [3] M.M. Bali: Nickel-base Alloy – GTD-111 – Investment Castings. GE Power kiadvány, 1978.
- [4] Kodácsy J.: A nehezen forgácsolható ausztenites korrózióálló acélok megmunkálhatóságának vizsgálata. Egyetemi doktori értekezés, NME, 1981.
- [5] K. Raznjevic: Hőtechnikaitáblázatok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
- [6] Dr. Pálmai Zoltán: Fémek forgácsolhatósága. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1980.
- [7] E. Lvov, D. Norsworthy: Influence of Previous Operational Cycle on the Microstructure of Rejuvenated Ni-Base Superalloy Gas Turbine Blades after their Return to Service. <http://turbolab.tamu.edu>

OPTIMÁLIS TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREK MEGVÁLASZTÁSA KÍSÉRLETEK ALAPJÁN

OPTIMAL CHOICE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS BY EXPERIMENTS

Liska János*, Kovács Zsolt Ferenc, Sándor Roland

Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

szerszámválasztás
kompozit

Keywords:

tool selection
composite

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A kutatás célja a gyakorlatban is jól alkalmazható, az adott feladathoz optimális szerszám kiválasztását segítő módszer megalkotása volt. Olyan módszert kerestünk, amivel a lehetséges szerszámok közül kiszűrhető az, amelyik a leggazdaságosabban alkalmazható és valóban teljesíti a megmunkálás minőségével kapcsolatos elvárásokat.

Abstract

The aim of this study was to create a method which can be well used in practice to choose the suitable tool for the process. We were looking for a method, which can be selected among the possible tools that is apply in the most economical and really fulfill the expectations of the machining quality.

1. Bevezetés

A kutatás során két különböző élgeometriájú és anyagú szerszámot teszteltünk az üvegszál erősítésű kompozit anyag gazdaságos megmunkálására való alkalmasságuk szerint. A megmunkált kompozit 60%-a üvegszál és 40%-a gyanta. [1]

A szerszámok egyike egy hagyományos élgeometriájú gyorsacél csigafúró, a másik egy speciálisan kompozit anyagok megmunkálására tervezett tömör keményfém csigafúró volt.

1. Táblázat. Technológiai paraméterek

jelölés	szerszám átmérő, mm	szerszám ár, Ft	anyagok		technológiai adatok				
			szerszámananyag	megmunkált anyag	forgácsolósebesség (v _c), m/perc	fogankénti előtolás (f _z), mm/fog	fordulatonkénti előtolás (f _n), mm/ford	előtoló sebesség (v _f), mm/perc	fordulatszám (n _s), 1/ford
A/1	6	1000	Gyorsacél	GFRP	40	0,025	0,05	107	2123
A/2					55	0,025	0,05	146	2918
A/3					60	0,025	0,05	160	3184
B/1	6,35	15000	Keményfém		60	0,025	0,05	151	3008
B/2					100	0,025	0,05	251	5013
B/3					150	0,025	0,05	376	7520

* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: liska.janos@gamf.kefo.hu

A technológiai paraméterek meghatározásakor figyelembe vettük a szerszámokhoz ajánlott értékeket (1. Táblázat) [2]. A feladat az volt, hogy a vizsgálat során nyert technológiai adatok alapján készítsünk egy Excel számolótáblát. A számolótábla képes kiválasztani a csigafúrók közül a feladatnak megfelelőt, figyelembe véve a megadott paramétereket.

A felhasználónak három mezőt kell kitölteni ahhoz, hogy a számolótábla meg tudja határozni az szerszámot és az optimális paramétereket (1. ábra.).

Szükséges furatok száma		db		
Furat hossza		mm		
Delamináció		-		
Hengeresség		μm	v_c	f_z
Szerszám				
Egy szerszám éltartama		perc		
Szükséges fúrók száma		db		
Költség		Ft		

1. ábra. Számoló tábla kitöltendő illetve eredményt kijelző mezői

A tábla első mezőjébe (Szükséges furatok száma) beírhatjuk, hogy egy műszak, vagy akár egy év alatt hány darab furatot szeretnénk legyártani. A második mező (Furat hossza) adata alapján a program ki tudja számolni egy furat elkészítéséhez szükséges időt. A következő két mezőbe a delaminációval, illetve a hengerességgel szemben támasztott elvárásaink írhatjuk. Miután kitöltöttük mind a négy mezőt a számolótábla következő celláiban láthatjuk a végeredményeket. A számolás végeredménye a kiválasztott szerszám jelöléséből (a hozzá tartozó fogácsolósebességgel és fogankénti előtolással együtt), egy darab szerszám éltartamából, a szükséges szerszámok számából és a szerszámköltségből áll. Amennyiben a vizsgált szerszámok között nincs olyan, ami megfelel az igényeinknek, a tábla „Nincs megoldás” hibaüzenetet jelez. [3]

A számoló tábla elkészítésének első lépése az volt, hogy mérési eredmények alapján meghatároztuk a vizsgált paraméterek (hengeresség, delamináció, kopás, erő) alakulását jellemző függvényeket.

2. Vizsgált paraméterek

2.1. Hengeresség

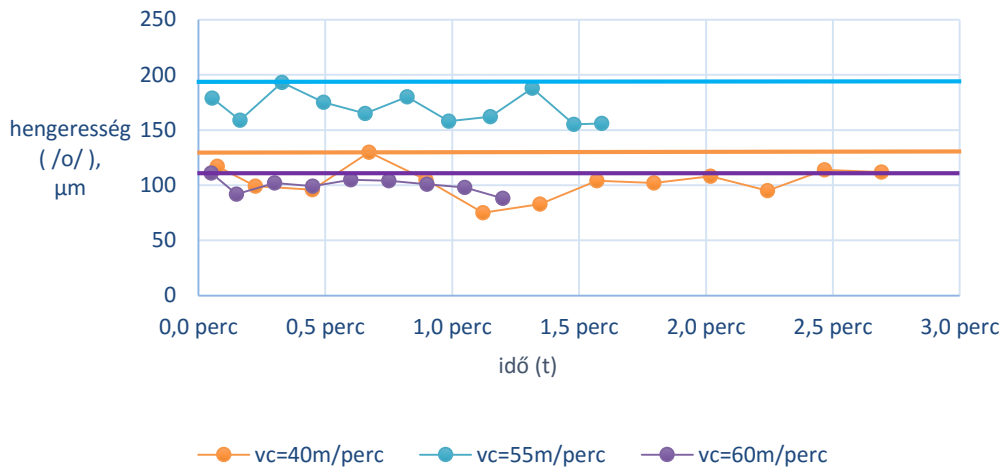
A furatok hibáját (hengeresség, delamináció) köralak hibamérő berendezéssel mértük (2. ábra).



2. ábra. Köralak hibamérő berendezés

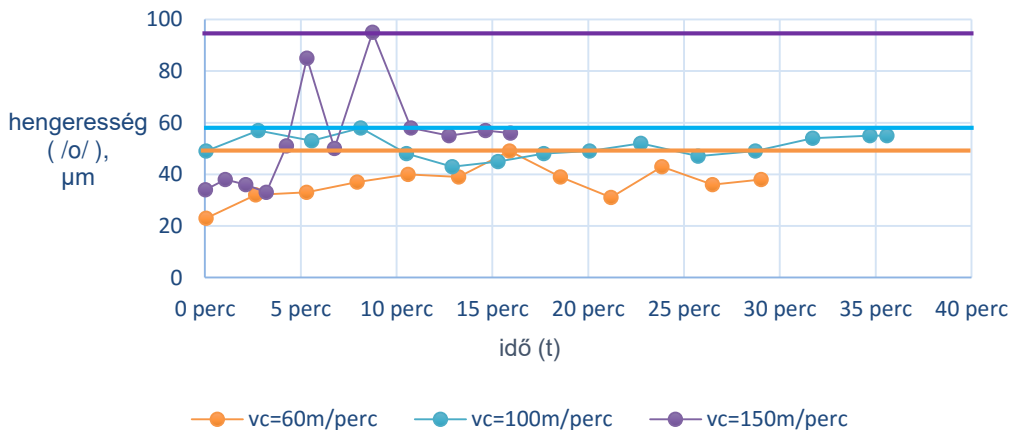
A mérések a furatok hengerességi értéke a szerszám kopásával csak kis mértékben nő. Továbbá figyelembe kell vennünk, hogy az anyag szerkezete miatt a hengerességi értékek szóródnak. Éppen ezért a hengeresség alakulását az idő függvényében az egyes eseteknél konstanssal kellett jellemezni. Ez a konstans az a legmagasabb hengerességi érték, amelyet az egyes fúrók (adott technológiai paraméterek mellett) elértek. A közelítő függvények a 3. és 4. ábrán láthatóak.

Hengeresség az idő függvényében



3. ábra. Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.

Hengeresség az idő függvényében



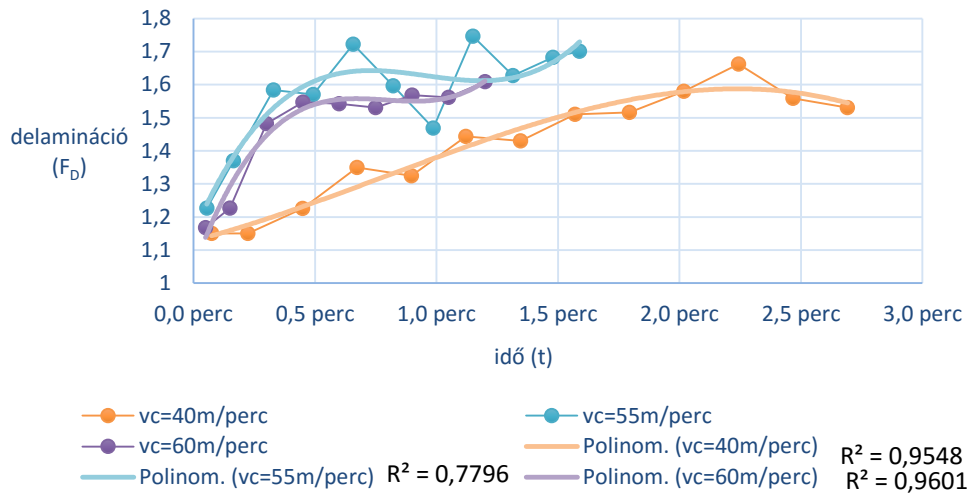
4. ábra. Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.

A grafikonokon látható, hogy a keményfém fúróval készült furatok alakhűsége jobb.

2.2. Delamináció

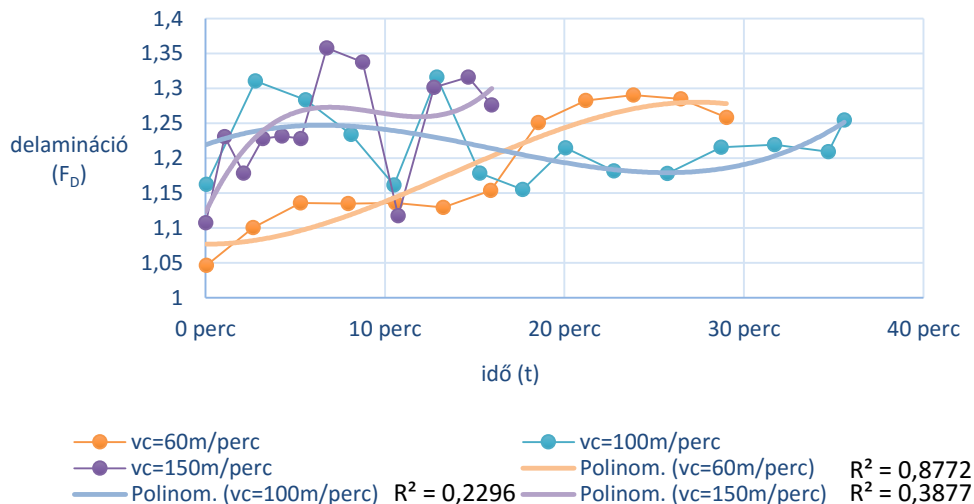
A delamináció mértékét erősen befolyásolja az anyag szerkezete, ezért a mért értékek szórása ugyancsak nagy. Nagyobb minta esetén pontosabb eredményt kapnánk, azonban erre, esetünkben nem volt lehetőség. A gyorsacél szerszámok által elkészített furatokon mért delaminációs értékek alakulását nagy jósági fokkal lehetett harmadfokú polinommal közelíteni. A keményfém szerszámok esetén a mért értékek szórása nagyobb, így a függvénnyel való közelítés is nehezebb, de a harmadfokú polinom (5-6. ábra) ebben az esetben is jól jellemzi az értékek alakulását. [3]

Delamináció az idő függvényében



5. ábra. Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.

Delamináció az idő függvényében



6. ábra. Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.

2.3. Szerszámkopás

A szerszámkopás alakulásának az éltartam meghatározásában van szerepe. Közelítő függvény meghatározására a szerszámválasztás elvégzéséhez nem volt szükség. A kísérletek során kapott eredményeket táblázatban rögzítettük és annak alapján történik a éltartam meghatározás.

2.4. Előtolás irányú erő

Az előtolás irányú erő időbeni alakulására szintén nem volt szükség a szerszámválasztáshoz. Azt tapasztaltuk, hogy a keményfém fúrók esetén a tengely irányú erő (F_z) értékek jelentősen kisebbek, mint a gyorsacél szerszám esetében. A mért értékeket tartalmazó táblázat alapján az is egyértelmű, hogy a kisebb előtolás irányú erők esetén a delamináció és a hengerességi értékek is kisebbek.

3. A számoló tábla működése

A „program” a bevitt adatok alapján harmadfokú egyenletként megoldja, majd a kapott eredmények alapján a kísérletek során létrehozott adatbázisból kiválasztja a megfelelő szerszámot. Mindezen számítások a felhasználót nem zavarva a háttérben futnak. A tábla használatához a következő lépéseket kell tenni.

Első lépésben a program meghatározza, hogy az egyes esetekben meddig végezhetünk forgácsolást az adott szerszámmal úgy, hogy az elkészített furatok delaminációja legfeljebb az általunk megadott érték legyen. Ezt egy harmadfokú egyenlet megoldásával végzi, mivel a delamináció alakulása harmadfokú polinommal van közelítve. Ahhoz, hogy elvégezhető legyen az egyenlet a számoló táblának először nullára kell redukálnia az egyenletet az általunk megadott delaminációs érték alapján.

Az egyes esetekben az egyenleteknek három megoldása van. A feladat az, hogy kiválasszuk ezek közül az első pozitív értéket. Problémát jelent, hogy az egyenleteknek vannak nem valós megoldásai is és az egyenletmegoldó metódus ezen megoldások esetén csak az eredmény valós részét jeleníti meg. Ezek kiszűrésére a számoló tábla elvégzi az eredmények nullára redukált összefüggésébe való behelyettesítését, s az első olyan pozitív megoldást választja ki egyenletként, amikre igaz, hogy behelyettesítés eredménye nulla. Ettől eltérő esetben az adott megoldás nem valós szám és a továbbiakban nem számolhatunk vele.

Miután a tábla meghatározta, hogy az egyes szerszámokkal meddig fúrhatunk, úgy hogy azok még teljesítsék a delaminációval szemben támasztott elvárásunkat, majd kiszámolja (a furatok darabszáma a furatok hossza illetve az előtoló sebesség alapján), hogy hány darab fúróra van szükségünk a megadott darabszámú furat elkészítéséhez és ez alapján azt is, hogy mennyi a szerszám költség. Ezt követően ki szűri azokat a lehetőségeket, amelyeknél a szerszám nem tudja biztosítani az elvárt hengerességgel rendelkező furatok megmunkálását.

Az utolsó lépésben pedig, a megadott szerszám ár valamint az elkészíthető furatok száma alapján kiválasztja a legolcsóbb szerszámot azok közül, amelyek minden elvárt minőségi paramétert teljesítenek.

4. Összegzés

A kitűzött célt megvalósítottuk és annak elérése során számos hasznos információval lettünk gazdagabbak. Megfigyelhető volt, hogy bizonyos paraméterek jobban, míg mások kevésbé voltak jelentősek a program elkészítéséhez.

Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a „Számoló tábla” az idő és a rendelkezésre álló alapanyagok (különböző méretű és anyagú spirálfúrók) hiánya folytán bővítésre szorul. A mai technológiák és anyagok rohamos fejlődése révén kijelenthető, hogy a tábla sosem nevezhető véglegesnek és annak folyamatos bővítése szükséges, hogy az ipar számára a legfrissebb információkkal szolgálhasson.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Liska Jánosnak, hogy nagyban támogatott a munkám során tanácsával és észrevételeivel egyaránt. Továbbá köszönöm a Kecskeméti Főiskolának, hogy lehetőséget ad a tudományos tevékenységek elvégzéséhez.

Irodalomjegyzék

- [1] A polimertechnika alapjai. [Online]. Available: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/index.html>. [Megtekintés: 01-Okt-2015].
- [2] LÍSKA, J., KODÁCSY, J.: *Drilling of Glass Fibre Reinforced Plastic*. Advanced Materials Research Vol. 472-475, TransTech Publication Ltd, Zürich, 2012. pp.: 958-961
- [3] SÁNDOR R.: Optimalizált fúrás. TDK dolgozat. Kecskemét 2014.

3D NYOMTATÓ ÉPÍTÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

3D PRINTER: CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT

Kun Krisztián¹, Miskolczi István², Fodor Antal³

Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

3D nyomtatás, FDM eljárás,
Reverse Engineering

Keywords:

3D printing, FDM technology, RE

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. november 30.
Elfogadva 2015. november 30.

Összefoglalás

Cikkünkben egy FDM (Fused Deposition Modeling) technológiával dolgozó gép konstrukciós kiválasztását és megépítésének lépéseit mutatjuk be. A műszaki dokumentáció visszaállítása (Reverse Engineering) után, a nyomtató megépítésébe is bepillantást nyerhet az olvasó. Az építésből tanultak után saját nyomtatóegységet terveztünk, amely egy kompakt, felhasználói igényekhez igazodó tengelymozgató egység és fejtartó konzol. Az új konstrukció előre mutatóan alkalmazható a rugalmas tervezési feladatokhoz.

Abstract

In our research, we introduce the technology of 3D printing. After that, we detail the milestones of the building process of a machine which operates with FDM (Fused Deposition Modeling) technology: the restoration of the technical documentation (Reverse Engineering), the construction of the printer. Based on constructional studies, we started the design of our own printing unit, which is a compact, user-friendly jog unit and a head-holder console.

1. Bevezetés

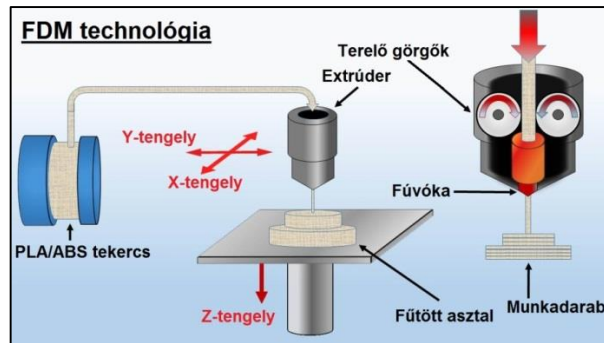
A 3D nyomtatás manapság már egy egész technológiai ágazat gyűjtőneve. Számos, egymástól akár nagymértékben eltérő eljárásokat sorolhatunk ebbe a megmunkálási csoportba. Kutatásunk során a ma létező összes módszerrel megismerkedtünk, majd ezt követően döntöttünk az FDM eljárás (1. ábra) mellett. Célunk, hogy a technológiai sajátosságok megismerése után egy olyan nyomtatót építsünk, amelyből tapasztalatokat gyűjtve képesek leszünk egy, a korábbi hibákat kiküszöbölő, saját gép tervezésére.

Az FDM eljárás előnye az áttekinthetőség, az egyszerű, emberközelű szerkezet és a kiterjedt, széleskörű fórumhálózat. Alapelve, hogy egy termoplasztikus szál anyagot egy extrúderhez hasonló berendezés az anyag olvadáspontja fölé melegít. Ezzel elérhető, hogy az anyag ömledék állapotba kerülve hozzátapadjon az előző réteghez, valamint, hogy könnyen alakítható legyen. További előny, hogy az anyag gyorsan, külön hűtés nélkül, a másodperc tizede alatt képes ismét megszilárdulni. Az extrúder fejet X-Y irányban, valamint Z irányban is vezérelni kell. Az előbbit az adott síkban a forma kialakításához, Z-irányban pedig az új réteg magasságának meghatározásához. Előfordul, hogy a Z-tengelyen nem az extrúder, hanem az asztal süllyed. A leírtakból látszik, hogy a technika igen érzékeny az anyagtulajdonságok változására és precíz vezérlést igényel.

¹ kun.krisztian@gamf.kefo.hu

² miskolczi.istvan@gamf.kefo.hu

³ fodor.antal@gamf.kefo.hu



1. ábra. Az FDM technológia elvi vázlatja

A konstrukcióválasztás legelső szempontja az volt, hogy minél kisebb költségből, minél jobb minőségű és pontosságú 3D nyomtatót tudjunk építeni. Olyan konstrukciót kerestünk, aminek a felépítése lehetővé teszi a testközeli szemléltetést. További feltétel az egyszerű szállíthatóság, így a nyomtató képességeit könnyen prezentálhatjuk nyílt napokon, bemutatókon.

Cél volt, hogy a nyomtató egyszerű alkatrészekből álljon, annak érdekében, hogy könnyen szerelhető és egyszerűen karbantartható legyen. Előnyös szempontként értékeltük a T-horonyok használhatóságát az elemek pontos rögzítésére. Elvárás volt továbbá, hogy kompatibilis legyen olyan elektronikai alkatrészekkel, mint a szabványos végállás kapcsolók.

Az alábbi piacvezető nyomtatók teljesítették az elvárásainkat:

- 3D systems nyomtató: CUBEX,
- Makerbot nyomtató: Replicator 2,
- Velleman K8200,
- Felix 2.0.

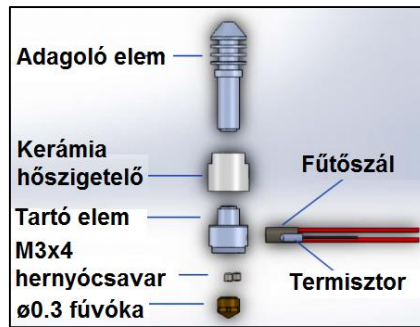
A választott konstrukció a felsorolt nyomtatók közül a FELIX 2.0 (2. ábra). A feltételeinket ez a nyomtató elégítette ki leginkább.



2. ábra. A Felix 2.0 nyomtató

A nyomtató építése előtt felvázoltuk mely alkatrészek megvétele szükséges és melyeket tudjuk saját kezűleg elkészíteni. A Főiskola műhelye lehetőséget adott a forgácsolható alkatrészek legyártására, így azokat mi magunk készítettük el.

A váz elkészítéséhez Bosch Rexroth 40x40 mm keresztmetszetű alumínium profilokat használtunk, amiket megfelelő méretre vágtunk. A profilokat ezután önmetsző belső kulcsnyílású torx csavarokkal rögzítettük egymáshoz, így alakítva ki a nyomtató vázát. A kész vázra lineáris elemeket szereltünk a tengely irányú mozgások megvezetésére, mivel ezek könnyen rögzíthetőek voltak az alumínium profilba. Felix 2.0 nyomtatott alkatrészeit megvásároltuk, hogy el tudjuk kezdeni a nyomtatófej megépítését és a szükséges alkatrészek átalakítását. Az extrúder kerámia elemét és a fúvókát rendeltük, míg a hengeres alumínium felületeket (adagoló, tartó elem) magunk forgácsoltuk. A termisztor és a fűtőszál szabványos elemek (3. ábra).



3. ábra. A Felix 2.0 nyomtató

2. A 3D nyomtató megépítése

A szíjat, a csapágyakat és a végállaskapcsolókat különböző üzletekből vásároltuk, figyelve azt, hogy azok kompatibilisek legyenek a konstrukcióval. A végállaskapcsolókat át kellett alakítani, hogy a csatlakozók a megfelelő irányba álljanak. A tárgyasztal alumínium szendvics lap. Az alaplap egy Arduino rendszerű, a Felix cég által erre a célra kialakított nyáklap, amely két extrúder fej vezérlésére is alkalmas. Az említett alkatrészeket felhasználva így elkészítettük a Felix konstrukciójára alapuló FDM nyomtatónkat.

A 3D nyomtatót virtuális formában is el akartuk készíteni. Ennek célja a digitális gyártás szimulációja volt. Mind emellett, mivel a nyomtatott alkatrészeket a forgalmazótól vásároltuk, így azok pontos dokumentációja hiányzott. Ha minden alkatrészről méretpontos modell állna rendelkezésre, azok felhasználhatók lennének pótalkatrészek gyártására vagy egy esetleges második nyomtató elkészítésére. Ahhoz, hogy ezt meg tudjuk valósítani, a Reverse Engineering módszerét kellett alkalmaznunk.

3. Reverse Engineering

A Reverse Engineering magyar fordításban fordított mérnöki tevékenységet jelent. Mindezt pontosítva egy olyan mérnöki munkafolyamat, amelynek során egy fizikailag létező tárgy számítógépes CAD geometriáját határozzuk meg 3D-s digitalizálással. A Reverse Engineering a végtermékből indul ki. Feladata a rekonstrukció.

A Reverse Engineering lépései:

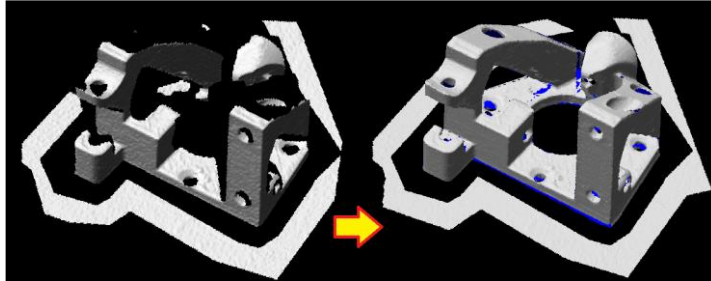
- szkennelés,
- pontfelhő létrehozása,
- burkolás, felületillesztés,
- ellenőrzés, korrigálás,
- gyártás.

Egy Steinbichler Optotechnik VarioZoom 200-400 3D szkennerek segítségével végeztük a méréseket. A meglévő alkatrészek számítógépes dokumentációit ezzel az eljárással tudtuk reprodukálni. A technológiát az extrúder fej tartó elemén (4. ábra) keresztül szemléltejtük.



4. ábra. Extrúder fej tartó elem

A felület menti letapogatásra alkalmas szkennelő-berendezés vetítője fekete-fehér, párhuzamos fénycsíkokat vetít az objektum felületére, amelyek azon deformálódnak. A szkennerek CCD kamerája érzékeli a visszavert fénycsíkok törését. A számítógépes kiértékelő rendszer kiszámolja a csíkokban sorakozó pontok térbeli helyzetét, ez alapján alkotva meg a pontfelhőt. A végleges felhő összeállításához 34 fotóra volt szükség (5. ábra), amelyeket az egyező pontjaik megkeresésével egyesítettünk.

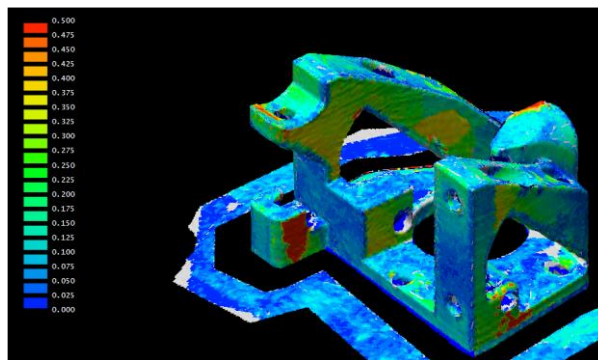


5. ábra. A felvételek összeillesztése: baloldalon az első felvétel, míg a jobb oldalon a 34 kép összeillesztése

Amikor elkészült a pontfelhő, szükséges volt az objektumhoz nem tartozó részek (felfogó elemek, tárgyasztal, alátétek, stb.) levágása a képről, továbbá a redundáns⁴ pontok eltávolítása.

A korrigált pontfelhőre felületelemek illeszthetők, amik lehetnek analitikusak (sík, gömb, paraboloid), paraméteresek (Bézier vagy B-spline) és egyszerű háromszögek. A reprodukcióhoz a legelterjedtebb módszer a háromszögekkel, vagyis az STL formátumban való burkolás, mivel ez egy egyszerű és minden tervező program számára beolvasható fájlhoz létre. A háromszögek csúcspontjai a pontfelhő szomszédos pontjai.

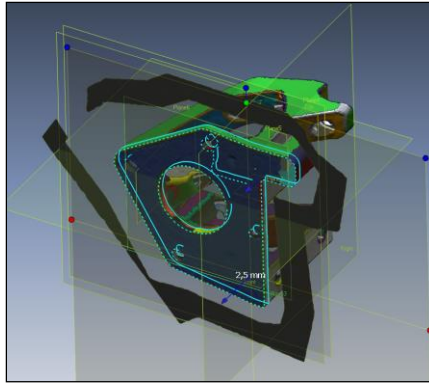
Az előbbieken előállított modell még nem használható fel közvetlenül CNC megmunkálásra vagy 3D nyomtatásra, mivel a háromszögekkel való burkolás során a felületek nem illeszkedtek tökéletesen a pontfelhőre, amiből mérethibák adódtak. A szkennelő berendezés szoftvere a háromszöggel való burkolás során ezeket a hibákat a 6. ábra képe szerint vizsgálta.



6. ábra. A háromszöggel való burkolás során keletkező hibák nagysága

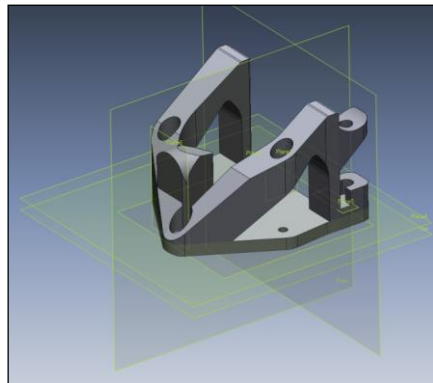
A szkennerek szoftverével generált STL fájl egy külön erre a célra specializálódott Reverse Engineering programba importáltuk (Geomagic Design X RapidForm XOR). A programban felvettük a modell alapsíkjaival. Fontos felismernünk a program használata közben, hogy a darab korábbi tervezője milyen lépéseket követve alkotta meg a kész modellt. Ezt követően az úgynevezett Mesh Sketch paranccsal a felületről keresztmetszeti vázlatokat vettünk fel (7. ábra). Ezeket a vázlatokat közelítő vonalakkal körberajzolva, majd azokat egy adott bázistól beméretezve meghatározhatóvá vált a vázlat valós mérethálója.

⁴ A 3D-s szkennelés területén a *redundancia* mindig valamiféle többszörözést jelent, jelen esetben az azonos helyen szereplő felhalmozott pontokat.



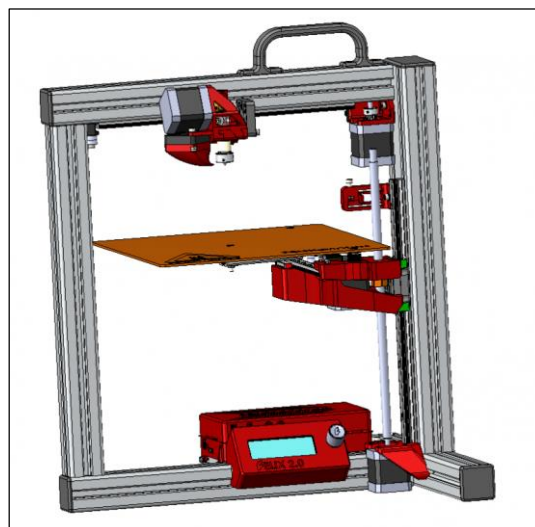
7. ábra. A Mesh Sketch parancs használata

Az így kapott vázlatokkal a szokásos kihúzás (extrude) és kivágás (cut) parancsok segítségével rekonstruáltuk a 3D-s CAD modellt. Ezen folyamatok eredményeképp kaptuk meg a változtatható méretű és minden felületén mérhető CAD modellt (8. ábra).



8. ábra. Az extrúder fej tartó CAD modellje

Ezt követően az Autodesk Inventor szoftverben egy összeállítási környezetben belül létrehoztuk a nyomtató virtuális konstrukcióját. Így a nyomtató paramétereit 3D modell formájában is mérni tudtuk, valamint digitális gyártás szimulációjára is megfelelt. Az összeállítási modell a 9. ábrán látható.



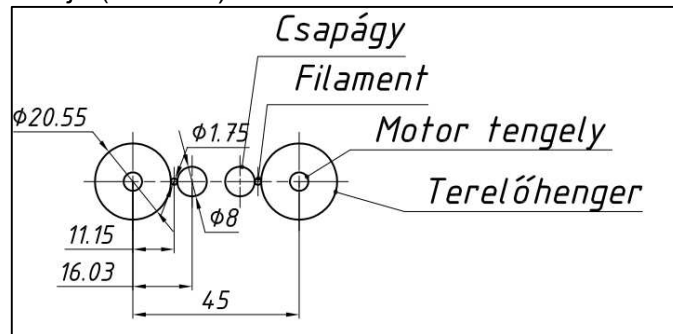
9. ábra. Felix 2.0 összeállítási 3D modellje

4. Parametrizálható munkaterületű nyomtatóegység konstrukciós tervezése

A megépített nyomtatóból számos konklúziót vontunk. Hibáiként felsorolhatóak, a korlátozott nyomtatási terület és az alap konstrukcióból adódó nehézségek. Utóbbi között a leglényegesebb az asztal végezte Y-tengelyen történő elmozdulás. Ez a munkaterület növelésével hatványozottan jelent problémát. Célunk tehát egy olyan egység fejlesztésére irányult, mely reagál a munkaterület rugalmas változására, ezzel egyidejűleg pedig az asztal Y elmozdulását helyettesíti.

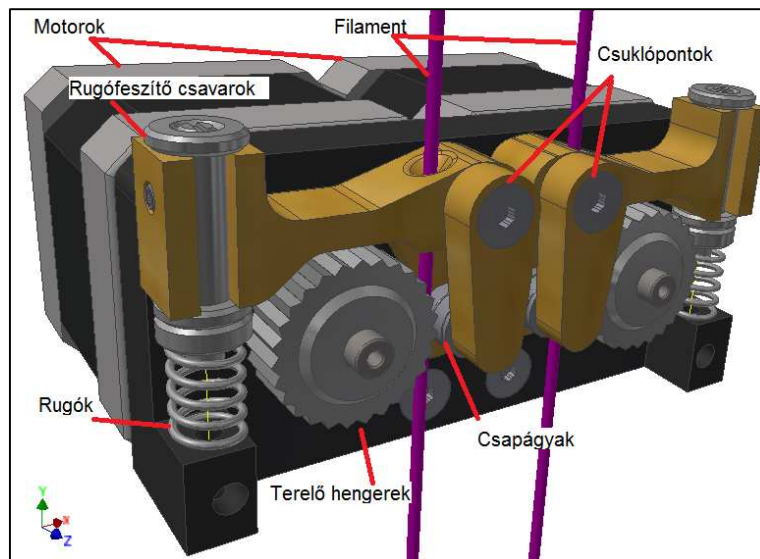
4.1. A behajtó-egység tervezése

A tervezést a behajtó-egységgel kezdtük, mivel fontos volt, hogy a két motor egymás melletti elhelyezésekor azok kihajtó tengelyei milyen távolságban vannak egymástól. Ezen adatokra épült a behajtó egység mérethálója (10. ábra)



10. ábra. A behajtó egység mérethálója

A mérethálóra alapozva terveztük meg a behajtó-egységet, amelynek modellje a 11. ábrán látható.



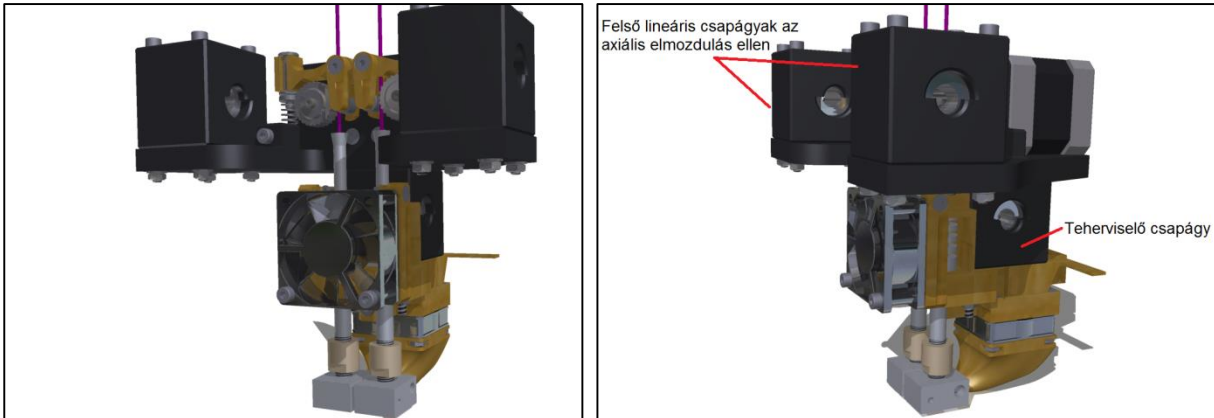
11. ábra. A behajtó-egység összeállítási modellje

4.2. Az extrúder-fej kialakítása

Mivel a behajtó-egység kialakításánál már az extrúderek tengelyének egymástól mért távolsága is meghatározásra került, ezen méreteket felhasználva kezdtük meg az extrúder-fej felépítését.

Fontos szempontok voltak (12. ábra):

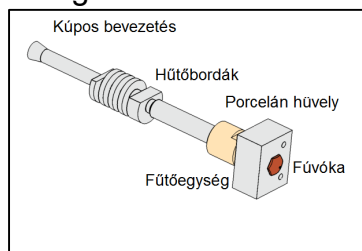
- a méretek minimalizálása,
- a lineáris csapágyak elhelyezése,
- a hűtés biztosítása a fűtött egységgel kapcsolatban lévő elemek védelmére.



12. ábra. Az extrúder-fej felépítése

A hűtést többféleképpen valósítottuk meg:

- szabványos ventilátorokat alkalmaztunk,
- a fűtött egységet porcelán hüvelyekkel választottuk el, így is gátolva a visszavezető hőáramot (13. ábra),
- hűtőbordákat alakítottunk ki az extrúder szárán, amit több darabból szerelhetünk össze, a könnyű tisztántartás érdekében (13. ábra),
- a levegőt a kívánt helyre terelő felületeket képeztünk ki,
- a tárgyasztalon, már kinyomtatott anyag azonnali hűtésére egy, áramlástanilag ideális felülettel rendelkező légtérrelőt terveztünk.

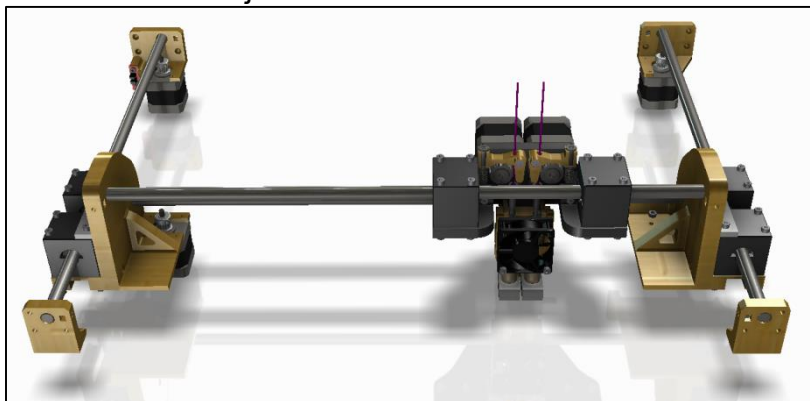


13. ábra. A módosított extrúder

4.3. A parametrizálható mozgás megvalósítása

A konstrukció legnagyobb kihívása a fej két tengelyen történő mozgatása volt. Célunk egy olyan parametrizálható munkatér létrehozása volt, amely a kívánt igényeknek megfelelően állíthatjuk be a nyomtatható területet, így megkönnyítve a 3D nyomtató építését. Ezt úgy értük el, hogy a lineáris elemeket az X-tengelyen is köszörült rudakon vezetett lineáris csapágyakra cseréltük. A méret szerinti parametrizálás mind az X, mind az Y tengelyen működik, a megfelelő rudak méretváltogatásával.

A 14. ábrán látható ennek módja.



14. ábra. A módosított extrúder

5. Összegzés

Összegzésként elmondható, hogy az előzetes célkitűzéseket teljes mértékben abszolváltuk. Részletes, átfogó ismereteket szereztünk a 3D szkennelés módszeréből, aminek segítségével rekonstruáltunk egy már meglévő, dokumentáció nélküli konstrukciót. Megépítettük a saját FDM nyomtatónkat, méréseket végeztünk rajta, majd a hibáiból tanulva terveztünk egy minden tekintetben egyedi nyomtatóegységet.

További célkitűzés lehet, a nyomtató egységet felhasználva egy zárt, szabályozható hőmérsékletű munkatérrel rendelkező komplett 3D nyomtató tervezése és annak megépítése.

Az FDM technológia térhódítása és beszivárgása háztartásunkba mindennapos téma. Az általunk tervezett parametrizálható nyomtatóegység egyszerű összeszerelése, változtatható munkaterülete és könnyű karbantartása miatt remek részegysége lehet egy meglévő konstrukciónak vagy egy komplett új gépnek.

6. Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Kun Krisztián, Miskolczi István – 3D nyomtató építése és fejlesztése (OTDK dolgozat és előadás 2014-2015)
- [2] Kodácsy János, Pintér Zsuzsanna, Pokriva Péter: RE módszerrel előállított felületek minősége – GAMF 2003
- [3] Mátyási Gyula – CAM Tankönyv – BME, ÓE, SZIE Egyetemi tananyag 2012, 615-634.o
- [4] http://www.protec3d.de/rapid-prototyping_3d-drucken/technologiedetails/ 2015. 07. 10.
- [5] Kovács József Gábor, Falk György – RPT/RP, BME Polimer technika Tanszék, Budapest, 2006, 1-13.o
- [6] Kovács József Gábor: Gyors prototípus eljárások II. Gyakorlati megvalósítások, Műanyag és Gumi, 39, 2002, 103-107.o
- [7] <http://shop.felixprinters.com/> 2014. 08.10.
- [8] <http://www.dimensionprinting.com/> 2014.09. 12.
- [9] <http://www.varinex.hu> 2014.10 01.
- [10] <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters> 2014.09. 12

CFRP-ALUHAB®-CFRP SZENDVICS SZERKEZETŰ KOMPOZIT ANYAG FÚRÁSA

DRILLING OF CFRP-ALUHAB®-CFRP SANDWICH STRUCTURE

Liska János ^{1*}, Kun Krisztián ¹, Sándor Roland ¹ és Babcsán Norbert ²

¹ Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

² Aluinvent Zrt, Szeles u. 2, Felsőzsolca, H-3561 Magyarország

Kulcsszavak:

CFRP
kompozit
alumíniumhab
fúrás
forgácsoló erő

Keywords:

CFRP
composite
aluminium foam
drilling
cutting forces

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Napjainkban az ipar egyre több területén használnak különleges anyagokat. Ezek az anyagok általában kiváló mechanikai tulajdonságaikkal rendelkeznek. Az alumíniumhab is ezek közé az anyagok közé tartozik. Ez az anyag rendkívül könnyű és emellett nagy teherbírással rendelkezik. Az anyag rezgéselnyelő képessége, a cellás szerkezetének köszönhetően meglehetősen jó. Kutatásunk célja feltárni az alumíniumhab forgácsolásának lehetőségeit.

Abstract

Nowdays, special materials are used at more and more places. These materials generally are characterized by excellent mechanical properties. The aluminium foam is one type of special material. This material can be characterized by ultra-light weight and very high strength. Moreover, this material has very good vibration absorbing capability due to the cellular structure. The aim of our research is to investigate the possibilities of machinability of aluminum foam.

1. Bevezetés

A fémhabokhoz hasonló sejtes szerkezetű anyagok egyre népszerűbbek a könnyű szerkezetek tervezése során. Az 1948-as kezdeti kutatások óta sokféle fémhabot alkottak. Számos fém és ötvözet habosítható, mégis az alumíniumhabra van a legnagyobb piaci igény, ezért is készül a legtöbb tanulmány erről az anyagról. Az alumínium habot annak ellenére is nagy érdeklődés övezi, hogy gyakorlati felhasználása erősen korlátozott. Az Aluinvent Zrt. egy új fémhab gyártási technológiát fejlesztett ki melynek eredménye egy új típusú alumíniumhab, az úgynevezett ALUHAB® (1.ábra).



1.ábra ALUHAB tömb

* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: liska.janos@gamf.kefo.hu

Ezzel a technológiával, meghatározott cellaméretű és mechanikai tulajdonságokkal rendelkező alumíniumhab gyártható. Az így gyártott alumíniumhab, a kompozit anyagokra jellemző kis tömeggel és a fémekre jellemző mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. A cellaméret változtatásával rengeteg különböző sűrűségű és mechanikai tulajdonságú hab hozható létre, az igényeknek megfelelően. Az eljárás költséghatékony és rugalmas mivel az így előállított habosított alumínium, formába önthető, vagy éppen összetettebb kompozit anyagok alapjaként is felhasználható. Az ALUHAB® egy speciális habosítható kompozit, mely ultra finom szemcsékből áll (80nm-20µm). Ez a kompozit egy speciális magas hőmérsékletű egyesítő technológiával készül, mely biztosítja a stabilizáló szemcsék homogén eloszlását.

Az új technológia az eddigiekkel szemben lehetővé teszi a légbuborékok méretének, és ezen keresztül a termék sűrűségének változtatását, akár egy befecskendezésen belül is. Így változó cellaméretű anyag hozható létre. A legkisebb befecskendezett légbuborékok mérete a fúvóka furatának átmérőjével egyezik meg. Az új ALUHAB® cellamérete 0,5 és 5 milliméter között változtatható. A hab sűrűsége 0.6g/cm³ és az átlagos cellaméret 1 milliméter.

2. A megmunkált anyag tulajdonságai

Az ALUHAB® laminálható, ezért felhasználható szendvics szerkezetű kompozitok alapanyagaként. Kutatásunk célja egy ilyen szendvics szerkezetű kompozit anyag forgácsolásának vizsgálata. Két különböző ALUHABOT szén-szál erősítésű kompozittal (CFRP) lamináltunk. A vizsgált anyagok tulajdonságait az 1. táblázat mutatja.

1.táblázat. ALUHAB® anyagjellemzői

	Anyag jelölése	Tömeg [g]	Sűrűség g/cm ³
1.	AlSi10_6AlO6	210	0,4
2.	6061_8AlO6Mg	780	0,9

A CFRP rétegek elkészítéséhez előre impregnált kompozit lemezt használtunk. A laminálás után, a darabok készen álltak a forgácsolási kísérletek elvégzésére (2.ábra).



2.ábra A szendvics szerkezet

A két anyag típus párosítása gondot jelent, mert eltérő mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek, így fúrásuk során nem biztos, hogy azonos szerszámmal, illetve technológiai paraméterekkel elvégezhető a fúrás. Olyan szerszámot kell választani, aminek az anyaga és a geometriája alkalmas a feladat elvégzésére, továbbá a technológiai paramétereket is ennek a függvényében kellett meghatározni, természetesen kompromisszumok megkötése mellett. Esetünkben a szerszám több időt tölt az alumíniumhabban, mint a fellaminált kompozit rétegben, így a választás során az alumíniumhab volt a meghatározóbb.

A kísérletek során a réteges szerkezetű kompozit anyagok fúrásakor fellépő általános problémákat (szerszám intenzív kopása, anyag delaminációja és szálásodása (3.ábra) és a forgácsolás során keletkező magas hőmérséklet) vizsgáltuk.

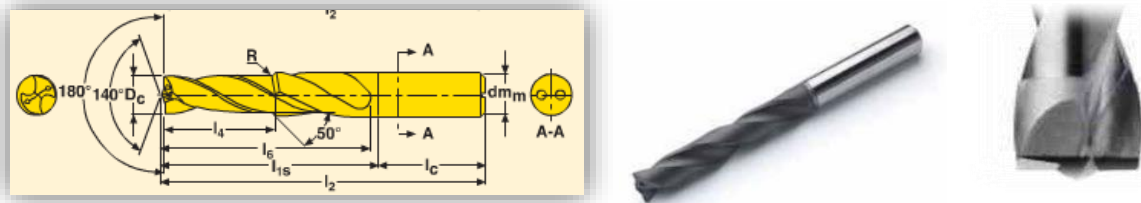


3.ábra Kompozit anyagok szálásodása fúrás során

3. A kísérlet technológiai háttere

A fúrást CNC marógépen (NCT Tomill-250) végeztük. A delamináció és a szálasodás jelensége a minőség rovására megy. A cél egyértelmű volt: egy olyan szerszám használata, amit célzatosan kompozitokhoz, szendvics szerkezetekhez optimalizáltak, így eset a választás a SECO SD205A-6.38-35-8R1-C2 (4.ábra) speciális kompozitfúróra. [13]

A fúró gyémánt bevonata hosszú élettartamot és kiemelkedő méretpontosságot eredményez megfelelő technológia mellett. Él kialakítása kifejezetten szendvics szerkezetek megmunkálására ajánlott.



4. ábra. SECO SD205A-6.38-35-8R1-C2 [13]

Az alumíniumhab inhomogenitása és cellás szerkezete nagymértékben megváltozhat hűtőkenő folyadék használata esetén, ezért a kísérletet hűtés nélkül végeztük.

Három fúróciklust használtunk a fúráshoz. Ezek közül az egyik egy egyszerű, beépített fúróciklus, míg a másik kettő egyedi. A kísérlet során ciklusonként négy furatot fúrtunk. A technológiai paramétereket a szerszámhoz ajánlott paraméterek alapján határoztuk meg, míg az előtolás értéke egyes furatonként eltérő volt.

Technológiai adatok:

- Forgácsolósebesség: $vc=100 \text{ m/min}$
- Fordulatszám: $n=5000 \text{ 1/min}$
- Ciklusok száma: 3 db.

1. Általános fúróciklus //G81//

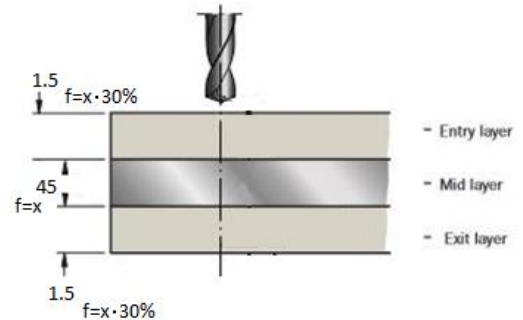
- Előtolási értékek:
 $f_1=0.05; f_2=0.075; f_3=0.1; f_4=0.15$

2. Módosított fúróciklus 1 //M1// (5. ábra)

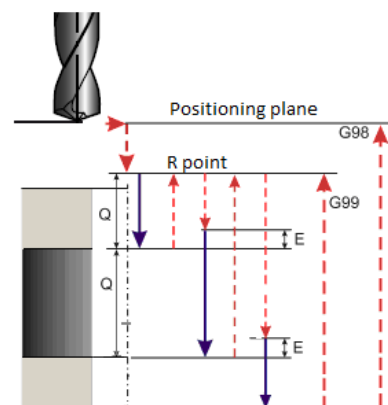
- Rétegenként eltérő előtolási értékkel:
 $f_{30\%}=f_{1-4} \cdot 30\%$ bekezdésnél és kilépéskor;
 $f_{1-4}(=x)$ a középső rétegben;

3. Módosított fúróciklus 2 //M2// (6. ábra)

- Mélyfúróciklus paraméterei:
 Q =rétegvastagság; $E=0,5 \text{ mm}$; $R=2,5 \text{ mm}$
 $f_{30\%}=f_{1-4} \cdot 30\%$ bekezdésnél és kilépéskor;
 $f_{1-4}(=x)$ a középső rétegben;



5. ábra. Változó előtolás minden rétegben



6. ábra. Mélyfúró ciklus

A CNC program megírása "manuális" úton, kézzel történt, majd CAM programban teszteltük (7. ábra).



7.ábra Szerszám pálya a CAM szoftverben

További fontos kísérleti elem a megmunkáláskor használt munkadarab-befogó készülék. A készülékelemeket és a befogás módját úgy választottuk meg, hogy a lehető legjobban kizárjuk a külső befolyásoló tényezőket és biztosítsák a merev befogást (8.ábra).

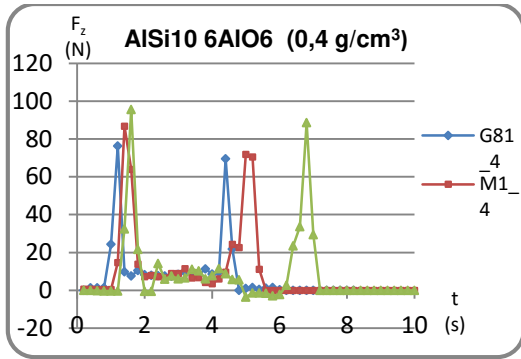


8.ábra. Munkadarab-befogó készülék

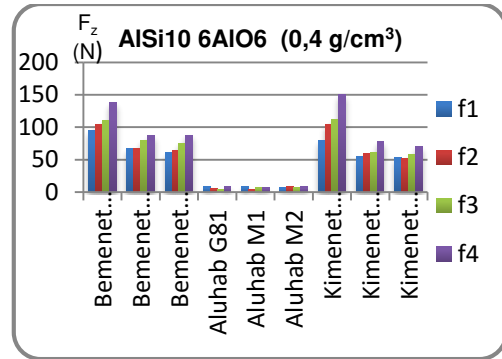
4. A kísérlet kiértékelése

A kísérletek alatt a kiértékeléshez KISTLER erő- és nyomatékmérő berendezést, Leonova SPM rezgésmérőt, Mitutoyo Quick vision ELF PRO mikroszkópot használtunk.

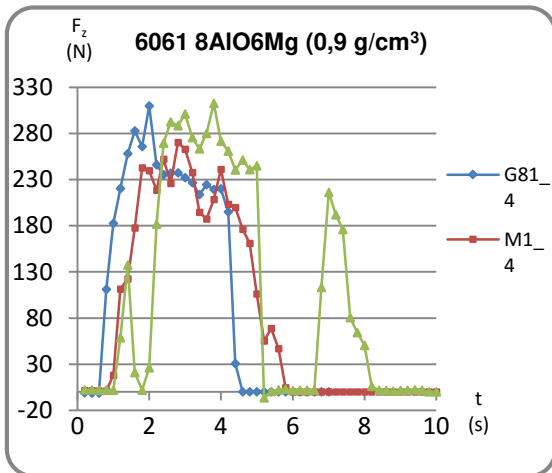
A fúrást a 0,4 g/cm³ sűrűségű alumínium habbal kezdtük. Ennek oka, hogy előzetes feltételezésünk szerint a szerszámkopás ezen anyagnál alacsonyabb lesz. A mért eredményeket az alábbi diagramok foglalják össze (9-10-11-12. ábra).



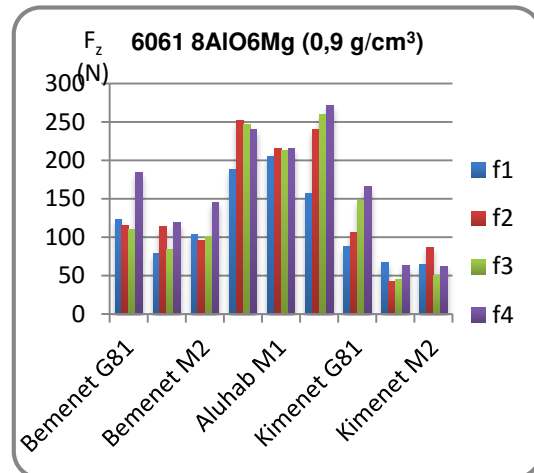
9. ábra Az átlagosan ébredő főforgácsoló erő az idő függvényében az f4 előtolási érték esetén. Az ábrán az egyes ciklusok külön elemezhetők. (0,4 g/cm³)



10. ábra. A legnagyobb ébredő erő értékek alakulása különböző megmunkálási ciklusok esetén az egyes rétegekben (0,4 g/cm³)



11. ábra Az átlagosan ébredő főforgácsoló erő az idő függvényében az f4 előtolási érték esetén. Az ábrán az egyes ciklusok külön elemezhetők. (0,9 g/cm³)



12. ábra. A legnagyobb ébredő főforgácsoló erő értékek alakulása különböző megmunkálási ciklusok esetén az egyes rétegekben (0,9 g/cm³)

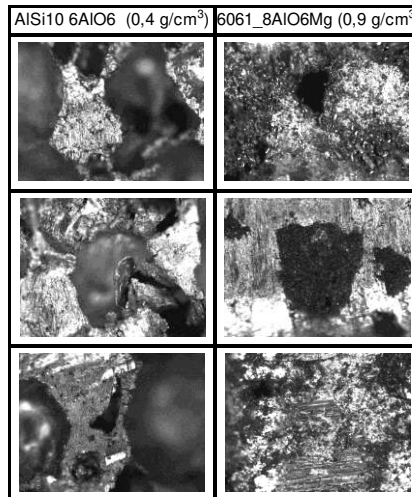
Amint azt az ábrák mutatják, a 0,9 g/cm³ alumíniumhabnál jóval magasabb forgácsoló erő értékek jelentkeztek, mint a CFRP-ben. Ennek épp az ellenkezője figyelhető meg a kisebb sűrűségű ALUHAB® esetén: a CFRP-ben az aluhabhoz viszonyítva jóval nagyobbak az erőértékek. Ez alapján feltételezhető, hogy kétszeres sűrűség esetén tízszeres erőértékek jelentkeznek.

A sűrűbb ALUHAB® esetében az egyes ciklusok közti különbség szembetűnőbben jelentkezett. Ez különösen a szendvicsszerkezet alján volt megfigyelhető. Általánosságban elmondható, hogy az alumíniumhab igen jó rezgéselnyelő képességgel rendelkezik, köszönhetően a cellás szerkezetének. Az egyes fűróciklusok közti különbség elenyésző mértékben befolyásolja a mért rezgési értékeket. (2. táblázat)

2.táblázat A mért rezgési értékek a 0,4g/cm³ alumínium hab esetén

	Rezgések			
	G81	M1	M2	
DISP	8,52	11,43	7,08	μm
Vel	0,22	0,23	0,1	mm/s
Acc	0,34	0,27	0,04	mm/s ²

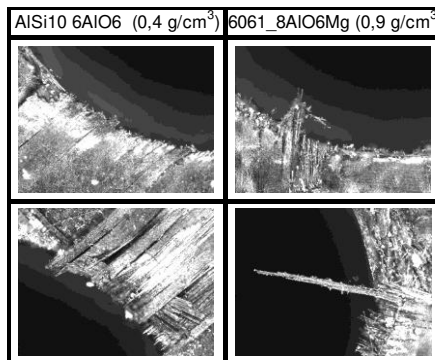
A forgácseltávolítás a 0,4 g/cm³ anyag esetén folyamatosabb volt, míg a 0,9 g/cm³ anyagnál a szén forgács gyakran a cellás szerkezetbe szorult/kenődött (13. ábra).



13. ábra. A furatok falának mikroszkópi képe 80x-os nagyításban.

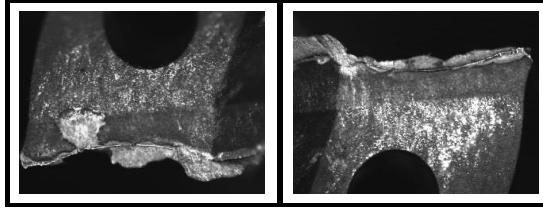
A forgácsolási paraméterek kis mértékben befolyásolták a szálasodást/kirojtosodást. A kísérlet után ez a jelenség rendszertelenül lépett fel a furatok kimeneti oldalán (14. ábra).

A helyesen megválasztott technológiának és szerszámnak köszönhetően delaminációs jelenséget sem a belépési sem a kilépési zónában nem tapasztaltunk.



14. ábra. Szálasodás a furatok kimeneti oldalán (80x-os nagyításban).

A kísérlet előtt magas hőmérsékletet feltételeztünk, mely később be is igazolódott, sőt a vártnál is magasabb volt az értéke. Ennek hatására a gyémánt bevonatú szerszám elveszítette számos kedvező tulajdonságát, ami többek között intenzív kopáshoz vezetett. (15. ábra)



15. ábra. A gyémántbevonatos fúró kopása (80x-os nagyításban)

Ezt a jelenséget főként a nagyobb sűrűségű ALUHAB[®] fúrásánál tapasztaltuk, amely ötvözőként magnéziumot és alumínium-oxidot is tartalmaz. Ezek szintén szerepet játszhattak a szerszám éltartam drasztikus csökkenésében.

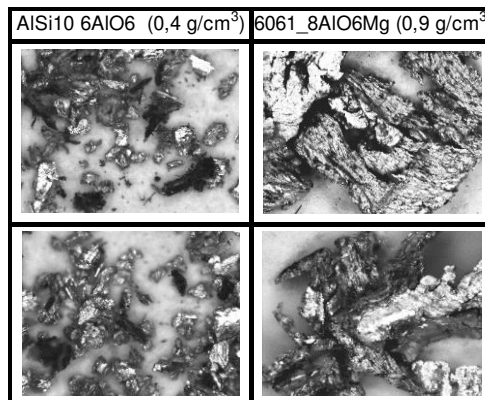
5. Összefoglalás

A szendvics-szerkezet hasznossága megkérdőjelezhetetlen. Mind dizájn, mind pedig súlycsökkentés szempontjából előnyös kombináció. További meghatározó érv az ALUHAB[®] remek rezgéselnyelő képessége.

Alapvetően ezen anyag forgácsolása nem bonyolult, de számos további tényező teszi mégis nehézkesé:

- Szálasodás
- Intenzív szerszámkopás az ötvözők miatt.

A kísérlet során tapasztalt forgácsalakok láthatók a 16. ábrán. Ezen típusú forgácsalakok kifejezetten káros hatással vannak a szerszám gép mozgóelemeire, így a vezetékek védelme kiemelten fontos feladat.



16. ábra. A kísérlet során jelentkezett forgácsalakok

A kísérleti eredmények alapján a kisebb sűrűségű anyag esetén a G81 ciklus használata elegendő, mert a furat minősége és a fellépő erők nagysága nem mutat számottevő különbséget és ezen ciklus rendelkezik a legkisebb gépi idővel.

Nagyobb sűrűségű ALUHAB[®] esetén azonban a fúróciklus felépítése jóval relevánsabb. Ha az idő másodlagos tényező a minőség után, a kísérleti eredményekre hivatkozva az M1 és az M2-es ciklus javasolt (melyek közül a furat hossza alapján dönthetünk).

Összefoglalva kijelenthető, hogy pontos technológiai ajánlásokhoz további vizsgálatokra van szükség, de jelen kutatás remek kiindulási alapja a későbbi projekteknek.

Köszönetnyilvánítás

TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0012 "A tudományos képzés műhelyeinek támogatása - A tudomány művelői és műhelyei a Kecskeméti Főiskolán"

Irodalomjegyzék

- [1] Banhart, J., D. Weaire. "On the Road Again: Metal Foams Find Favor", *Physics Today*, Jul 2002, pp.37-42.
- [2] Gergely, V., H.P. Degischer, and T.W. Clyne. 2000. "Recycling of MMCs and production of metallic foams", *Comprehensive Composite Materials*, 3: 797-820
- [3] US Patent 2,434,775 (1948)
- [4] Banhart, J. 2000. "Manufacturing routes for metallic foams", *JOM*, 52: 22-27
- [5] Degischer, H.P., B. Kriszt, *Handbook of cellular metals, Production, Processing and Applications*, Wiley-VCH/Verlag GmbH, Germany, 2002.
- [6] Gibson, L.J., M.F. Ashby, *Cellular Solids, Structure and Properties*, 2nd ed., Cambridge, U.K, 1997.
- [7] Ashby, M.F., A.G. Evans, J.W. Hutchinson, N.A. Fleck, *Metal Foams: a Design Guide*, Butterworth-Heinemann, USA, 2000.
- [8] US Patent 4,713,277 (1987)
- [9] Wood, J.T., "Production and Application of Continuously Cast, Foamed Aluminum", in *Metal Foams*, eds. J. Banhart and H. Eifert, MIT/Verlag, Germany, 1998., pp. 31-35.
- [10] US Patent 5,151,246 (1992)
- [11] Leitmeier, D., H.P. Degischer, H.J. Flankl. 2002. "Development of a foaming process for particulate reinforced aluminum melts", *Advanced Engineering Materials*, 10: 735-740.
- [12] N. Babcsan, S. Beke, P. Makk, Method for producing a metal foam by oscillations and thus obtained metal foam product, Patent WO2010_064059 A2.
- [13] https://www.store.secotools.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10063&storeId=10212&productId=58120&langId=5&parent_category_rn=201032&top_category=200705&backLink=CategoryDisplay%3FcatalogId%3D10063%26storeId%3D10212%26categoryId%3D201032%26langId%3D5%26parent_category_rn%3D201032%26pageView%3D%26pageSize%3D15%26beginIndex%3D30 [Megtekintés: 2-Okt-2015].

ÜVEGSZÁL ERŐSÍTÉSŰ KOMPOZIT FÚRÁSÁNAK VIZSGÁLATA GYORSACÉL ÉS KEMÉNYFÉM SZERSZÁMMAL

DRILLING OF GLASS-FIBER-REINFORCED COMPOSITE BY HSS AND CARBIDE

Liska János*, Kovács Zsolt Ferenc, Sándor Roland

Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

szerszámválasztás
optimalizálás
delamináció

Keywords:

tool selection
optimization
delamination

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Ezen kutatás célja az üvegszál erősítésű kompozit (GFRP) anyag fúrásának vizsgálata két különböző élgeometriájú és anyagú (gyorsacél és keményfém) szerszám esetén. A kutatás során a szerszám kopását, a forgácsolás közben ébredő előtolás irányú erőt, az elkészített furatok alakhibáját és a kifúrt anyag delaminációját vizsgáltuk.

Abstract

The aim of this study is drilling with two different edge geometry and materials (HSS and carbide) tool in glass-fiber-reinforced composite (GFRP) materials. During the research were tested the tool wear, cutting force, holes error and the delamination

1. Bevezetés

Napjainkban a kompozit anyagokat egyre szélesebb körben használják fel olyan iparágakban, mint a repülő ipar vagy gépjármű ipar. Az iparnak olyan ágazatai ezek, melyekben különösen nagy jelentősége van a termelékenységnek és a pontosságnak. A kompozit anyagok megmunkálása során azonban felvetődik néhány probléma. Ezen problémák közé tartoznak az anyag delaminációja -ami ronthatja a legyártott alkatrész mechanikai tulajdonságait- és a szerszám gyors kopása, mely negatívan hat az elkészített furatok minőségére és a gyártás gazdaságosságára. [2]

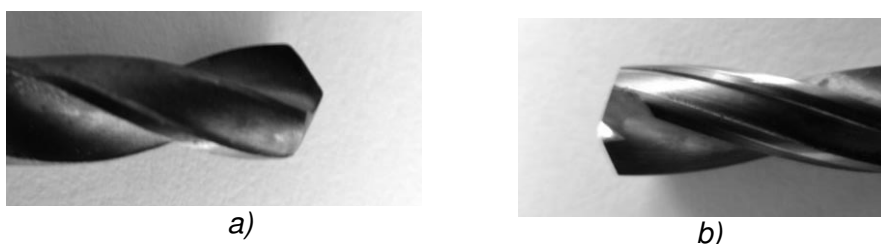
2. Vizsgált elemek

A megmunkált anyag egy üvegszál erősítésű kompozit anyag. A vizsgált anyagban az üvegszál és a gyanta aránya 60%-40%.

A fúráshoz választott két szerszám egyike egy hagyományos gyorsacél csigafúró (a), míg a másik egy kifejezetten a kompozit anyagok fúrására tervezett tömör keményfém csigafúró (b) (1. ábra).

Megjegyezendő, hogy a keményfém csigafúró ára tizenötszöröse a hagyományosénak, ezért erősen függ a megmunkálás minőségével szemben támasztott elvárásoktól az, hogy melyik szerszám alkalmazása gazdaságos.

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: liska.janos@gamf.kefo.hu



1. ábra. Gyorsacél (a) és keményfém (b) csigafúró

3. Technológiai paraméterek

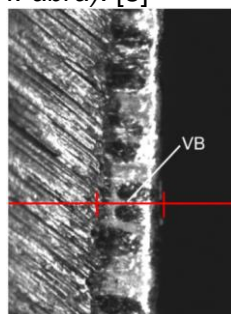
A forgácsolás megkezdése előtt meghatározásra kerültek a tesztelni kívánt technológiai paraméterek. A kísérlet tervezés e fázisában a fő szempont az volt, hogy a választott paraméterek illeszkedjenek az adott szerszám anyagához és geometriájához. Ez azt jelenti, hogy a gyorsacélnál 40 m/min, míg a keményfémnél 60 m/min-es forgácsolási sebesség volt a mérvadó. A többi választott paramétert az 1. Táblázat tartalmazza. [3]

1. Táblázat. Technológiai paraméterek

jelölés	szerszám átmérő, mm	szerszám ár, Ft	anyagok		technológiai adatok				
			szerszámanyag	megmunkált anyag	forgácsolósebesség (v_c), m/perc	fogankénti előtolás (f_z), mm/fog	fordulatonkénti előtolás (f_n), mm/ford	előtoló sebesség (v_f), mm/perc	fordulatszám (n_s), 1/ford
A/1	6	1000	Gyorsacél	GFRP	40	0,025	0,05	107	2123
A/2					55	0,025	0,05	146	2918
A/3					60	0,025	0,05	160	3184
B/1	6,35	15000	Keményfém		60	0,025	0,05	151	3008
B/2					100	0,025	0,05	251	5013
B/3					150	0,025	0,05	376	7520

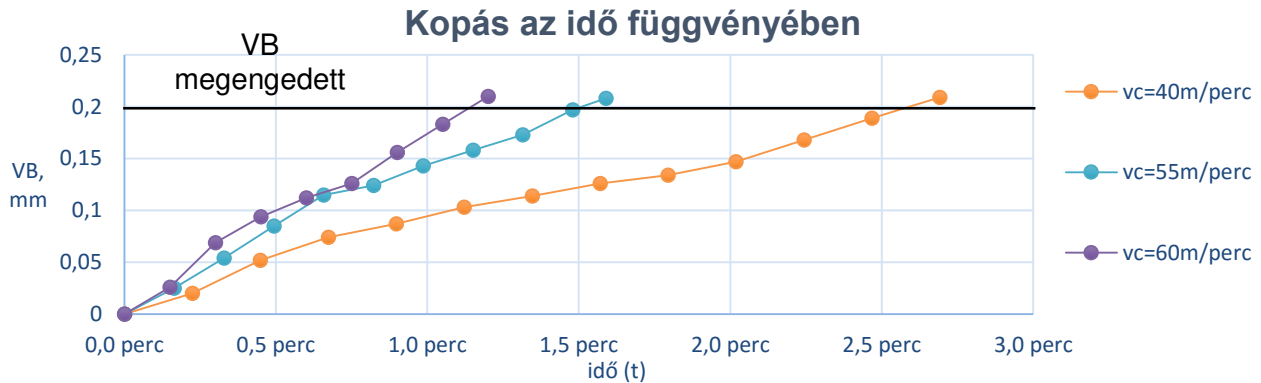
4. Szerszámkopás

A szerszám főélkopásának meghatározásánál ügyelni kellett arra, hogy minden mérésnél a főél ugyanazon pontjánál történjen a mérés, mert a kopás mértéke (fúrók esetén) a keresztéltől a főél végéig növekszik, mivel ott a legnagyobb a forgácsolósebesség tényleges értéke és így ott ébrednek a legnagyobb erők is. Ezt követően folytattuk a megmunkálást. A gyorsacél szerszámok esetén a megengedett kopás mértéke (VB megengedett) 0,2 mm, mert ekkor már fennáll a szerszámtörés veszélye, valamint nagy hő keletkezik forgácsolás közben, ami károsíthatja az üvegszál erősítésű kompozit alapanyagát (4. ábra). [3]

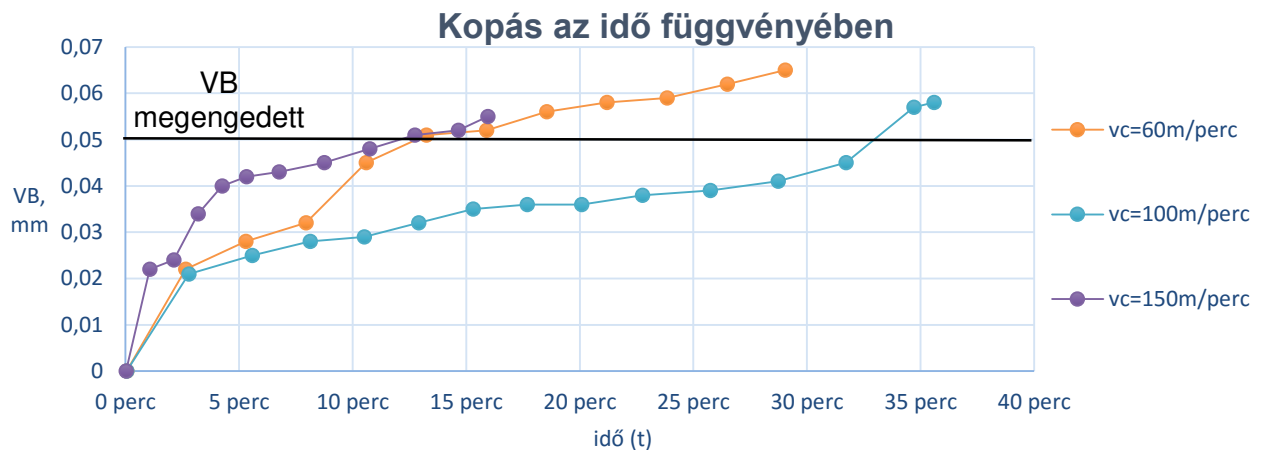


4. ábra. HSS csigafúró megengedett kopása

A keményfém szerszámok esetén csak 0,05 mm-es kopás értékig végeztük a kísérletet, mert ezen érték eléréséhez is 35 perc forgácsolási idő kellett, mialatt a gyorsacél szerszám 2,6 perc után elérte a 0,2mm-es kopáshatárt. A kísérlet során mért adatokat az 5. ábra és 6. ábra mutatja.



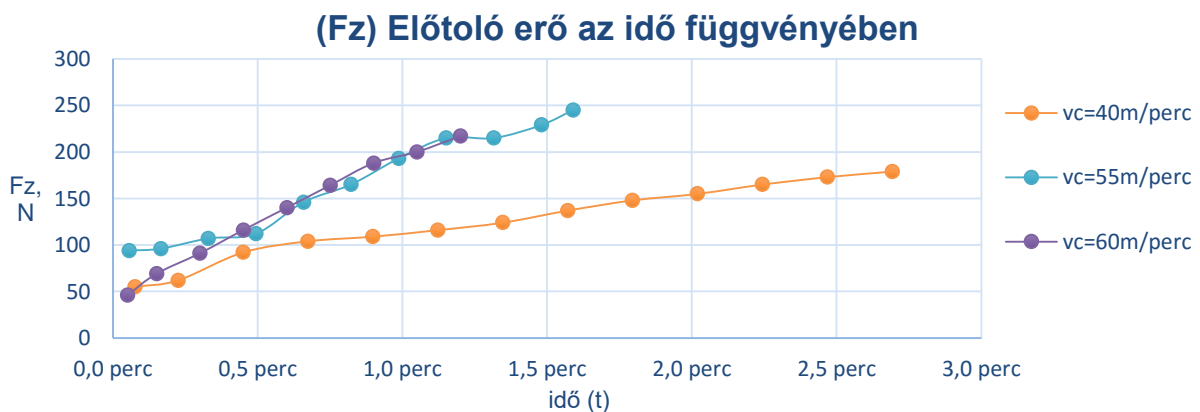
5. ábra Szerszámkopás alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén



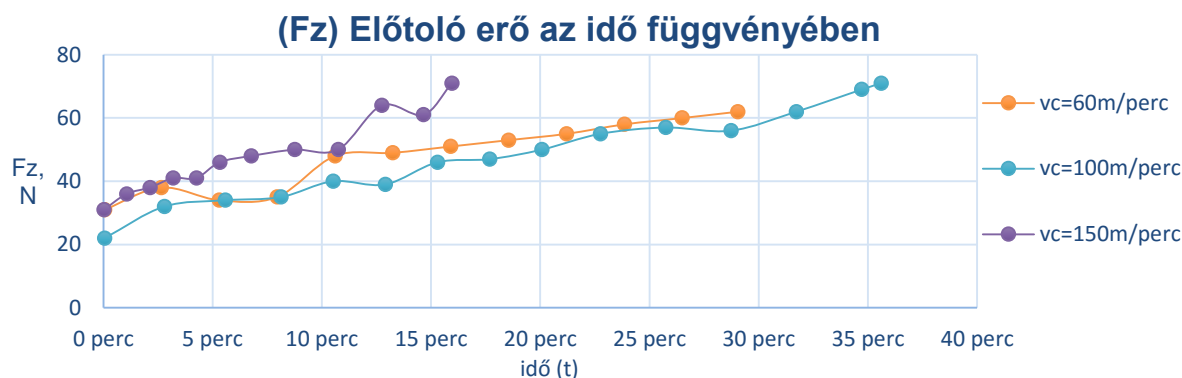
6. ábra. Szerszámkopás alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén

5. Erőváltozás

A szerszám kopás mértékével egyértelműen nőni fog az előtolási erő is. Ezért a megmunkálás közben egy a CNC szerszámgép főorsójára rögzíthető erő- és nyomatékmérő berendezés segítségével megmértük az előtoló erőt (7. ábra és 8. ábra). [2]



7. ábra. Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén

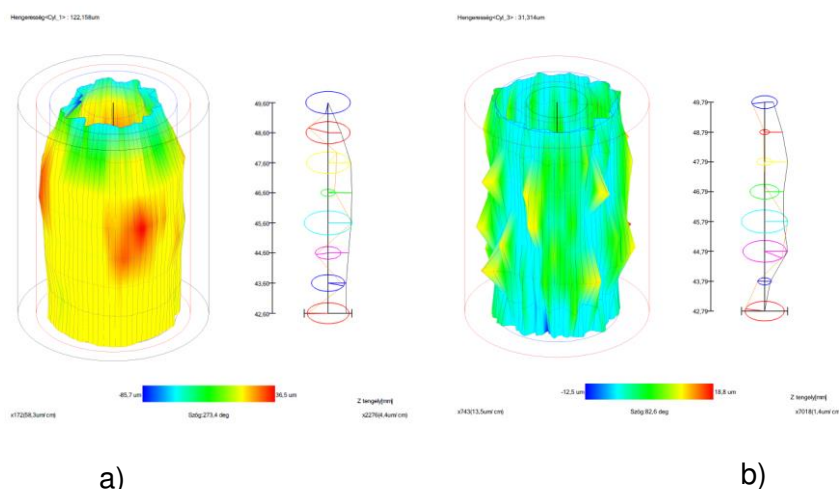


8. ábra. Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén

Az erők növekedése a szerszámkopáson kívül a hőmérséklet növekedéséhez vezet, ami hatással van a furatok hengerességére és az anyag delaminációjára is. A furatok hengerességének a felhasználás szempontjából óriási a jelentősége, mivel a legtöbb esetben egy perselyt helyeznek a furatba. Így biztosítani lehet az anyag megfelelő kopásállóságát használat közben. [2]

6. Hengeresség

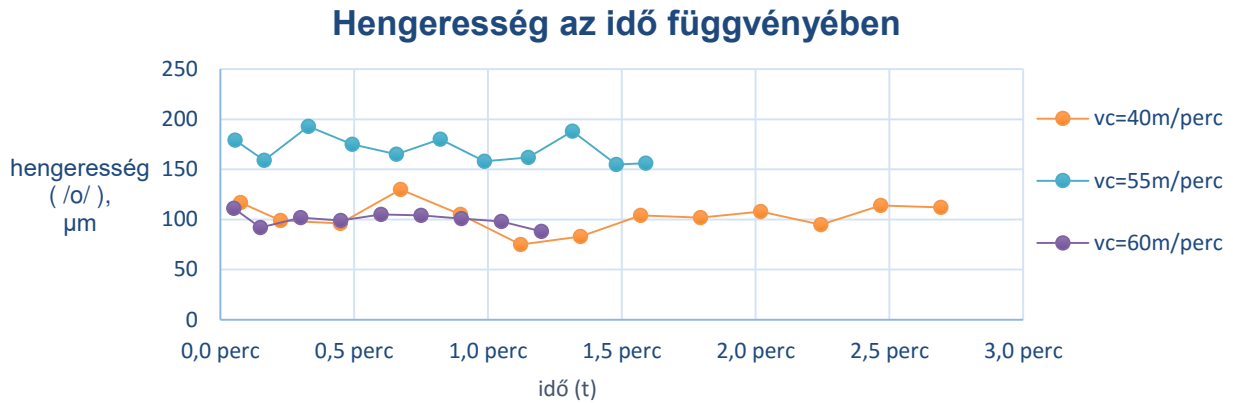
A furatok alakhibáját köralak hibamérő berendezés segítségével állapítottuk meg. A köralak hibamérő szoftvere által készített diagramon látható, hogy a kimeneti oldalon (az a) ábra felső részén) a furat szűkül (9. ábra).



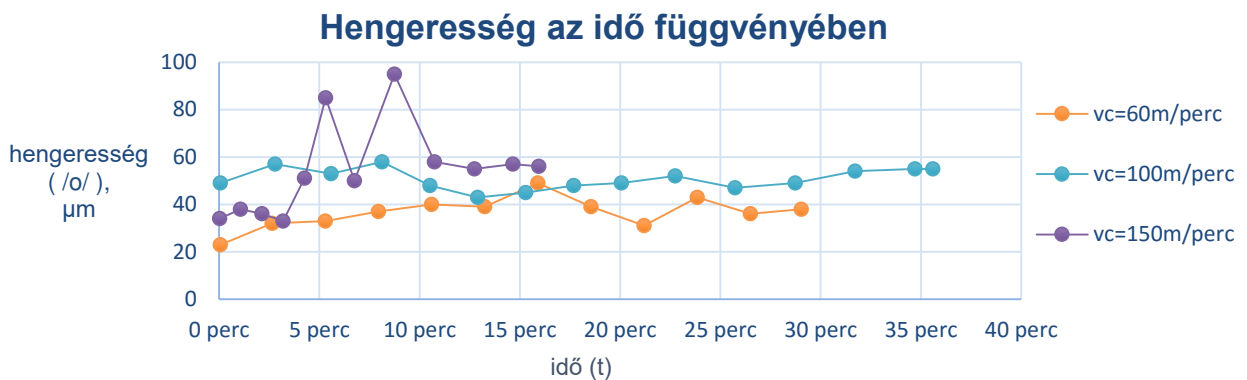
9. ábra. Gyorsacél csigafúró által készített (a) (vc=40m/perc; 9. furat) és keményfém csigafúró által készített (b) furat jellegzetes képe (vc=60m/perc; 50. furat)

Ennek oka, hogy a fúró az utolsó rétegeket már nem csak forgácsolja, hanem képlékenyen is alakítja és az anyag rugalmasan képes deformálódni a kilépési oldalon. A keményfém szerszámmal készült furat esetében ez a furatszűkülés, már nem jelentkezik. Ez a jelenség azért jelentkezik a gyorsacél szerszámmal készült furatoknál, mert a forgácsolósebesség alacsonyabb és a keményfém csigafúró élgeometriája kifejezetten kompozitokhoz lett kialakítva.

Ennek megfelelően a tömör keményfém szerszámmal készített furatok alakpontossága jelentősen jobb, mint a gyorsacél szerszámmal készüteké (10. ábra és 11. ábra).



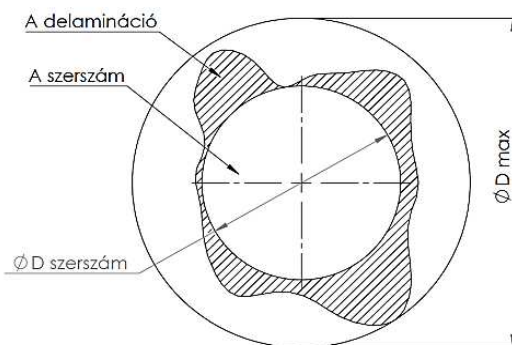
10. ábra. Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén



11. ábra. Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén

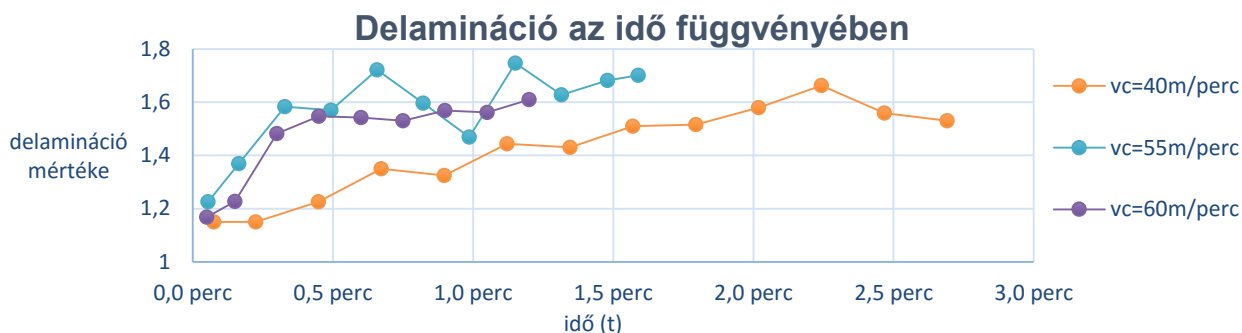
7. Delamináció

Forgácsolása közben (főleg fúrás közben) az anyagban úgynevezett delamináció jön létre. A delamináció nem más mit az anyag rétegeinek egymástól való elválása, eltávolodása [1]. Ebben az esetben a delamináció méréséhez digitális képfeldolgozó rendszert kellett alkalmazni, aminek a segítségével a károsodott felület határán egy pontfelhőt kellett felvenni. A delamináció mértékét a pontfelhő pontjaiból származtatott görbe által bezárt terület (A delamináció) valamint a szerszám névleges átmérőjéhez tartozó terület (A szerszám) hányadosa adja (12. ábra). [3]

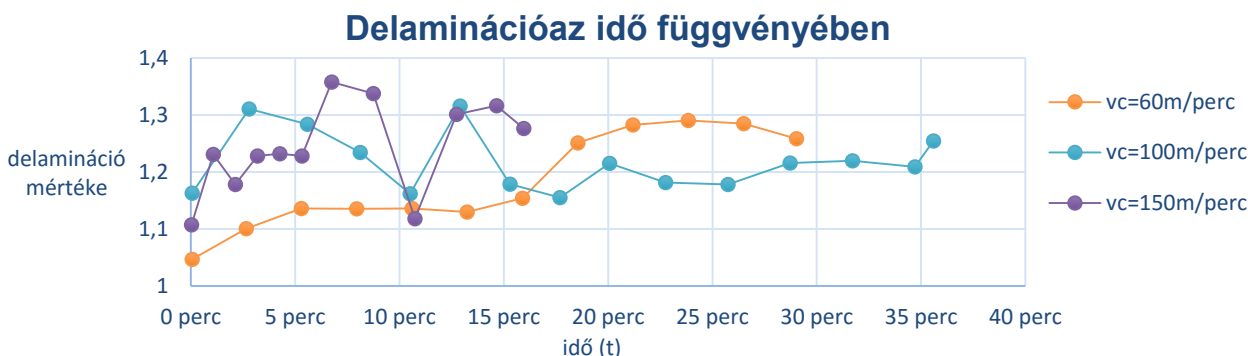


12. ábra. Delamináció számítása [3]

A számítási eredmények alapján felvett grafikonból jól látható, hogy a HSS fúró nagyobb delaminációt okozott, továbbá az idő teltével mindkét szerszám esetén a delamináció mértéke is tovább növekszik, de itt is a HSS szerszámnál mérhető a nagyobb alakváltozás (13. ábra és 14. ábra).



13. ábra. Delamináció alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén



14. ábra. Delamináció alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén

8. Összegzés

Elmondható, hogy a két különböző csigafúró (mind geometria, mind anyagminőség) minőségi szempontokat figyelembe kell venni a szálerősítésű anyagok forgácsolásakor. Mivel az üvegszál anyagok forgácsolhatósága igen változó (az anyagtulajdonság változásnak köszönhetően), ezért majdnem minden egyes esetre más és más szerszámot és technológiai paramétereket kell alkalmazni.

Az igen intenzív mechanikus-abrazív kopás véget a gyorsacél szerszámok használhatatlanok a szálerősítésű anyagok forgácsolásakor. A keményfém szerszámok már termelékenyebben tudnak forgácsolni. Elmondható az is, hogy a technológiai paraméterek megválasztásakor (a keményfém esetében) figyelembe vettük a gyorsacél technológiai paramétereit is. Nagyobb technológiai paraméterek mellett a keményfém is sokkal gyorsabban elérné a megengedett kopás értékét. Éppen ezért a gyémánt bevonatos szerszámok alkalmazása célszerű, ha szálerősítésű anyagokat munkálunk meg.

Az erők, delamináció és az alakhűség vizsgálatok is a keményfém csigafúrók hozták a legjobb eredményeket. Ez a különbség a szerszám különleges élgeometriájából következik.

A jövőben szükségességét érezzük a forgácsolási hőmérsékletek vizsgálatát a szálerősítésű anyagok fúrásakor, mert azt feltételezzük, hogy a forgácsolási hőmérséklet csökkentésével még kedvezőbb eredményeket érhetünk el.

Irodalomjegyzék

- [1] A polimertechnika alapjai. [Online]. Available: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/index.html>. [Megtekintés: 01-Okt-2015].
- [2] LÍSKA, J., KODÁCSY, J.: *Drilling of Glass Fibre Reinforced Plastic*. Advanced Materials Research Vol. 472-475, TransTech Publication Ltd, Zürich, 2012. pp.: 958-961
- [3] SÁNDOR R.: Optimalizált fúrás. TDK dolgozat. Kecskemét 2014.

Járműjavítási tevékenység inverz logisztikai folyamatmodelljének parametrizálása

Makány Gábor ^{1*}

¹ Gazdálkodás és Szervezéstudományi Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

² Enyedi György Regionális Tudományok Doktori Iskola, Gazdaság és Társadalomtudományi Kar, Szent István Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

járműjavítás,
javítás kiszolgálás,
modell paraméter,
modellváltozók,
paraméterek

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A járműjavítás egyik speciális területe, a javítási feladat alkatrészszel való ellátása. A folyamat optimális működéséhez szükséges az, hogy az alkatrész kiszolgálás ne szerepeljen szűk keresztmetszetként a folyamatban. A javítási folyamatot befolyásolja az, ha az alkatrészt külső forrásból kell beszerezni vagy pedig rendelkezésre áll. A készlet szint amplitúdóját befolyásolja az, hogy kiszereelt alkatrészeket tudunk-e felújítani és később használatba venni vagy pedig nem. Egy javító vállalatnál szükséges vizsgálnunk azt, hogy az alkatrész felújítási feladat hogyan befolyásolja a szolgáltatás végzését, minőségét. Ennek modellezése, paraméterezése, változóinak meghatározása kerül bemutatásra a tanulmányban.

Abstract

Support of a repairing process is a special area. To get an optimally working process have to consider components as a non-bottle neck effect. Success of a repairing proces depends on the source of procurement. Procurement could be internal or external. The level of stores affected by the fact of renewal. At a company who repairing cars, we have to analyse how componens renevation affects their services. In this paper I'm going to show parameters, alternates, variables of this special repairing process

* Makány Gábor. Tel.: +36 30 565 4921;
E-mail cím: makany.gabor@gamf.kefo.hu

1. Problémafelvetés

Egy értékteremtő folyamat során információkból, materiákból alakítunk egy szolgáltatást vagy terméket. A folyamat során felhasználunk különböző energiákat, erőforrásokat, technológiákat melyek együttesen egy transzformációs folyamatot eredményeznek. A transzformáció segítségével érjük el az érték keletkezését. Több alkatrésze külön-külön tekintve sokkal kisebb értéket jelent a fogyasztó számára, mint az alkatrészek összeszerelve, terméket alkotván. A hozzáadott érték mértéke viszont nehezen számszerűsíthető, eredményét a termék költség/haszon összevetéséből állapíthatjuk meg.

A gyártó a gazdaságosság alapelvét szem előtt tartja. Vagyis próbál a lehető legkisebb energiaráfordítással a lehető legnagyobb hasznosulást elérni. Vagy egy meghatározott hasznosulási szintet a lehető legkisebb energiaráfordítással elérni. Így számára nem mindegy, hogy egy termék bizonyos egységeit mennyire hatékony felhasználási, beépítési ráta mellett tudja beépíteni termékébe.

Az gyártási folyamat során keletkeznek selejtek. A selejt az a termék, ami funkcióját, feladatát a folyamat bizonyos pontjában nem képes ellátni. Fontos itt kiemelni, hogy a folyamat egy bizonyos pontjában nem képes ellátni. Vagyis azt feltételezzük, hogy a selejt alkatrészek között még található egy nullánál nagyobb értékű, javítható termék mennyiség. Nyilván ezek az alkatrészek a javítható selejt kategóriájába tartoznak. A javíthatatlan selejtek már csak a hulladékkezelés különböző szintjein jelenhetnek meg. A javítható selejtek tehát különböző mértékű átalakítás után az értékáramba visszacsatolhatóak.

Egy gyártó számára viszont nem mindegy az, hogy az egyes javítható selejtek száma mekkora. Érhetően ezt az számot a lehető legközelebb tartani a 100 %-os értékhez. Minél nagyobb ez az érték, annál kisebb erőforrás befektetéssel érhet el nagyobb hasznot. Vagyis a gazdaságosság alapelvének egyik formája megvalósul. A gyártók folyamatosan törekednek arra, hogy ez az érték a lehető legmagasabb szinten legyen. Ahhoz pedig, hogy ez a szám magas tartható legyen, a gyártási rendszernek megfelelően strukturálnak kell lennie. Ami azt jelenti, hogy nem csak a folyamat egyes elemei, hanem az egyes elemek közti kapcsolatok is rendelkeznek a megfelelő funkciókkal és az ehhez szükséges kapacitásokkal. Vagyis nem elég az egyes folyamat elemek kapacitásszükségletét tervezni, hanem az elemek közti kapcsolatokat is kell.

Ez a gondolatmenet átültethető a szolgáltatói szférára is. Hiszen itt is valamilyen eszközöket, anyagokat, alkatrészeket használunk azért, hogy ezzel értéket teremtsünk. Itt a különbség természetesen annyi, hogy nem egy kész, kézzel fogható terméket kapunk. A szolgáltatás minősége viszont nagyban függ attól, hogy az milyen erőforrásokból tevődik össze. A szolgáltató célja itt is hasonló lesz, a lehető legkisebb ráfordítással a lehető legnagyobb hasznot elérni. Ehhez a célhoz pedig a szolgáltatás előállításához használt termékekből keletkező selejt vagy hulladék felhasználásával közelebb kerülhet. A szolgáltatási szféra területére viszonylag bonyolultabb a selejttermékek felhasználását alkalmazni, mint a termelési szférára. Hiszen itt a tervezhetősége a folyamatoknak sokkal cizelláltabb. Szolgáltatást előállítani eleve csak az igény felmerülésekor lehet, tárolni a szolgáltatásokat nem lehet. Vagyis itt a push technika nem alkalmazható. A szolgáltatási folyamatba tehát a kevésbé prognosztizálhatósága miatt nehezebb a hulladékgazdálkodás és a selejtkezelés elemeit integrálni.

2. Logisztika szerepe ebben a problémakörnyezetben

A szolgáltatási rendszerben szereplő elemek szervezettsége szintén egy olyan kritérium, ami hatékony működéshez elengedhetetlen. A szervezettséghez hozzátartozik az is, csak úgy, mint a termelési szférában, hogy az elemeket összekötő csatornák, tevékenységek is kellően strukturáltak legyenek. Akár szolgáltatásról, akár termelésről beszélünk, a logisztikai tevékenységek ebben az összekötő tevékenységben jelennek meg. Ahhoz, hogy az egyes

termelési fázisok kellően kiszolgáltak legyenek, a termelés mentén a folyamatok tervszerűen működhessenek, abban a logisztikai tevékenység kulcsfontosságú.

A szolgáltatási folyamatokra hasonlóan igaz ez a kijelentés. Ahhoz, hogy egy adott időpillanatban megjelenő igényt a szolgáltató ki tudjon elégíteni, azonnal rendelkezésre kell, hogy álljon a szolgáltatás elvégzéséhez szükséges alkatrész, eszköz, anyag, termék, stb. Egy termelési folyamatban, ha valamilyen diszfunkcióval találkozik a folyamat, ott van lehetőség a termelési folyamat módosítására. Nyilván számolni kell az átalakuló termelési folyamat új időigényével, anyagigényével ami persze csökkenti a folyamat hatékonyságát és növelni fogja a folyamat kapacitásigényét.

Mivel a szolgáltatások nem tárolhatóak, nem halmozhatóak, így a folyamat elvégzésének sikeressége nagyobb jelentőséggel bírhat, mint egy termelési folyamat estében. A szolgáltatások logisztikai támogatottságát tehát nagyobb fontosságúnak tekintem dolgozatomban. A szolgáltatások végzéséhez is ugyanúgy szükségesek bizonyos erőforrások, amit a logisztika biztosít. Ezen erőforrások felhasználása a szolgáltató feladata. Az, viszont, hogy ezt milyen mértékben teszi meg, vagyis egy erőforrást milyen kihasználtsággal épít be szolgáltatásába, az már egy vitatandó kérdés lehet. Értelemszerűen, a szolgáltató is a gazdaságosság alapelve mentén tevékenykedik. Vagyis szeretné az erőforrásait a lehető legnagyobb mértékben kihasználni. Ehhez a logisztikai hozzá tud járulni.

A doktori értekezésem a hulladékgazdálkodás, termék- újrahasznosítás, újrafeldolgozás témakörében íródik. Mivel kimondottan fontosnak tartom azt, hogy a hulladék fogalma ne csak egy ismert, de nem értett tényező legyen az emberek életében, ezért ezzel a dolgozattal is arra szeretnék rávilágítani, hogy a hulladék kezelésével számos pozitív hatást idézhetünk elő. Előző féléves kutatói dolgozatomban már a törvényi értelmezését áttekintettem a hulladékkezelés témájának. Ezen kívül a hulladékgazdálkodási piramis felépítését is áttekintettem.

Még egy meglévő szándék esetében sem egyszerű meghatározni azt, hogy, a hulladékgazdálkodási piramis mely szintjére tud bekapcsolódni. Minél szerteágazóbb módon szeretné a vállalat a keletkező hulladékát kezelni, annál nehezebb megtenni azt. Abban az esetben, ha valamely logisztikai tevékenység ebben segítséget tud nyújtani, akkor már egyszerűsödik a vállalat dolga.

A termékekből, szolgáltatásokból keletkező hulladékot a visszutas logisztika, angol megfelelője szerint a reverz logisztika kezeli. A visszutas logisztika feladata lenne az, hogy a termelés vagy szolgáltatás során keletkező hulladékot valamilyen formában kezelje. Az, hogy a folyamat legvégén a hulladékkal a vállalat mit kezd, vagyis hogy a hulladékgazdálkodási piramis mely szintjére illeszti be azt, az már a vállalati stratégiától függ. Viszont az, hogy ezzel a kérdéssel egyáltalán foglalkozhasson a vállalat, ebben már a visszutas logisztika jelentőségei is nagyban szerepet játszik.

A visszutas logisztika szerepe első sorban a használt termékek, eszközök, anyagok, segédanyagok gyűjtése. A gyűjtést különböző algoritmusok, metódusok alapján működteti a vállalat, vagy egy általa megbízott külön erre szakosodott cég. A gyűjtésen kívül még említhető visszutas logisztikai feladatnak a hulladékok válogatása, szeparálása, szegmentálása. Ez a feladat már több tényezőtől is nagyban függ. Első sorban attól, hogy hulladékkal mit szeretne kezdeni a vállalat. Attól függően, hogy:

- újra akarja-e értékesíteni
- fel akarja-e újítani
- összetevőt szeretne-e kinyerni belőle
- energiát szeretne-e kinyerni belőle
- anyagaina szeretné bontani

a hulladék terméket, attól függően kell a különböző logisztikai tevékenységeket integrálni a feldolgozó folyamatokba. Dolgozatom is konkrétan egy ilyen kérdéssel foglalkozik. Milyen módon és hatékonysággal lehet integrálni egy visszatás logisztikai folyamatemet egy szolgáltatási folyamatba.

3. A konkrét probléma leírása

A doktori értekezésem tudományos eredményeképp szeretnék egy olyan modellt elkészíteni, mely segít a hasonló tevékenységi körrel rendelkező vállalatoknak. A modell egy logisztikai tevékenységet használ fel egy kapacitás meghatározásához, mely egy bizonyos szolgáltatási folyamathoz használható.

A konkrét probléma környezetét tekintve egy szolgáltató vállalatnál jelenhet meg. A vállalkozás járműjavítási feladatokat lát el. Keletkezik egy hiba a tehergépjárművekben, autóbuszokban, amit javítani kell. A partner részéről előáll az igény a szolgáltatás iránt. Elviszi gépjárművét a javítóbázisba, ahol a javítási feladatot ellátja a szolgáltató. A javítási feladatok három különböző kimenettel valósulhatnak meg:

- javítás megtörténik, új egység felhasználása nélkül
- javítás meg történik, új egység felhasználásával
- javítás nem történik meg.

A két perem esettel nem foglalkozik a dolgozatom. Amikor a javítás megtörténik alkatrész felhasználása nélkül, ott egyszerűen a javítót tudása a hozzáadott érték. Itt konkrét logisztikai tevékenység nem jelenik meg.

A másik peremeset, amikor a javítás nem történik meg. Ebben az esetben eleve nem is beszélhetünk sikeres értékképzésről, hiszen a vevői igény nem került kielégítésre. A dolgozatom a középső esetet tekinti működési környezetnek. Amikor a javítási feladathoz nem elég a dolgozó szaktudása, hanem az elem már nem látja el eredeti funkcióját. Vagyis a javítási feladat csak akkor valósulhat meg, ha egy alkatrészt felhasználnak hozzá. A járműben található egység már nem tölti be eredeti funkcióját, az már nincs menetbiztos állapotban. Ezt az alkatrészt le kell cserélni, ezek a megállapítások eddig a legtöbb javítási feladatra igazak lehetnek.

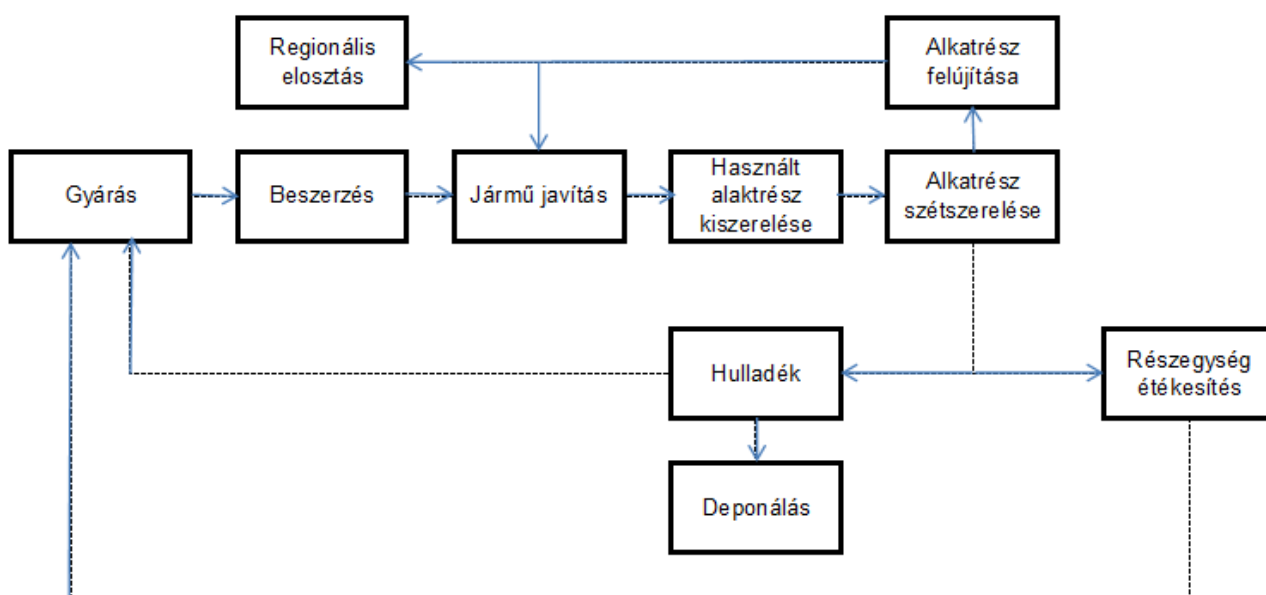
A visszatás logisztika abban az esetben tud a folyamatba bekapcsolódni, hogyha a kiszereelt alkatrészeket gyűjtjük, majd egyéb értékteremtő folyamatba léptetjük azt be. Ahhoz, hogy a hibás alkatrész újra értékteremtő folyamat része legyen, bizonyos tevékenységeket el kell végezni rajta.

Ezek az alábbiak lehetnek:

- felújítás, újra használatba vétel
- használható alkatrészek kiszerelése és azok újra felhasználása
- benne található anyagtipusok szeparálása

Dolgozatom a továbbiakban az első eset fennállását vizsgálja. Fontos azt az elején kijelenteni, hogy egy új alkatrész és egy felújított alkatrész között különbség van, még ha az azonos funkciót is tudna betölteni. A felújított alkatrészt szükséges egy erre szakosodott vállalattal jóváhagyatni. Vagyis egy vállalatnak azt be kell vizsgálnia, nyilatkozni kell arról, vállalva a felelősséget, hogy az a felújított alkatrész képes lesz betölteni a későbbi funkcióját. Erről egy műbizonylatot kell kiállítania, amiben igazolja azt, hogy a felújított alkatrész képes betölteni az új alkatrészével megegyező funkcióját. Ezzel az igazolással lehet újra felhasználni azt az alkatrészt, de minden esetben jelölnie kell a szolgáltatónak azt, hogy a javítási feladat nem egy új, hanem egy felújított alkatrésszel valósult meg.

Ahhoz hogy ezt a felújítási feladatot el lehessen végezni, a felújítandó alkatrészeket be kell gyűjteni. A dolgozatomban azt az esetet vizsgálom, amikor az újalkatrészek raktárból való kitérőlése és a felújítandóak egy azon raktárban kerülnek tárolásra. Vagyis a kiadási oldalon kitérőlésekre kerülő új alkatrész és a bevételi oldalon betérőlésekre kerülő hibás alkatrész útja keresztezi egymást. A probléma abból adódik, hogy a két különböző irányú tevékenység azonos csatornát használ. Ezen túl az alkatrészek fogadásáért és kiadásáért felelős személyzet is ugyanaz. Hiszen az újra hasznosítható hibás alkatrészek nem tesznek ki akkora mennyiséget, hogy azért megérje fenn tartani egy ellentétes irányú beáramlási csatornát. A következőkben egy ábrát készítek el, amelyen szemléltetem azt a folyamatot, amiben majd az elkészítendő modell működését fogom vizsgálni. Ez az ábra egy szélesebb működési környezetet fog ábrázolni, a vizsgálandó modell ennek egyik szegmensére fog korlátozódni.



1. ábra. A probléma működési környezete [1]

Az ábra alapján a járműjavítási folyamat elvégzéséhez használt alkatrészek a gyártást követő beszerzési folyamatokon keresztül kerül felhasználás pontjához. Azt az esetet feltételezzük, hogy a javítást alkatrész cserével kell megoldani. Itt ugyanis keletkezik egy használt alkatrész, ami hibás, ez kerül kicserélésre.

A kicserélt alkatrész két további irányba haladhat tovább. Abban az esetben, ha az az alkatrész felújítható, akkor a felújítási folyamat elkezdődik, majd pedig felhasználják egy következő javítási feladathoz. A további felhasználás két módon valósulhat meg. Az egyik opció az, amikor a felújítást végző javító pontnál kerül újrafelhasználásra a termék. Ez egy kényelmes, a vállalat számára előnyös eset, hiszen a vállalati anyagkörforgásból nem kerül ki a termék, így költségvonzata kisebb, mint egy újonnan, külső beszállítótól beszerzett termék. A másik opció az, amikor keletkezik annyi felújított alkatrész, hogy már a regionális javítópontokat is ellássa ez a mennyiség [4] [5].

A kicserélt alkatrészek másik haladási iránya az, amikor már nem lehet felhasználni azt. Az alkatrészek szétszerelése után a javító számára kiderül, hogy az alkatrész bizonyos elemeinek állapotától függően javítható-e vagy sem. Amennyiben nem, úgy a következő esetek jöhetnek létre. Ha van használható eleme a kicserélt alkatrésznek, úgy azt az alkatrész gyártója még újra fel tudja használni. Ezt visszajuttatni a gyártóhoz a javító vállalatnak nyilván akkor éri meg, ha az a jelentkező költségekben kedvezően jelenik meg, akár egy későbbiekben vásárolt termék vételi árában.

A végső eset az, amikor a kisserelt alkatrész már egyáltalán nem felhasználható semmilyen módon sem, hulladék keletkezik. Ez a járművek bontásából származó alkatrészeket tekintve egy jogilag jól szabályozott eljárás elvégzését kívánja meg. Bizonyos részeit ártalmatlanítani, szeparálni kell.

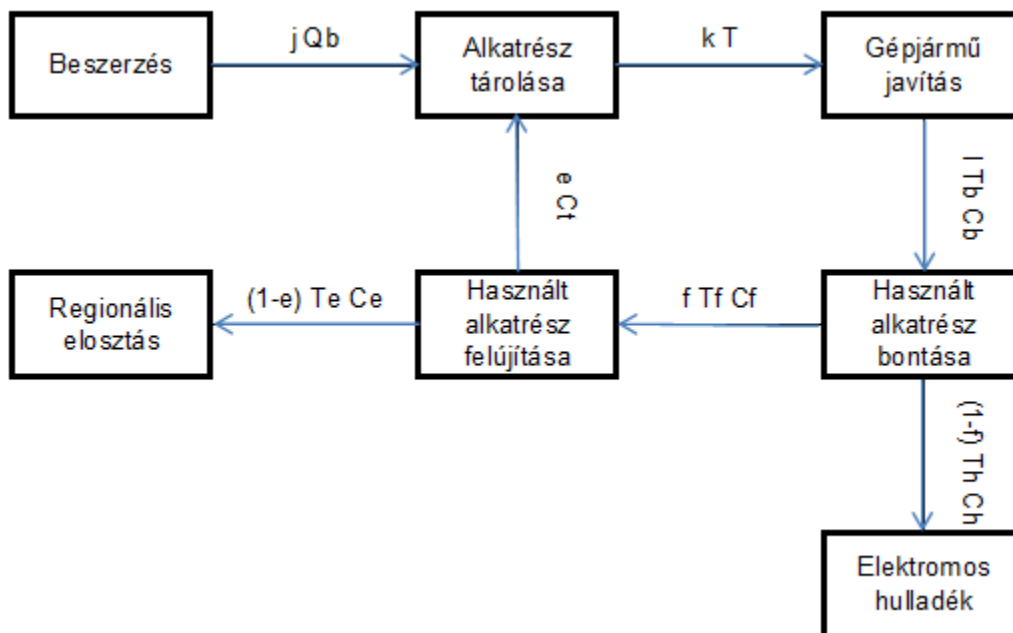
A működési környezet egy szélesebb, teljes folyamatot ábrázol. Ennek egy szegmensét szeretném modellezni. A következő részben a modell felállítása és változóinak meghatározása fog következni.

4. A vizsgált modell

A vizsgált esetben egyetlen alkatrész mozgását vizsgálom. Előzetes megfigyelések alapján a választott alkatrész esetében történt a primer vizsgálati időszak alatt a legtöbb alkatrész csere, majd pedig alkatrész felújítás. Ez az elem a tehergépjárművekbe, autóbuszokba beépített generátor volt. Ezért a modellben a generátorokat tekintem vizsgált entitásként.

A modell kialakításakor fontosnak tartottam azt, hogy minden egyes anyagáramlási folyamatot tudjak ténylegesen mérni. Ezért eleve a modell úgy lett kialakítva, hogy az egyes áramlási csatornában szereplő költség, mennyiség, idő tényezőket mérhessem. Említettem már, hogy a modell egy konkrét elem körforgásával számol. Ennek a körforgásnak az egyes elemei az alábbiak:

- Az alkatrész beszerzése
- Az alkatrész tárolása
- Gépjárműjavítás (generátorcsere)
- Használt generátorok szétszerelése
- Használt generátorok felújítása
- Felújított generátor tovább osztása (saját vagy más javítási pontba)
- Az így megszerkesztett modell és a modell változói az alábbi módon néznek ki.



2. ábra. A vizsgált folyamat modellje [2]

1. Táblázat. A modell paramétereit

<i>Jel</i>	<i>Elem</i>	<i>Kritérium</i>	<i>Mértékegység</i>
j	beszerzési tételszám	$j > 0, j \in +Z$	db
Q _b	beszerzett tétel nagyság	$j > 0, j \in +Z$	db/beszerzés
k	felhasználási ráta	$k \geq 1$	db/óra
T	gépjármű javítási ciklus hossza	$T > 0$	mp
l	bontási ráta	$l \geq 1, l \leq k$	db/óra
T _b	bontási ciklus idő	$T_b > 0$	mp
C _b	bontás egység költsége	$C_b > 0$	ft/db
f	felújítási ráta	$f \geq 1, f \in +Z, f \leq l$	db/óra
T _f	felújítás egységnyi időszükséglete	$T_f > 0$	mp
C _f	felújítás egység költsége	$C_f > 0$	ft/db
T _h	hulladék kezelés egységnyi időigénye	$T_h \geq 0$	mp
C _h	hulladék kezelés egység költsége	$C_h \geq 0$	ft/db
e	elosztási ráta	$e \geq 1, e \in +Z, e \leq f$	db/óra
T _e	elosztás időszükséglete	$T_e > 0$	mp
C _e	elosztás fajlagos költsége	$C_e \geq 0$	ft/db
C _t	tárolási egységköltség	$C_t \geq 0$	ft/db

A folyamatkörnyezet ábrázolása, a modell megszerkesztése és paraméterezése után a további feladatok a modellelemek számításához szükséges képletek használata, alkalmazása, a mért adatok behelyettesítése és ezek alapján a modell további pontosítása és a szükséges készlet szint változások ábrázolása.

5. Összegzés

A modell megalkotásának célja az, hogy egy járműjavítási feladatot ellátó vállalat döntés-előkészítési tevékenységét megalapozza. Az eldöntendő kérdés pedig az, hogy a vállalat számára megéri-e a felújított termékek saját felhasználása és/vagy regionális tovább osztása. A modell egyik sajátos eredménye lesz, hogy kezel több regionális nyelő pontot is. Ennek oka az, hogy a keletkező felújított termék mennyiséget kis valószínűséggel tudja felhasználni egyetlen nyelő pont. Viszont különböző régiókban való felhasználás esetén a felújított termékek értékesítési piacát kiegészítettebbé teszi, így javítván a különböző beszállítók regionális piaci versenyhelyzetén.

Irodalomjegyzék

- [1] I., Dobos – K., Richter. (2001): A production / recycling model with stationary demand and return rates. 3-5. p. http://real-d.mtak.hu/585/7/dc_177_11_doktori_mu.pdf . Lekérdezés időpontja: 2015. 09.22
- [2] I., Dobos – K., Richter. (2004): An extended production/recycling model with stationary demand and return rates. 313. p. http://www.researchgate.net/profile/Knut_Richter/publication/222655577_An_extended_productionrecycling_model_with_stationary_demand_and_return_rates/links/02e7e52ef383cbfe74000000.pdf Lekérdezés időpontja: 2015. 09.28
- [3] Dobos I. (2012): Készletgazdálkodás és visszutas logisztika. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/778/1/Dobos_Monografia.pdf 35.p. Lekérdezés időpontja: 2015. 09.30
- [4] Dobos I. (2012): Vállalati termelési-készletezési stratégiák környezetvédelem figyelembevételével: Optimális irányítási megközelítés. 87. p. http://real-d.mtak.hu/585/7/dc_177_11_doktori_mu.pdf . Lekérdezés időpontja: 2015. 09.15

POLIPROPILÉN ALAPÚ SZÉN NANOCső KOMPOZITOK TERMİKUS ÉS FOLYÁSI JELLEMZŐI

THERMAL AND FLOWING ATTITUDES OF CARBON NANOTUBE COMPOSITES BASED ON POLYPROPYLENE

Nagy Dorottya ^{1*}, Ádámné Dr. Major Andrea ¹, Bata Attila ¹

¹ Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

többsfalú szén nanocső
polipropilén
kompozit
DSC
TGA
MVR

Keywords:

multiwall carbon nanotube
polypropylene
composite
DSC
TGA
MVR

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

Kutatásunk során különböző összetételű nanokompozitokat készítettünk extrúziós technológiával. A nanokompozitok extrudálása során polipropilént és polipropilén alapú, 15% többsfalú szén nanocsövet tartalmazó mesterkeveréket használtunk fel. A nanokompozitok többsfalú szén nanocső tartalma 0,2% és 1% között volt. A folyási tulajdonságokat MVR mérésrel határoztuk meg. Majd a granulátumszemeken DSC és TGA berendezéssel vizsgáltuk a termikus jellemzőket. DSC vizsgálattal meghatároztuk a nanokompozitok olvadási és kristályosodási hőmérsékletét és a kristályosodási fokát. TGA vizsgálat során tanulmányoztuk a bomlási folyamatok menetét. A keverékek bomlási görbéjén meghatároztuk a feldolgozáshoz szükséges jellemző hőmérsékleteket.

Abstract

Nanocomposites were made by extrusion during our work. The matrix material was polypropylene and masterbatch was used which contains 15% multiwall carbon nanotube and 85% polypropylene. The nanocomposites contain 0,2-1% multiwall carbon nanotube. MVR values were measured during the flowing investigation. The nanocomposites were investigated by DSC and TGA methods to determine the thermal behavior. Melting and crystallization temperatures and the degree of crystallinity of the nanocomposites were determined by DSC. The process of degradation was studied by TGA.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a tudományos fejlődés kibővült a nanoszerkezetek irányába, mivel rendelkezésünkre állnak azok a berendezések (elektronmikroszkóp), amelyekkel megfigyelhetjük az ilyen szerkezeteket. Az olyan anyagokat nevezzük nanoanyagoknak, amelyeknek legalább egy mérete nanotartományba (0,1-100nm) esik. Azért érdemes tanulmányoznunk ezeket az anyagokat, mert tulajdonságaik méretfüggőek, így alkalmazásukkal befolyásolhatjuk a legyártott termék tulajdonságait [1]. A nanoszerkezetek közül a szén nanocsővel foglalkoznak legtöbbször, mivel nagyon különleges tulajdonságokkal rendelkezik [2-7].

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 30 966 6276;
E-mail cím: nagy.dorottya@gamf.kefo.hu

A többfalú szén nanocsövet 1991-ben fedezték fel. Iijima elektronmikroszkóppal vizsgálta a kormot, ami ívkisüléses elpárologtatáskor grafitrúdon jött létre [8]. A nanocső szerkezete lehet egyfalú vagy többfalú. Az egyfalú szén nanocső egy atom vastagságú, henger alakú „grafitréteg”. Az atomok hengeres kapcsolódásának módjától függ az anyag fémes vagy félvezető viselkedése. Ez a mód lehet „karosszék”, „cikkcakk” vagy királis. A többfalú szén nanocsőnek kevésbé ismert a viselkedése, mivel sokkal bonyolultabb a szerkezete. Egymástól 0,34 nm-nyire lévő, koncentrikusan elhelyezkedő egyfalú szén nanocsővekből áll. A többfalú nanocső hossza 1-10 μ m, külső átmérője 10-20nm lehet. Viselkedésüket nehéz modellezni, mivel a fémes és félvezető rétegek rendezetlenül váltakoznak és az alkotó rétegek is elfordulhatnak egymásban [9].

A szén nanocsővek számos pozitív tulajdonsággal rendelkeznek (rugalmasság, hőstabilitás, szakítószilárdság), ami miatt érdemes foglalkozni a nanotechnológiával.

Emellett a műanyagipar is nagyon dinamikusan fejlődik. Mindennapi életünk szinte már elképzelhetetlen lenne a műanyag termékek nélkül. Éppúgy jelen van a számítástechnika területén, mint az autóiparban vagy a csomagolóiparban. A műanyag szerkezetek könnyűek, mégis nagy teherbírással rendelkeznek. Gyakran alkalmaznak műanyag mátrixú kompozitokat a szilárdság növelésére.

Kompozitnak nevezzük az olyan különböző anyagok társításával kapott anyagrendszereket, amelyek heterogének. A befoglaló anyag (mátrix) ütésállósága általában nagy, míg a beágyazott, erősítő anyag jó merevséggel rendelkezik. Kompozitokat használnak az alapanyagok kedvező tulajdonságainak ötvözésére vagy kedvezőtlen tulajdonság kiküszöbölésére. A töltő vagy erősítő összetevő lehet szálal, szemcsés vagy lemezes elrendezésű [10]. Nanokompozitnak az olyan kompozitokat nevezzük, amelynél a töltőanyag nanoméretű.

Jelen munka során polipropilén alapú többfalú szén nanocső kompozitokat vizsgáltunk, különös tekintettel a folyási és termikus tulajdonságokra. Kutatásunk célja felderíteni, hogy szén nanocső tulajdonságai milyen hatással vannak a kismértékben szén nanocsövet tartalmazó kompozitokra.

2. Kísérleti rész

2.1. Alapanyagok, keverékek

A mérésekhez H 388 F jelzésű polipropilént [11], és polipropilén alapú többfalú szén nanocső mesterkeveréket használtunk. A mesterkeverékben a szén nanocső tartalom 15%-os volt. Hét féle anyagot vizsgáltunk: polipropilént, és 6 különböző összetételű keveréket, amelyek szén nanocső tartalma 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8 és 1% volt. A kompozitok elkészítéséhez a Collin Teach-line E20T extrudert [12] alkalmaztuk (1. ábra). A hengerben a zónahőmérsékletek 220°C, 210°C, 200°C, a garatnál pedig 190°C voltak. A fordulatszámokat 50 és 100fordulat/perc között változtattuk. Extrudálás során azt tapasztaltuk, hogy a nanokompozitok nehezebben hűltek le ugyanolyan körülmények között.



1. ábra. Extrúziós gyártósor

2.2. Mérési eljárások

A kompozitokat és a polipropilént granulátum formájában használtuk fel. A folyási tulajdonságokat Ceast Melt Flow20 berendezéssel állapítottuk meg. A mérést a polipropilénre szabványos paraméterekkel 2,16 kg-os terheléssel 230°C-on végeztük [13]. A terhelés nélküli előfűtési idő 60 másodperc volt. Az anyag a szabványos méretű kapillárison át távozott a berendezésből. A mérés során kapott adatokból a folyási tulajdonságot legjobban jellemző értékeket, az MVR (Melt Volume Rate) és az MFI (Melt Flow Index) folyási mutatószámot, valamint ρ_0 ömledéksűrűséget határoztuk meg.

A termikus jellemzőket TA berendezésekkel tanulmányoztuk. A TA Q200, DSC (Differential Scanning Calorimetry), hőfluxusos típusú anyagvizsgáló berendezéssel mérés közben rögzítettük a hőáramot a hőmérséklet függvényében [14]. Referenciamintaként üres alumínium mintatartót használtunk.

A mérés az általános „fűt- hűt- fűt” hőmérséklet program alapján történt. Fűtés során 20°C/perces állandó fűtési sebességgel 200°C-ra melegítettük a mintákat, majd hűtés során ugyanúgy 20°C/perces sebességgel 30°C-ra csökkentettük a hőmérsékletüket.

A TA Q50, TGA (Thermogravimetry) berendezéssel az anyag bomlási jellemzőit figyeltük meg, rögzítve a minta tömegváltozását a hőmérséklet függvényében [15]. A mérés során a mintát 20°C/perces sebességgel 800°C-ra melegítette a berendezés. A DSC és a TGA mérés is nitrogénközegben zajlott. A nitrogén áramlási sebessége a DSC vizsgálat során 50ml/perc, a TGA során 40ml/perc volt.

3. Eredmények és kiértékelés

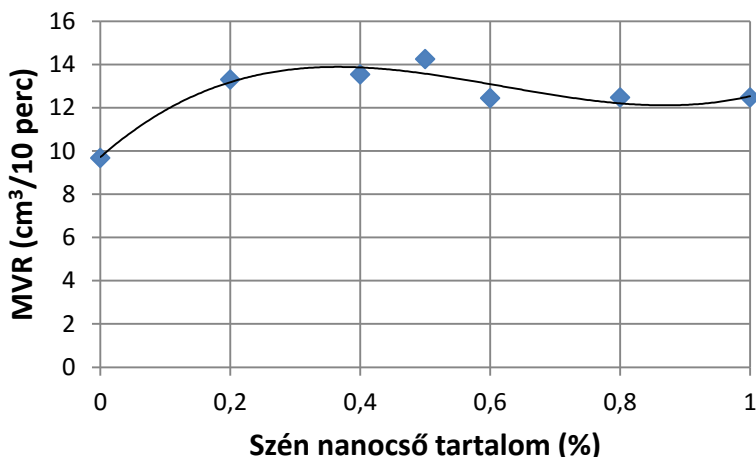
3.1. Folyási jellemzők

Az MVR vizsgálatból kapott értékek a 1. táblázatban találhatóak.

1. Táblázat. A folyási tulajdonságok a szén nanocső függvényében

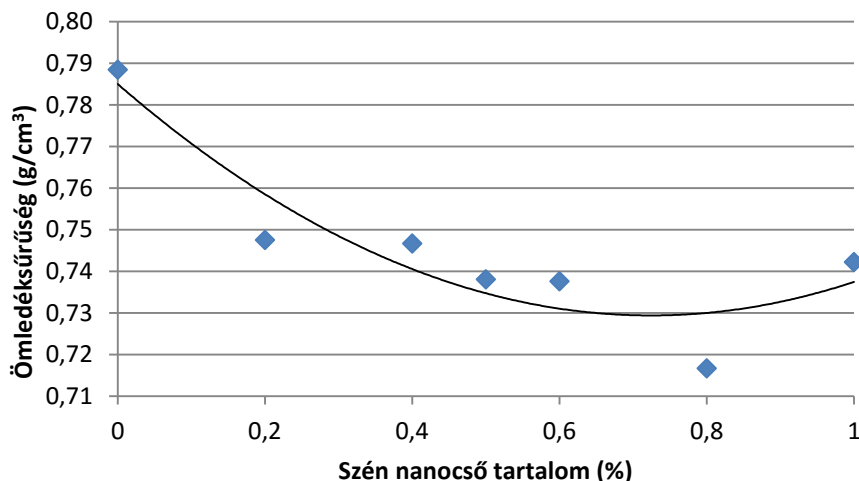
Szén nanocső tartalom (%)	MVR (cm ³ /10 perc)	MFI (g/10 perc)	ρ_0 (g/cm ³)
0	9,682	7,634	0,788
0,2	13,302	9,943	0,748
0,4	13,542	10,112	0,747
0,5	14,259	10,524	0,738
0,6	12,446	9,180	0,738
0,8	12,481	8,945	0,717
1	12,469	9,255	0,742

Az 2. ábrán a nanokompozitok folyási mutatószámát ábrázoltuk a szén nanocső tartalom függvényében.



2. ábra. Az MVR értékek a szén nanocső tartalom függvényében

Az 2. ábrán megfigyelhető, hogy a térfogat szerinti folyási mutatószám (MVR) nagyobb a kompozitok esetében, mint a polipropilénnél. Az MVR 0,6% szén nanocső tartalomig ingadozik, de utána beáll egy adott értékre, amely ebben az esetben $12,45\text{cm}^3/10$ perc. A közel $3\text{cm}^3/10$ perces változás a viszkozitás megváltozásával magyarázható. A kompozitok viszkozitása, belső ellenállása kisebb ugyanazon a hőmérsékleten, mivel megváltoztattuk az anyag szerkezetét. Valószínű, hogy az erősítő és a mátrix anyag közötti kötések energiája kisebb a mátrix anyagban lévő kötések energiájánál. Az MFI értéke arányos a hozzá tartozó MVR -rel. Az MFI és MVR értékek hányadosa az ömledéksűrűség, amit a 3. ábrán láthatunk.

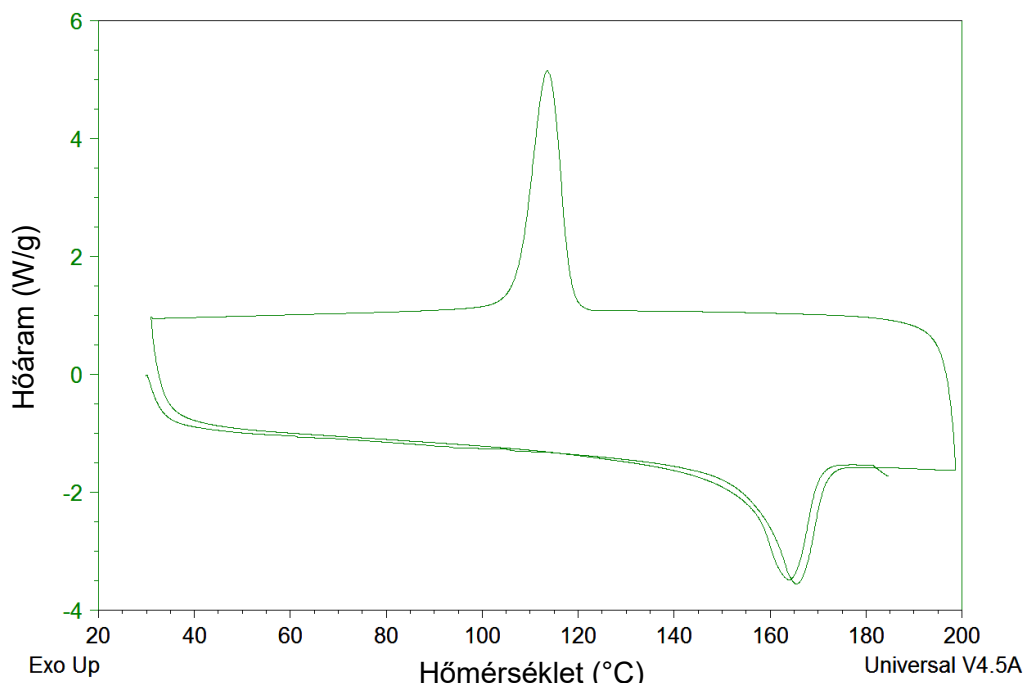


3. ábra. Az ömledéksűrűség a szén nanocső tartalom függvényében

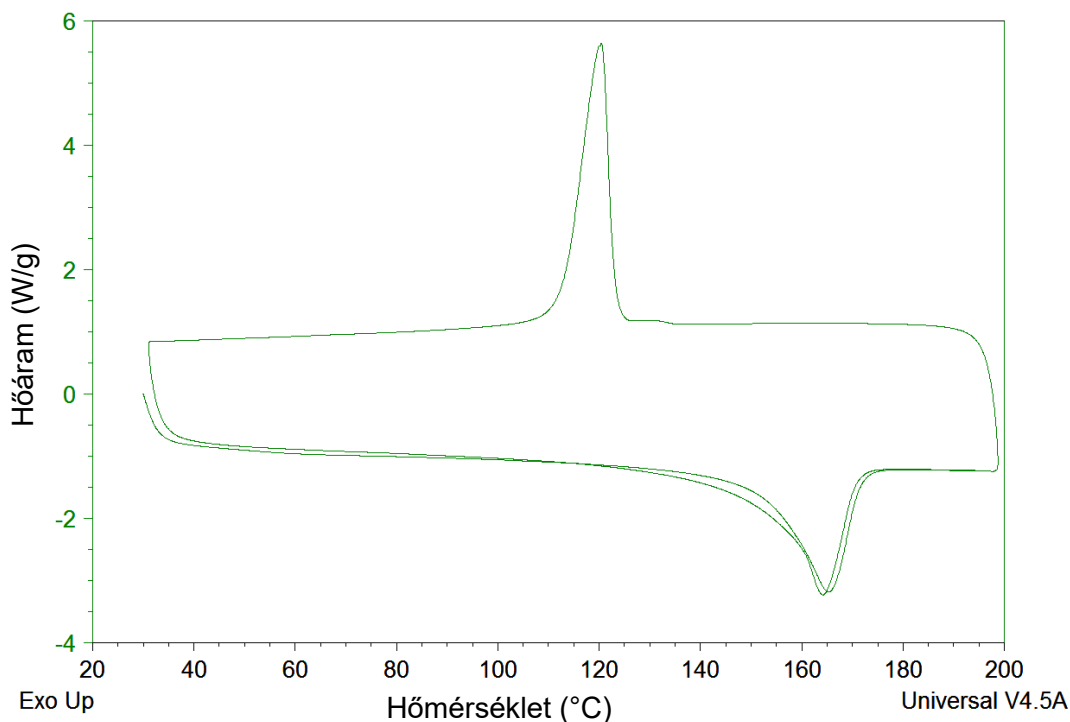
A polipropilénhez képest a kompozitok ömledéksűrűsége csökkent $\sim 0,05\text{g/cm}^3$ -rel. Ebből következettünk az anyagban lévő rendezettség felbomlására, megszakadására. Bár ez elég kis változásnak látszik, mégis több, mint 6%-os csökkenést jelent. A folyási tulajdonságok ilyen mértékű változását már nem lehet figyelmen kívül hagyni feldolgozás során. Ezt extrudálás során is megfigyeltük, illetve azt, hogy a kompozitok nehezebben adják le a hőt.

3.2. DSC vizsgálat

A 4. és 5. ábrán figyelhető meg a polipropilén és példaként egy nanokompozit DSC görbéje.



4. ábra. Tiszta polipropilénhez tartozó DSC görbe



5. ábra. 1% többfalú nanocsövet tartalmazó nanokompozit DSC görbéje

A diagramokat 3 szakaszra lehet osztani. A vizsgált anyagról a lehűtés és a második felfűtés szakasza szolgáltatott további hasznos információt. Az első felfűtés szakasza a gyártás technológiájára utal. Ez minden mintánál azonos volt, ezért ezt nem vizsgáltuk.

A jellege az összes diagramnak hasonló. Viszont kristályosodás során 0,5% nanocső tartalomtól előkristályosodást figyeltünk meg. Az előkristályosodási folyamat 1% nanocső tartalom

esetén már 0,488J/g entalpiaváltozással jár, amely 0,24% kristályossági foknak felel meg. Az olvadási görbén minden esetben egy csúcsot láthatunk. A görbék összehasonlítani a kiértékelés során kapott hőmérsékletekkel és a kristályolvadásból számolt kristályossági fokkal érdemes [16]. A jellemző értékek a 2. táblázatban figyelhetők meg.

2. Táblázat. A DSC görbék jellemző értékei

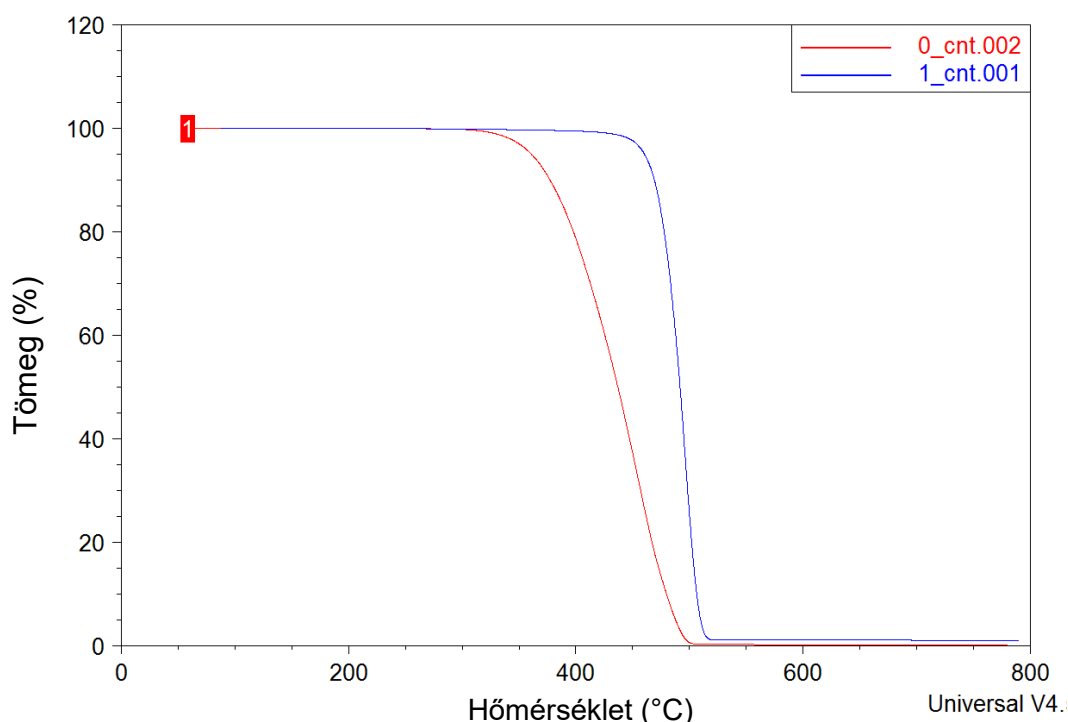
Szén nanocső tartalom (%)	Kristályosodási görbe csúcsához tartozó hőm. (°C)	Olvadás extrapolált kezdőhőm. (°C)	Olvadási görbe csúcsához tartozó hőm. (°C)	Olvadás extrapolált véghőm. (°C)	Entalpiaváltozás (J/g)	Kristályossági fok (%)
0	113,53	154,09	163,89	170,16	94,64	45,72
0,2	118,40	155,15	163,79	170,32	96,43	46,59
0,4	118,16	156,37	164,50	170,01	87,18	42,12
0,5	118,71	155,67	164,49	170,55	98,69	47,68
0,6	119,47	155,05	163,98	170,92	99,59	48,11
0,8	118,92	156,19	164,85	171,07	91,91	44,40
1	120,43	155,25	164,17	170,75	99,24	47,94

Hűtés során nagyobb mértékű kristályosodás a polipropilén esetén később, csak 113,53°C-on következett be. Míg a kompozitoknál már 118°C-on. Az 1%-os szén nanocső tartalomnál már 120°C felett létrejött a rendezett szerkezet. Ez azzal magyarázható, hogy a nanocső göcképző hatású, ezért a nanocső tartalom növelésével előbb alakul ki a rendezettség. A kristályosodás mértékét az entalpiaváltozásból számoltuk ki, 100% kristályosságnak 207J/g-ot alapul véve, ami a polipropilénre Wunderlich szerint megadott érték. A kristályossági fok 42-48% között változik.

Az olvadás jellemző hőmérsékletei minden anyagnál szinte megegyeztek. Maximum 1-2°C-os eltérés volt tapasztalható.

3.3. TGA vizsgálat

Az 6. ábrán látható a polipropilén és egy nanokompozit TGA görbéje.



6. ábra. A polipropilén és az 1% nanocsövet tartalmazó nanokompozit TGA görbéje

A termogravimetria mérésből egylépcsős bomlási diagramokat kaptunk. A TGA görbe jellege hasonló az összes anyagnál, a görbe meredeksége a folyamat sebességére utal. Kiértékelés során meghatároztuk a bomlás középhőmérsékletét, extrapolált kezdő- és véghőmérsékletét, valamint az elbomlott anyag mennyiségét és az 1%, 3% és 5% bomláshoz tartozó hőmérsékletet (3. táblázat).

3. Táblázat. A TGA görbék jellemző értékei

Szén nanocső tartalom (%)	Bomlás extrapolált kezdő-hőm. (°C)	Bomlás közép-hőm. (°C)	Bomlás extrapolált véghőm. (°C)	Elbomlott anyag mennyisége (%)	1% bomlási hőm. (°C)	3% bomlási hőm. (°C)	5% bomlási hőm. (°C)
0	381,77	455,40	485,97	100,00	328,41	350,05	360,94
0,2	468,60	494,81	508,29	99,98	393,79	432,21	446,40
0,4	367,70	419,77	446,69	99,30	308,34	327,96	339,84
0,5	408,45	456,86	473,77	99,30	289,97	330,33	348,29
0,6	428,48	459,38	499,05	99,40	338,56	364,67	379,69
0,8	473,86	495,87	508,34	99,35	429,99	452,12	459,33
1	475,22	496,20	508,30	99,06	429,73	453,51	460,37

A bomlás során a szén nanocső teljes egészében megmaradt. Ez figyelhető meg 0, 0,2 és 1% szén nanocső tartalom esetén (3. táblázat). Az elbomlott anyag mennyiségéből következtettünk az esetleges szennyezőanyag mennyiségére. A többi keveréknél (0,4; 0,5; 0,6 és 0,8%) valószínűleg valamilyen szennyeződés jutott a mintatartóba. Ennek fényében, az értékeket összehasonlítva, megállapítottuk, hogy a bomlási hőmérsékletek emelkedtek a szén nanocső tartalom növelésével, a bomlás extrapolált véghőmérséklete viszont csak kismértékben (20°C). Tehát a bomlás rövidebb idő alatt játszódott le.

Az 1%, 3% és 5% bomláshoz tartozó hőmérsékletek igen figyelemreméltóak, a polipropilén és az 1% nanocsövet tartalmazó kompozit értékei között 100°C különbség van. Ennek nagy jelentősége van feldolgozás során, amikor fröccsöntésnél vagy extrúziósnál leáll a termelés. Az 1-3%-ban elbomlott anyag tulajdonságai már nagymértékben különböznek az eredeti anyagétól. Ezért fontos, hogy feldolgozás során ne érjük el ezt a hőmérsékletet. Az 1%, 3% és 5% bomláshoz tartozó hőmérsékletek emelkedéséből következtettünk arra, hogy a nanokompozitok hőstabilitása jóval nagyobb a polipropilén hőállóságánál.

4. Összefoglalás

Kutatómunkánk során nanokompozitokat készítettünk, amelyekben a szén nanocső tartalom 0,2 és 1% között volt. A polipropilént és a nanokompozitokat vizsgáltuk Melt Flow20, TA Q200 és TA Q50 berendezéssel. A méréseket kiértékeltek, amiből az alábbi eredményeket kaptuk.

A kismértékben többfalú szén nanocsövet tartalmazó műanyag kompozitok folyási és termikus tulajdonságai jelentősen eltérnek a polipropilén jellemzőitől. Megállapítottuk, hogy a kompozitok ömledéksűrűsége, valamint viszkozitása kisebb a polipropilénénél.

A nanokompozitok magasabb hőmérsékleten (előbb) kezdenek kristályosodni, és rövidebb idő alatt játszódik le a folyamat. A 0,5%-nál több nanocsövet tartalmazó kompozitoknál előkristályosodás figyelhető meg. Ebből következtettünk arra, hogy a polipropilénre a többfalú szén nanocső göcképző hatással bír. A szén nanocső tartalom függvényében az anyag kristályossági foka nem változott nagymértékben. Az olvadás hasonlóan zajlik az összes vizsgált mintában.

Érdekes megállapítást tettünk, miszerint már az 1% szén nanocsövet tartalmazó kompozit bomlását jellemző hőmérsékletek is 100°C eltérést mutatnak a polipropilénhez képest. Ebből megállapítható, hogy a kompozitok hőstabilitása jóval nagyobb. Emiatt a nanokompozitok később bomlanak, a magas hőmérséklet következtében később változtatják meg tulajdonságaikat. Emiatt nagyobb a feldolgozási hőmérséklet határuk, szélesebb körben felhasználhatóak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondunk Csongor Dezsőnek és Csongor Győzőnek a többfalú szén nanocső mesterkeverékért, amelyet rendelkezésünkre bocsátottak. A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Nanoszerkezetű anyagok www.nanocolltech.com/upload/nanoszerkezetu_anyagok.pdf (2015.10.06.)
- [2] Ghadyani, Ghasem; Oechsne, Andreas PHYSICA E-LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS & NANOSTRUCTURES Volume: 73 Pages: 116-125 Published: SEP 2015 [Derivation of a universal estimate for the stiffness of carbon nanotubes](#) (2015.10.06.)
- [3] Plaado, Margo; Kaasik, Friedrich; Valner, Robert; et al. CARBON Volume: 94 Pages: 911-918 Published: NOV 2015 [Electrochemical actuation of multiwall carbon nanotube fiber with embedded carbide-derived carbon particles](#) (2015.10.06.)
- [4] Sarvi, Ali; Sundararaj, Uttandaraman SYNTHETIC METALS Volume: 194 Pages: 109-117 Published: AUG 2014 [Rheological percolation in polystyrene composites filled with polyaniline-coated multiwall carbon nanotubes](#) (2015.10.06.)
- [5] Golobostanfard, Mohammad Reza; Abdizadeh, Hossein MICROPOROUS AND MESOPOROUS MATERIALS Volume: 191 Pages: 74-81 Published: JUN 2014 [Influence of carbon nanotube wall thickness on performance of dye sensitized solar cell with hierarchical porous photoanode](#) (2015.10.06.)
- [6] Jafariesfad, Narjes; Ramazani, Ahmad S. A.; Azinfar, Bahareh POLYMER INTERNATIONAL Volume: 63 Issue: 4 Pages: 689-694 Published: APR 2014 [Property investigation of polypropylene/multiwall carbon nanotube nanocomposites prepared via in situ polymerization](#) (2015.10.06.)
- [7] Lo, Chih-Hui; Tsai, Min-Ta; Liu, Bernard Haochih; et al. CARBON Volume: 93 Pages: 342-352 Published: NOV 2015 [Oriented association of multiwall carbon nanotubes upon efficient epitaxial organization of polyfluorene](#) (2015.10.06.)
- [8] Kürti Jenő, Szén nanocsővek, Mindentudás az iskolában, ELTE, Biológiai Fizika Tanszék http://www.atomcsill.elte.hu/Cikkek/FizSzle/mindentudas_KJ_FSz.pdf (2014.10.07.)
- [9] Kónya Zoltán, Bíró László Péter, Hernádi Klára, B. Nagy János, Kiricsi Imre: Szén nanocsővek előállítás, tulajdonságai és alkalmazási lehetőségei, 207-236. oldal
- [10] Bodor Géza- Vas László M., Polimer anyagszerkezettan, Műegyetemi Kiadó 2001., 296. oldal
- [11] *H 388 F polipropilén, 1.-4. oldal*, www.tvk.hu/repository/194113 (2014.10.07.)
- [12] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, 2007, Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/adatok.html> (2014.10.07.)
- [13] Hőre lágyuló műanyagok tömegre (MFR) és térfogatra (MVR) vonatkoztatott folyási mutatószámának meghatározása (ISO 1133) 19. oldal
- [14] Thermal Analysis of Plastics Theory and Practice, Ehrenstein, Gottfried W., Riedel, Gabriela, and Trawiel, Pia, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2004.
- [15] Műanyagok. Polimerek termogravimetriája (TG), 1. rész: Alapelvek (ISO 11358:2014) MSZ EN ISO 11358-1
- [16] Műanyagok. Páztázó differenciálkalorimetria (DSC), 7. rész: A kristályosodási kinetika meghatározása (ISO 11357-7:2002) MSZ EN ISO 11357-7

KERÁMIA DUGATTYÚ FEJLESZTÉSE

CERAMIC PISTON DEVELOPMENT

Vaczko Dániel

Járműtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola,
Magyarország

Kulcsszavak:

dugattyú fejlesztés
kerámia
Al₂O₃
belsőégésű motor

Keywords:

Piston development
Ceramic
Al₂O₃
Internal combustion engines

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A mai fejlődő világban egyre nagyobb teret hódítanak az elektromos járművek. Ezek korlátozott használhatósága, illetve magas áruk miatt elterjedésük lassan fog bekövetkezni. Manapság is a járművek nagy része belsőégésű motorokkal üzemel, fejlesztésükre sok időt és pénzt fordítanak. Az egyik legnagyobb fejlesztési irányvonal a hatásfok növelés. A kutatásom során a hatásfok javításával, azon belül az égéssel közvetlen kapcsolatban álló alkatrész fejlesztésével, a dugattyúval foglalkozok. Különböző anyagok összehasonlítása után, a kerámiát választottam megfelelő dugattyúanyagként.

Abstract

In today's prospering world, electric vehicles broaden their horizons. Their presence will be just slightly noticeable in the future because of their high costs and restrained usability. Nowadays most vehicles operate with an internal combustion engine and their development takes a lot of money and effort. The biggest way in developing cars is the increase of efficiency. During my experiment, I did research on delivering a better efficiency, and within that the developments on parts having direct connection with the combustion chamber, namely the piston. After comparing different materials, I chose ceramics as the appropriate piston material.

1. Bevezetés

A mai, fejlődő világban egyre nagyobb teret hódítanak az elektromos meghajtású járművek. Az elektromos meghajtásnak számos előnye van. A hajtásnál felhasznált energia elektromos áram, melynek során a felhasználás helyén nincs káros anyag kibocsátás. Üzemeltetésük olcsó, de az egyes országoknak törekedniük kell a környezetbarát technológiák bevezetésére, így különböző adókedvezményekkel, ingyenes töltőállomások telepítésével próbálják ösztönözni az embereket ezek használatára. A sok előny mellett hátránya is van. Ezek a járművek jelenleg még túl sokba kerülnek ahhoz, hogy mindenki lecserélje jelenleg használt autóját. A nagy ár mellett az is hátránya, hogy korlátozott a hatótávolság. Az elektromos motorok nagyon jó hatásfokkal tudnak üzemelni, de az akkumulátorok pillanatnyilag még nem állnak olyan fejlettségi szinten, hogy nagy távolságok megtételére legyen képes az adott elektromos jármű. Az egyre szigorodó környezetvédelmi szabályozások miatt szinte biztosra vehető, hogy a jövőben eljön az idő, hogy az elektromos hajtás lesz a legelterjedtebb.

Manapság még mindig a gépjárművek, mezőgazdasági gépek, hajók, motorok és erőgépek leginkább használatos erőforrása a belsőégésű dugattyús motor. Ennek következtében a járműgyártók az elektromos hajtásrendszerek fejlesztése mellett jelenleg is rengeteg pénzt és időt áldoznak a belső égésű motorok fejlesztésére. A teljesítmény növelésének kettő fő irányvonala

alakult ki. A káros anyag kibocsátás csökkentése, illetve a hatásfok javítása, amelyek akár egymás következményei is lehetnek.

Ebben a cikkben a hatásfok javításával foglalkozok, azon belül pedig egy, az égéssel közvetlen kapcsolatban álló alkatrész fejlesztésével, a dugattyúval.

A fejlesztés célja egy mikrofogyasztású versenyautó Otto-motorjának hatásfok javítása. Ez a verseny az Eco-Marathon verseny, ahol középiskolás diákokból és főiskolai hallgatókból álló csapatok mérik össze tudásukat. A verseny célja, egy olyan jármű építése, amivel 1 liter benzinnel minél több km-t lehet megtenni. Már az első évben egyszerű fékpadi méréseknek köszönhetően rájöttünk, hogy a sok csapat által használt gyári motor nem rendelkezik megfelelő hatásfokkal. Ennek okán saját motor tervezésébe kezdtünk, amivel már az első versenyen nagyon jó eredményeket értünk el. Minden évben, ahogy nőtt a tapasztalatunk és a tudásunk a motorépítés terén, új motor építését éreztük szükségesnek. Ezekben a 4-ütemű motorokban általánosan használatos kialakítású és anyagú dugattyúkat használtunk. Egy műszaki kerámiagyártó cég felajánlásának köszönhetően, a lehetőséget megragadva, belefogtam egy új, eddig a járműgyártásban sem használatos dugattyú fejlesztésébe.

2. Anyagválasztás

Szívás ütemben az égéstérbe friss keverék áramlik, majd ezt a gyújtógyertya begyűjtja. A „robbanáskor” hőenergia jön létre, ami a dugattyút lefelé mozgásra készíti. Számunkra az lenne a legkedvezőbb, ha a hőből származó munka teljes egészében a dugattyútetőn át a forgattyúház felé, a jármű hajtására fordítódna. Ha ez létre tudna jönni, akkor 100%-os hatásfokkal üzemelhetne a motorunk, de ez a valóságban nem megvalósítható. Az égéskor keletkező hőnek egy része, legjobb esetben is csak a harmada végzi a hasznos munkát, a másik harmadát a kipufogógáz viszi el, a maradék rész a hűtésre megy el. A hűtésre fordított hőáram kétharmada a hengerfejen és a hengeren keresztül távozik hőátadással és hővezetéssel a környezetbe, egyharmada a dugattyútetőn keresztül a forgattyúház felé. Az új dugattyú fejlesztésével a célom az, hogy a dugattyún keresztül távozó hőmennyiség csökkenjen, ezáltal növelni lehessen a motor hatásfokát [1].

2.1. Az anyaggal szemben támasztott követelmények

A keverék begyulladás után létrejövő lángfronttal a dugattyútető közvetlenül érintkezik, ennek következtében a legnagyobb hőmérsékletek itt alakulnak ki. A szilárdsági méretezés során ez az érték elengedhetetlenül fontos a dugattyú anyagának melegszilárdsága miatt. A dugattyú anyagának mechanikai tulajdonságai (minden más anyaghoz hasonló módon) a hőmérséklet emelkedésével romlik. A megfelelő dugattyú anyag hővezetőképessége miatt az égéskor keletkező nagy hőterhelést képes olyan gyorsan elvezetni, hogy a felszín nem fog a kritikus olvadási hőmérséklet fölé emelkedni [2].

Anyagválasztás szempontjából a legfontosabb tulajdonságok:

- hőtágulás,
- szilárdság,
- hővezető képesség,
- kopásállóság, súrlódási tényező,
- hőterhelhetőség,
- anyagösszetétel,
- megmunkálhatóság.

Hőtágulás:

Döntő fontosságú, hogy használható-e dugattyú gyártására az adott alapanyag. Az illesztések megválasztásánál figyelembe kell venni azt, hogy az üzemi hőmérsékletre felmelegedett dugattyú hőtágulása miatt akár bele is szorulhat a hüvelybe. Ennek nagyságát az ötvözet összetevőinek aránya, illetve a szennyező anyagok is befolyásolhatják.

Szilárdság:

A dugattyú egyes részeinek, főleg a tetőnek és a tűzgátnak nagyobb igénybevételeket kell elviselniük. Emiatt az alapanyag készítése során különböző alkotók hozzáadásával, illetve utólagos hőkezeléssel állíthatók be az előbb felsorolt kritikus igénybevételekhez a dugattyú anyagok szilárdsági értékei.

Hővezető képesség:

Az alapanyag mellett, a dugattyú szerkezeti kialakításától is függ a hővezető képesség. A nagyobb keresztmetszet gyorsabban vezeti a hőt. Hatásfok szempontjából annál jobb egy dugattyú, minél jobb hőszigetelő.

Kopásállóság, siklási tulajdonságok:

A motor hosszú élettartama megköveteli, hogy a dugattyú anyagának kopásállósága és a siklási tulajdonsága is jobb (a lehető legkisebb) legyen. Ezt a megfelelő szerkezeti kialakítással, illetve szövetszerkezettel lehet a megfelelő irányba befolyásolni.

Hőterhelhetőség:

Meghatározott az adott ötvözetnél, hogy hol található a kritikus hőmérséklet, amely fölé melegedve megkezdődnek a belső átalakulások, ezzel együtt a romló szilárdsági tulajdonságok.

Anyagösszetétel:

Itt adott alapanyag fizikai és kémiai tulajdonságát határozza meg.

Megmunkálhatóság:

A dugattyúk gyártása során figyelembe kell venni, hogy az adott anyag megmunkálása során teljesíteni lehet-e a szigorú méretpontossági és felületi érdességi követelményeket [2].

2.2. Anyagválasztás

A fejlesztés célja, egy olyan dugattyú készítése, amivel a belsőégésű motor hatásfokát növelni lehet. Hatásfokot kétféle módszerrel lehet növelni, a súrlódások csökkentésével, illetve a hőátadás csökkentésével. A kettő közül, a súrlódási viszonyokat is szem előtt tartva, elsősorban a hőátadás csökkentését tűztem ki célul. Ezt olyan anyag megválasztásával lehet elérni, amely hővezetési együtthatója a lehető legkisebb.

A következő, 1. táblázatban a jelenleg használt, illetve az új dugattyú fejlesztése során használható anyagokat mutatom be, a kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkező kerámia tulajdonságai az utolsó sorban láthatóak.

1. táblázat. *Anyagok tulajdonságai*

<i>Anyag</i>	<i>Sűrűség, g/cm³</i>	<i>Rug. eh., GPa</i>	<i>Hővezetési eh., W/(m K)</i>	<i>Lin. hőtágulási eh., 10⁻⁶ 1/K</i>
Öntöttvas	7,80	115	60	9
Al + 18% Si	2,70	69	140	17
Rozsdamentes acél, AISI 302	7,86	193	16	17,8
Titánötvözet Ti-6Al-4V	4,43	114	6,7	9
A-997 kerámia (Al ₂ O ₃)	3,90	380	24	5,4-8,4 ~ 7

A kerámia az az anyag, ami a járműgyártás terén még eléggé új anyag, ritkán, legfeljebb csak kísérleti fázisban használatosak. Az előgyártmány előállítás, majd a készremunkálás körülményes, különleges technológiát igényel, főképp az előző anyagokhoz képest. A fejlesztés céljai tekintetében rendkívül jó tulajdonságokkal rendelkezik. Hővezetése a rozsdamentes acéltól és a titántól csekély mértékben elmarad, de még így is az alumínium ötvözetekhez képest tényezője ötöde. Hőtágulási tényezője nagyon kicsi, így a legkedvezőbb. Súrlódási tényezője viszont rendkívül alacsony.

Az új fejlesztésű dugattyú anyagául a kerámia bizonyul a legmegfelelőbbnek.

2.3. Dugattyúanyagok hővezetésének összehasonlítása

A következő számítások alapján tudjuk meghatározni, hogy melyik dugattyú hővezetése adja az ideális választást.

Az Eco-Marathon-os versenyautónkban az előző években olyan alumínium dugattyút használtunk, aminek a teteje kerámia bevonattal volt ellátva.

A dugattyú keresztmetszete:

$$A_D = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{3,15^2 \pi}{4} \approx 7,8 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

A kb. 0,01mm vastag kerámiaréteg hőellenállása:

$$R_{\text{ker}} = \frac{\delta}{\lambda_{\text{ker}} A_D}, \quad R_{\text{ker}} = \frac{10^{-5}}{28 \times 7,8 \times 10^{-4}} \approx 0,0005 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (2)$$

Az alatta levő kb. 3mm átlagvastagságú alumínium dugattyútető hőellenállása:

$$R_{\text{Al}} = \frac{3 \times 10^{-3}}{130 \times 7,8 \times 10^{-4}} \approx 0,03 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (3)$$

A kerámia bevonat jó, de hőellenállása elhanyagolható az alumínium dugattyútetőé mellett, ezért nem sokkal csökkenti a dugattyútetőn átáramló hőveszteséget.

Ha a dugattyú titánból készülne, akkor a hőellenállás:

$$R_{\text{Ti}} = \frac{3 \times 10^{-3}}{6,7 \times 7,8 \times 10^{-4}} \approx 0,574 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (4)$$

Ez 19,4-szerese az alumínium hőellenállásának, viszont a rossz súrlódási viszonyok miatt nem megfelelő erre a célra. Megoldás lehet szerelt dugattyú alkalmazása, ahol a tetőre egy titánból készült kalap kerül rögzítésre. Ennek az előnye, hogy egy jó súrlódási viszonyokkal rendelkező anyagból készült dugattyúra fel lehet rögzíteni egy jó hőellenállással rendelkező anyagból készült kalapot, aminél a súrlódás nem számít. Hátránya, hogy a nem megfelelő rögzítés miatt problémák lehetnek.

A műszaki kerámiából készült dugattyú hőellenállása:

$$R_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{3 \times 10^{-3}}{24 \times 7,8 \times 10^{-4}} \approx 0,160 \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (5)$$

Kerámia esetén 5,3-szor jobb a hőellenállás az alumíniumhoz képest, így ez a számítás is azt bizonyítja, a kerámia megfelelő lesz [1].

Az új dugattyú fejlesztési szempontjai alapján:

- öntöttvas: nem vizsgáltuk,
- alumínium: a hővezető képessége miatt nem jó választás,
- rozsdamentes acél, titán: jó hőellenállósága van, egyéb tulajdonságai miatt nem jó választás,
- kerámia: jó súrlódási viszonya, hőellenállósága miatt optimális választás.

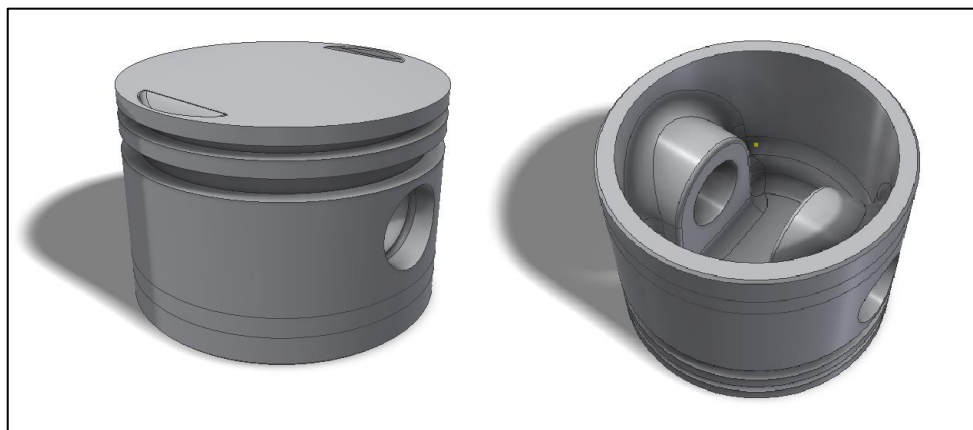
Az új fejlesztésű dugattyú anyagául a hőellenállás szempontjából a kerámia a jó választás.

3. A dugattyú geometria kialakítása

Miután kiválasztásra került az anyag, elkezdtem a dugattyú geometria a tervezését. A tervezés során az egyik alapelv a súlycsökkentés szokott lenni, azonban a kerámia dugattyúk tervezése terén elég csekély a tapasztalat. Így inkább a megbízhatóság volt a fő cél, még ha az valamilyen szinten a súlycsökkentés kárára is ment.

3.1. Tervezés

A méretek meghatározása során egy 3D-s tervező rendszert használtam. Autodesk Inventorral elkészítettem az új dugattyú virtuális prototípus modelljét. A gyárthatóság miatt a belső felületeken 2-3 fokos oldalferdéseket kellett alkalmazni. A tetőn a szelepek számára kettő zseb került kialakításra, valamint az öngyulladás elkerülése érdekében az ezeken kialakult éleket lekerekítéssel láttam el. Kettő gyűrűhorony alkalmazása mellett döntöttünk a dugattyún, egy kompresszió gyűrű és egy olajlehúzó gyűrű. Az alsó-olajlehúzó gyűrűhoronyban körben 8 db áteresztő furat került kialakításra. Ezeken keresztül a lehúzó gyűrűk által lehúzott olaj távozni tud. A szoknyarész hagyományos, kör kialakítása a minél nagyobb merevséget szolgálja. A csapszemek erősítés alámetszés nélkül lett kialakítva a gyárthatóság figyelembevételével [3].



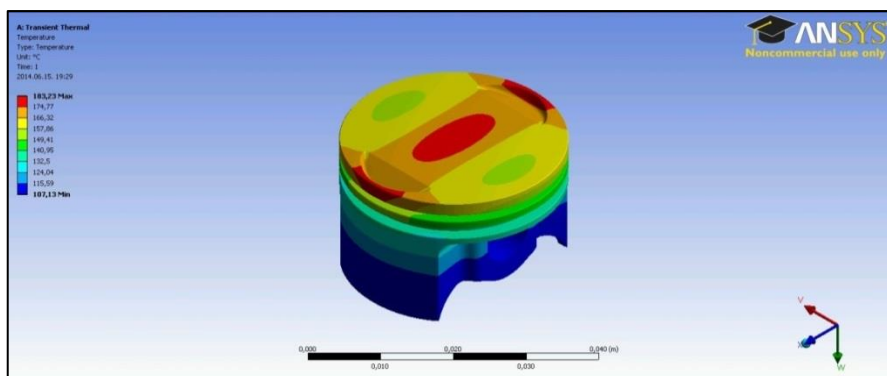
1. ábra. A dugattyú 3D modellje

A modell elkészítése után számítások segítségével meghatározásra került a lehetséges geometria. Szimulációk segítségével az üzemi körülmények során fellépő statikai és termikus terhelések kerültek ellenőrzésre, tekintetben, hogy a dugattyú károsodás nélkül bírni fogja-e ezeket. Erre a célra az Ansys végeelem szimulációs szoftver került felhasználásra.

3.2. Szimuláció

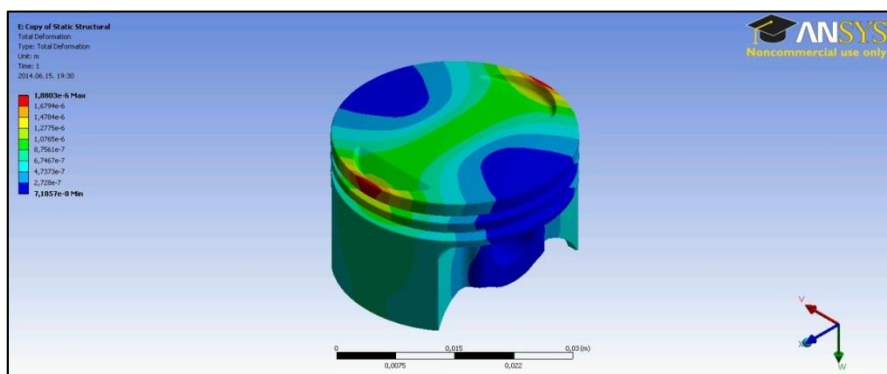
A pontos eredmények érdekében felhasználtam a Al_2O_3 kerámia adatait, amit a programba beírtam. A program a következő adatokat használja az analízis során: sűrűség, hajlító szilárdság, nyomó szilárdság, rugalmassági modulus, keménység, hővezetési tényező, lineáris hőtágulási együttható.

A termikus vizsgálatokkal kezdtem az ellenőrzést (2. ábra), ugyanis dugattyú az égéssel közvetlen kapcsolatban áll, az üzem során felmelegszik és elér egy üzemi hőmérsékletet. Az üzemanyag fűtőértékét megadva megkapjuk milyen ütemben, illetve mennyi idő alatt éri el az üzemi hőmérsékletét. Mivel a dugattyútétőt éri közvetlenül a hő, ezért az lesz a legmelegebb, lefelé haladva hőmérséklete egyre csökken. A hőtágulási együttható segítségével a program adatokat szolgáltat arról, hogy az egyes helyeken milyen mértékű a hőtágulás. Ezeket az adatokat felhasználva pontosítani lehetett a dugattyú geometriáját, pl.: milyen ovalitással és kúposággal kell legyártani azt, hogy üzem közben ne szoruljon meg a hüvelyben. A kapott értékek alapján és az előzetes várakozásnak megegyezően, sokkal kisebb mértékű ovalitás és kúposág adódott egy alumíniumból készült dugattyúhoz képest [4].



2. ábra. Termikus analízis eredménye

A statikus vizsgálatok során tanulmányoztam, hogy szerkezetileg megfelelő-e a kialakítás (3. ábra). Különböző kényszerek alkalmazásával a programnak megmutattam, hogy a dugattyú a csapszegfuron keresztül támaszkodik fel a csapszeg segítségével a hajtókarra, illetve a külső palástfelület mentén érintkezik a hengerrel, ami meg is vezeti azt az alternáló mozgás közben. Ezután egy terhelést adtam a dugattyú tetőre, amely azonos mértékű az égési csúcsnyomás során keletkezett terheléssel. A szimulációt lefuttatva megvizsgáltam, hogy mik a tervezett geometria gyengepontjai, található-e rajta gyenge keresztmetszet, ahol plussz anyagot hozzáadva vagy egyszerűen csak nagyobb lekerekítést hozzáadva javítottam azt. A dugattyú tömegének az optimalizálása is itt történt meg. Olyan helyekről anyagot vettem el, amivel nem rontottam statikailag a szerkezetet. Az utolsó fázisban élettartam teszt elvégzésére került sor. Meghatározásra került egy kívánt üzemidő. Ezután tapasztalatokat felhasználva, többszöri iterációval módosításra került a geometria. Erre három alkalommal került sor [4].



3. ábra Statikai analízis eredménye

A szimulációk elvégzése után befejeződött a dugattyú geometriának a végleges meghatározása. A következőekben a gyártás, majd a fékpadi mérések történtek, ezeket a következő cikkemben fogom bemutatni.

4. Összegzés

A fejlesztések elkezdésekor már a számítások során is ígéretesnek tűnt a kerámia dugattyú fejlesztése. A tervezési folyamat során megismerkedtem a műszaki kerámiával. A fejlesztési folyamat során több lehetséges anyagot megvizsgáltam, számítások segítségével összehasonlítottam ezeket, majd kiválasztásra került a legmegfelelőbb. 3D-s tervező rendszer segítségével elkészítettem több lehetséges geometriát. Új szimulációs eljárásokat megismerve egyre több jel mutatott arra, hogy a fejlesztés eredménye pozitív kimenetelű lesz. A termikus és statikus vizsgálatok alkalmazásával megállapítottam, hol lehetnek az üzemelő dugattyúnak a gyenge pontjai. A fejlesztés végére sikerült egy olyan dugattyú geometriát létrehozni, amit ha kerámiából készítenek el üzembiztosan használható lesz.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Bagány Mihály személyes közlés
- [2] Koltai Gy.: Közúti járműmotorok könnyűfém dugattyúi. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980., 8-90. oldal
- [3] Khovakh, M.: Motor Vehicle Engines. MIR Publisher, Moszkva, 1979., 437-464. oldal
- [4] Fodor Antal személyes közlés

MÉRNÖKI REKONSTRUKCIÓ ÉS GYORSROTOTÍPUSGYÁRTÁS A KARBANTARTÁSBAN

REVERSE ENGINEERING AND RAPID PROTOTYPING IN THE MAINTENANCE PROCESS

Dr. Czifra György^{*1}, Doc. Ing. Ladislav Morovič, PhD.²

¹Műszaki, Agrár és Gazdaságelemzési Tanszék, Szolnoki Főiskola, Magyarország

² Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Slovakia

Kulcsszavak:

CAD-CAM,
visszafejtő mérnöki tevékenység,
karbantartás,
gyorsprototípus

Keywords:

CAD-CAM
Reverse engineering
Maintenance
Rapid prototyping

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.
Átdolgozva 2015. október 31.
Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A visszafejtő mérnöki tevékenység és a gyorsprototípusgyártás kéz a kézben járva pontosan betöltik azt a feladatot, amire alkalmasak – rekonstruálni és gyorsan legyártani a sérült komponenseket. Kutatásaink célja megtalálni olyan területeket, ahol a feltüntetett technológiák még nincsenek elterjedve, illetve megtalálni azokat a technológiákat, melyek ipari célokra alkalmas módon használhatók a mindennapi gyakorlatban.

Abstract

The reverse engineering and rapid prototyping, walking hand-in-hand exactly fulfill the task for which are suitable – to help quickly construct and reconstruct the damaged components. Our goal is to find areas where the technologies are not yet widely available, or find the technologies that can be used for industrial purposes and for the everyday practice.

1. Bevezetés

Sokan feltehetik a jogos kérdést, hogy kerül a csizma az asztalra, tehát, hogy hogyan függ össze egy alapvetően prototípusgyártásra és tesztermékek gyártására kitalált és alkalmas technológia a javítással, a karbantartással? A válasz egyszerű és logikus: egy tönkrement alkatrész, amelynek nincs meg a gyártási dokumentációja, amelyről nincs mérethelyes információnk a helyes működés időszakából pótolható, ha visszafejtő, rekonstrukciós mérnöki tevékenységgel le tudjuk képezni a sérült valós alkatrészt, elkészítjük a megfelelő számítógépes modellt, újraalkotjuk immáron a korrekt, beépítésre alkalmas komponenst, legyártjuk és beszereljük.

Cikkünk elemzi a fenti módszer lehetőségeit, rávilágít az esetleges problémákra és keresi megoldásukat. Munkánk során sok területet megvizsgáltunk és elemeztünk, ebben a cikkben csak néhány fontosabb, érdekesebb megoldást emeltünk ki.

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: czifragy@szolf.hu

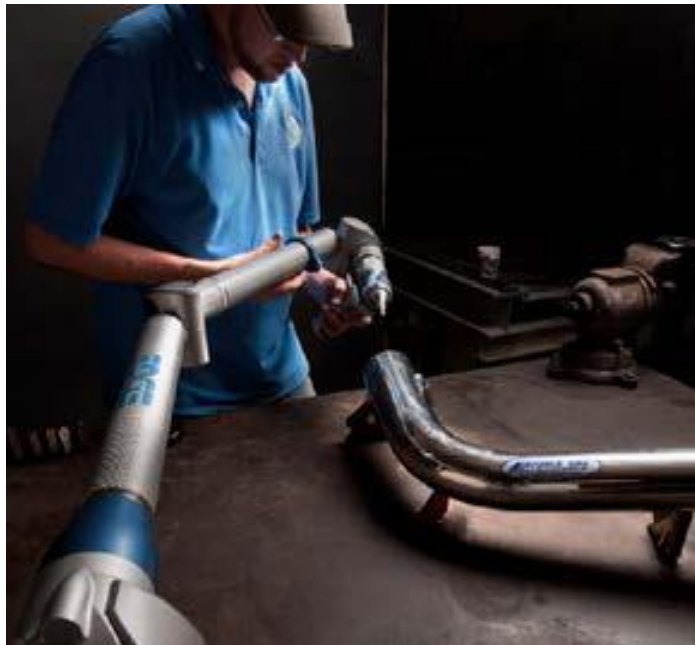
2. Módszer

Valójában a bevezetőben említett folyamat mindenki számára ismert, aki foglalkozik a térbeli képkalkulással, illetve a tárgyak, ebben az esetben gépkatrészek számítógépes modelljének kialakításával. A gyakorlat rengeteg eljárást ismer, amelyek többé-kevésbé kielégítik az elméleti kutatások igényeit – tiszta, pormentes laboratóriumi körülmények között, ám gondban lehetünk, ha valós, üzemi környezetben kell alkalmazni ezeket a modellgeneráló eljárásokat. A legnagyobb problémát nyilván a roncsolt alkatrész megfelelő tisztítása okozza, hiszen a szennyeződések erősen befolyásolják a digitalizálás pontosságát. Természetesen figyelembe kell vennünk, hogy milyen eljárással állapítjuk meg a modell kialakításához elengedhetetlen pontfelhő egyes pontjainak koordinátáit.

A kizárólag optikai elven működő rendszerek, mint a GOM: ATOS típus érzékeny a felületen található szennyeződések által okozott mérethibákra, hiszen működési elvét tekintve a háromszögelési módszert alkalmazza: az egység nagyon pontos csíkmintát vetít ki a mérendő tárgyra, amelyet két kamera rögzít. Optikai transzformáció segítségével, a Gauss féle eloszlást is figyelembe véve, valamennyi képpont térbeli koordinátáit ki lehet számítani. A számítás eredménye egy pontfelhő, amelyből felületi háló generálható. Ez egy poligonháló, amely a rendszerből exportálható olyan formátumban, amely lehetővé teszi további CAD rendszerek alkalmazásával előbb felületmodell, továbbá térfogatmodell kialakítását.

A fentiekben csak egy példát mutattunk be, nyilván az összes optikai rendszer, tehát ahol nincs fizikai kapcsolat a mérendő alkatrész és a mérőberendezés között ebben a tekintetben sebezhetőnek bizonyul. A sérült, roncsolt alkatrész tisztítása tehát az első kulcsfontosságú tényező.

Amennyiben valamilyen mérőcsúcssal ellátott, esetleg lézeres képkalkulóval kombinált berendezés áll rendelkezésre, akkor a szennyeződések torzító hatása – emberi korrekció segítségével – kivédhető. Az egyik tipikus példája az ilyen digitalizáló berendezésnek a FARO karos lézerfejes mérőcsúcssal ellátott készülék, természetesen a megfelelő támogató háttérprogrammal együtt. Sajnos cikkünk terjedelme nem engedi meg, hogy részleteiben ismertessük ezt a rendkívül progresszív technikai megoldást, felhasználása nagyon széles körben megvalósul könnyű kezelhetősége, hordozhatósága következményeként.



1. ábra: FARO letapogató csőgyártás közben [2]

A térbeli szerkezetek digitalizálásának egyik fontos felhasználási területe a nagy kiterjedésű, bonyolult, üreges objektumok – mint például a hajók. A hajók géptermekek beépítése nem egyszerű feladat, több előző cikkünk is foglalkozik a témával. Az egyik sarkalatos pont az objektum

matematikai modelljének összehasonlítása a valós, felépült acélszerkezet geometriájával. Az összehasonlítás nagy hatékonysággal végezhető, ha sikerül pontos letapogatással megfelelő pontfelhőt leolvasnunk, ebből megfelelő eljárással felületmodellt állítunk elő, majd ezt a modellt összevetjük a CAD rendszerben elkészült térbeli modellel. Az ilyen eljárás segítségével nagyszerűen kiszűrhetők a pontatlanságok és meg lehet változtatni a beépítendő komponensek – ebben az esetben a csőágak – méretét, geometriáját még a beszerelés fázisa előtt, így elkerülhetők a helyszíni átalakítással járó többletköltségek, vagy a selejtek kialakulása.

A karbantartás és javítás egy hajó külhéja (külső héjszerkezete) esetében nagyon bonyolult és technológiailag igényes feladat. A külhøj geometriája általában sablonok segítségével készül s mivel meg kell felelnie az áramlástan alaptörvényeinek – az úszással szemben a lehető legkisebb ellenállást szabad kifejtenie – ezért egy esetleges sérülés esetén rendkívül fontos a pontos geometria betartása, a javított rész szinte varratmentes illesztése az eredeti ép felülethez. Ezt a munkát hatékonyra és nagyságrendileg pontosabbá lehet tenni a térbeli képalkotó berendezések segítségével. A megfelelő alappontok felvétele után megtörténik a felület digitalizálása, a pontfelhő kialakítása, a poligonháló kifeszítése az alappontokra, a felület újragenerálása, sablonok gyártásához szükséges formák kialakítása, sablonok legyártása, a külhøj ráfeszítése a sablonokra, majd a folt felhelyezése a sérült felület helyére.

Az alábbi ábrákon éppen egy ilyen felmérés folyik.



2. ábra: Sarokpontok meghatározása hajótestben [3]



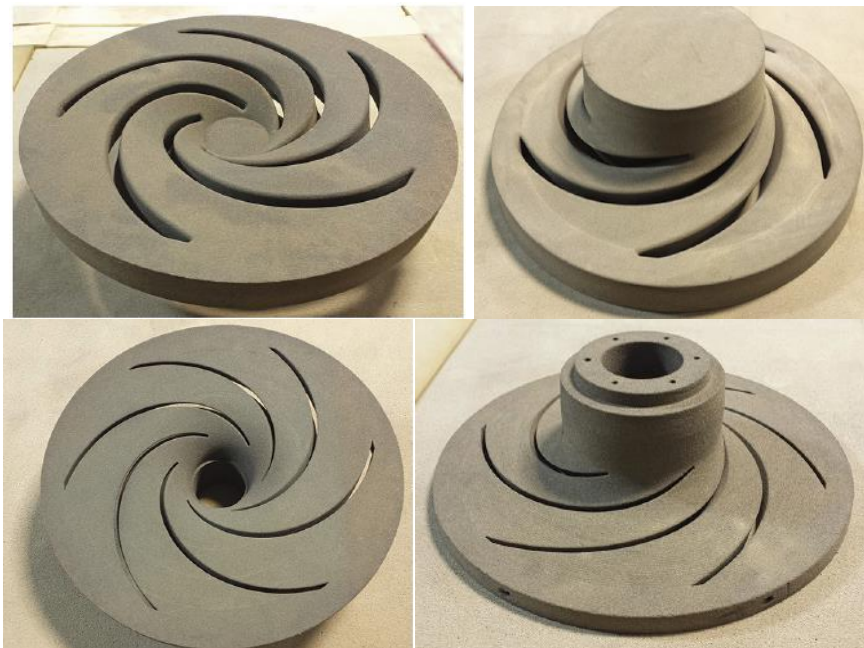
3. ábra: Sarokpontok meghatározása hajó külhøján [3]

A javításban történő felhasználás rendkívül szép példaként a centrifugális szivattyúk járókerekének rekonstrukcióját, valamint a turbinalapátok pótlását szeretném megemlíteni.

Különös jelentőséggel bírnak az olyan szivattyúk felújítási eljárásai, melyek dokumentációja nem áll rendelkezésre, illetve nagyon gyorsan kell megoldani a javítás problémáját.

Ebben az esetben is a térbeli letapogatási – képkalkotási technológia áll rendelkezésünkre. A pótló alkatrész legyártására viszont – és itt lép be a képbe a gyorsprototípusgyártás – megvan a megfelelő technológiánk. A különféle műanyagokkal dolgozó nyomtatókkal most nem szeretnénk foglalkozni, forduljunk az úgynevezett lézer-szinterezés felé. Az úgynevezett SLS – szelektív lézer szinterezés - működési elve ismert, ám a rendelkezésre álló ma felhasználható alapanyagok lehetővé teszik nemcsak formák, szerszámok, hanem munkadarabok, – értsd pótolandó – alkotóelemek gyártását is.

Végezetül egy gyakorlati példát szeretnénk bemutatni: egy szivattyú járókerekének öntőformáját 3D nyomtatóval nyomtatták ki – a forma speciális homok és kötőanyag keveréke.



4. ábra: Vaughan Chopper Pumps - Szivattyúház öntészeti mintázása 3D nyomtatással [1]

3. Következtetések

Mint az a fentiekből kitűnik, a visszafejtő mérnöki tevékenység és a gyorsprototípusgyártás kéz a kézben járva pontosan betöltik azt a feladatot, amire alkalmasak – rekonstruálni és gyorsan legyártani a sérült komponenseket. Kutatásaink célja megtalálni olyan területeket, ahol a feltüntetett technológiák még nincsenek elterjedve, illetve megtalálni azokat a technológiákat, melyek ipari célokra alkalmas módon használhatók a mindennapi gyakorlatban.

Irodalomjegyzék

- [1] Pump Castings Using 3-D Printing
Available: <http://www.pumpsandsystems.com/pumps/march-2014-pump-castings-using-3-d-printing>. [Megtekintés: 20-Oct-2015].
- [2] Reverse Engineering and CAD Comparison - FARO Solutions
Available: <http://www.faro.com/measurement-solutions/applications/reverse-engineering> [Megtekintés: 14-Jan-2014]
- [3] Shipbuilding: GOM
Available: <http://www.gom.com/industries/transportation/shipbuilding.html> [Megtekintés: 20-Oct-2015]
- [4] Hadházi Dániel: Hajóépítés I., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2012, ISBN 978-963-279-617-8

A PET ÉS AZ ÚJRA FELHASZNÁLT PET VISZKOZITÁSGÖRBÉJÉNEK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA

COMPARISON OF PET AND RECYCLED PET VISCOSITY CURVE

Dugár Tamás¹, Bata Attila¹, Tóth Gergely¹

¹ Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

Kulcsszavak:

PET,
folyásgörbe
viszkozitás
polimer

Keywords:

PET,
flow curve,
viscosity
polymer

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 14.
Átdolgozva 2015. október 30.
Elfogadva 2015. november 10.

Összefoglalás

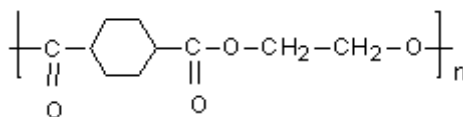
A PET original és a PET regranulátum anyagok reológiai tulajdonságait tanulmányoztuk 270 °C, 280 °C és 290 °C hőmérsékleti értékeken, jellemzően 42-16.000 s⁻¹ deformációsebesség tartományban. A mérések során 6 mérési pontot határoztunk meg. A mért eredményekből viszkozitásgörbét és folyásgörbét készítettünk.

Abstract

We studied the PET original and the PET regrenelatum rheology peculiars on 270 °C, 280 °C and 290 °C. The shear rate was under 42-16.000 s⁻¹. 6 measuring points were appointed. The given results determined the viscosity curve and the flow curve.

1. Bevezetés

A PET, polietilén-terftalát (1. ábra) az élet számos területén előfordul. A PET-ből készült csomagolóanyag az egész világon elterjedt, palackok és fóliák formájában. A palackozott italok növekvő fogyasztásával, valamint az ipar fejlődésével a PET felhasználása is folyamatos növekedést mutat.



1. ábra. A PET kémiai szerkezete.

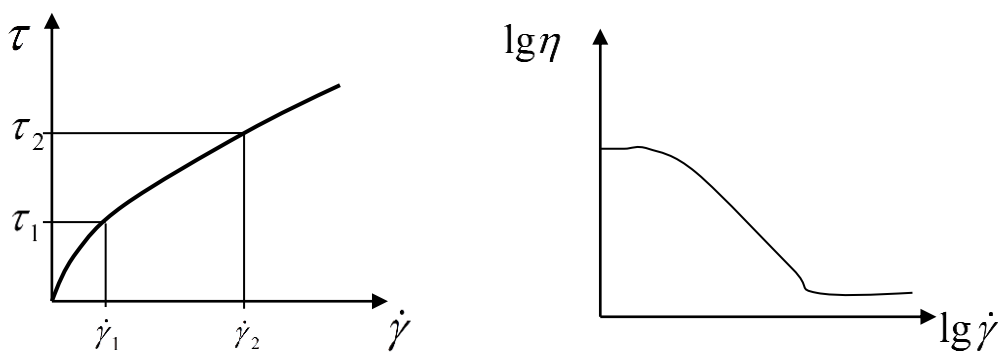
A PET palackokat már bizonyos helyeken részben újrahasznosított PET felhasználásával állítják elő. Az újrahasznosítás mértéke kb. 30-35 %-ra tehető. A PET minél nagyobb mennyiségű újrafelhasználása nyilvánvaló igény. De vajon a reciklált PET fröccsöntési tulajdonságai mennyiben térnek el az „eredeti”, újrafeldolgozott anyagot nem tartalmazó PET-től? Mik a fő okai a PET-ek eltérő tulajdonságainak?

Cikkünkben reológiai mérések eredményeit felhasználva hasonlítjuk össze a két fajta PET anyagot. [1-3]

2. A polimer ömledékekre vonatkozó legfontosabb összefüggések ismertetése

A reológia az a fizikai tudományág, amely az anyagok deformációjával, a deformációt előidéző erőkkel, a kettő időfüggésével, illetve a törvényszerűségek hőmérséklet- és nyomásfüggésével foglalkozik.

A polimerek feldolgozási eljárásai során az anyagot gyakran ömledék állapotban deformálják (alakítják). Mai ismereteink szerint azt mondjuk, hogy a reális polimer ömledékek struktúrviszkózosan viselkednek. Ennek az a sajátossága, hogy az ömledék (extrém) kis illetve (extrém) nagy igénybevételek tartományában newtoni jelleget mutat, a kettő között, a feldolgozási technológiák tartományában pedig nem-newtoni folyadékként viselkedik. A $\tau - \dot{\gamma}$ függvényt folyásgörbének, a belőle megszerkeszthető $\eta = f(\tau, \dot{\gamma})$ függvényt pedig viszkozitásgörbének nevezzük. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**



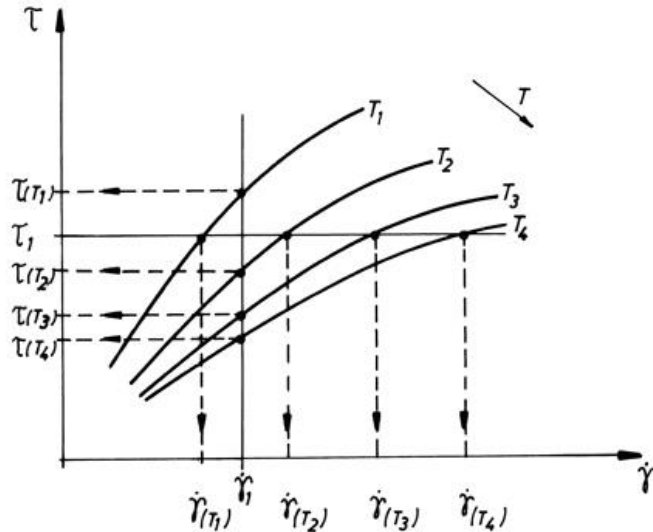
2. ábra. A struktúrviszkózosömledék folyás- és viszkozitásgörbéje.

τ a polimerömledékben ébredő feszültség $\dot{\gamma}$ deformációsebesség hatására. A logaritmusos lépték használata azért célszerű, mert a viszkozitás és a deformációsebesség tartománya igen széles.

A polimer ömledékek viszkozitása nem független az igénybevételtől, hanem annak növekedésével csökken. A viszkozitást még egyéb paraméterek is, jóllehet eltérő mértékben, de befolyásolják. Ezek közül messze a legfontosabb a hőmérséklet hatása, de nem hanyagolható el az átlagos molekulatömeg és a nyomás sem.

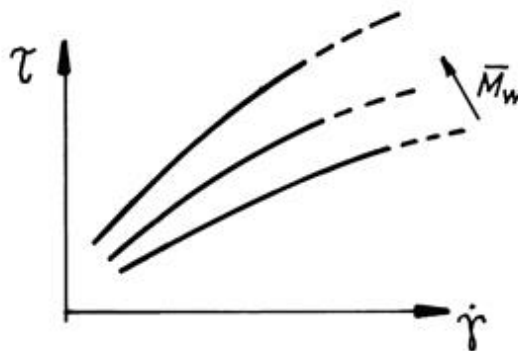
A hétköznapi életünk során gyakran tapasztalhatjuk, hogy az anyagok viszkozitása a hőmérséklet növekedésével csökken. A polimer ömledékek esetén is hasonló összefüggés tapasztalható.

A viszkozitás hőmérsékletfüggésének vizsgálatakor meg kell különböztetni, hogy azt állandó nyírófeszültségen, vagy állandó nyírósebességen hajtották-e végre. A 3. ábra szemlélteti a különböző hőmérsékleteken felvett folyásgörbéket:



3. ábra: A folyásgörbe hőmérsékletfüggésének jellege

A tapasztalat azt mutatja, hogy egy adott anyag esetén annak móltömegének növekedésével csökken az ömledék folyóképessége, nő a viszkozitása. A móltömeg növekedésével (egyre hosszabbak a láncmolekulák) javulnak a termék bizonyos használati tulajdonságai, a feldolgozhatósága egyre nehezebb (energiaigényesebb) lesz.



4. ábra. Az átlagos móltömeg hatása a folyásgörbére.

Ezt a hatást az

$$\eta_a = K' \bar{M}_w^{3,5} \quad (2)$$

összefüggés írja le, ahol \bar{M}_w : a tömeg szerinti átlagos molekulatömeg; K' : anyagi minőségtől függő állandó[4].

3. Módszer

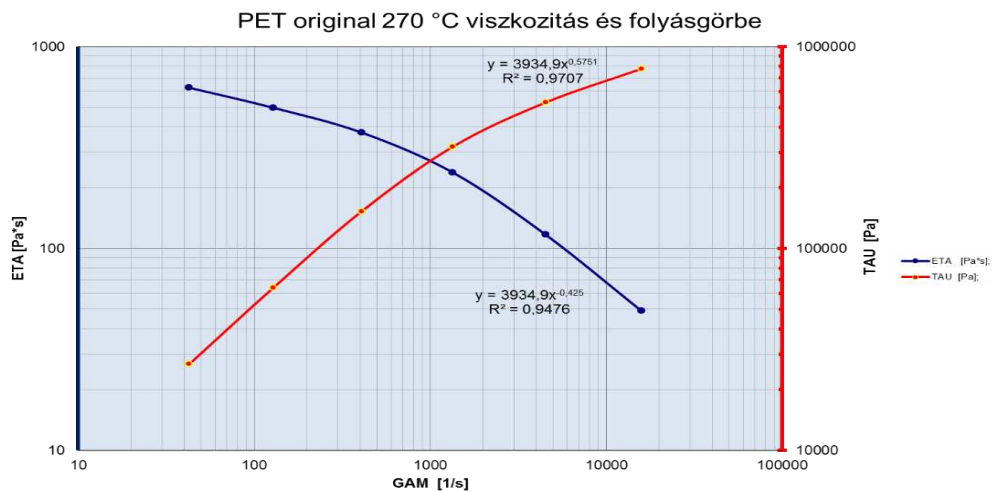
Méréseinket Göttfert Rheograph 25 típusú kapilláris reométerrel végeztük, amely polimer alapanyagok reológiai tulajdonságainak meghatározására, folyásgörbék felvételére alkalmas készülék.

A két különböző geometriájú kapillárisban külön-külön, egymástól függetlenül lehet elvégezni méréseket. Ennek az az oka, hogy kapillárisok mérési eredményeinek összevetéséből történik a be- és kilépési nyomásvesztések korrekciója (Bagley korrekció). Majd ezután a Rabinowitsch korrekció alkalmazása következik. Terjedelmi korlátok miatt a Bagley és a Rabinowitsch korrekciók nem kerülnek kifejtésre. A méréseket végző mérőműszer a korrekciókat önállóan elvégzi, ezzel a mérések hatékonyságát növeli.[5]

A méréseink során a kapilláris hőmérsékletét 10 °C-onként növelve: 270 °C, 280 °C és 290 °C beállított hőmérsékleti értékeken végeztük, mind a PET (original) és mind az 100 %-ban újrahasznosított PET (regranulátum) anyag vonatkozásában. Összesen 6 mérési pontot határoztunk meg mérésekkel a szemléletes ábrázolás érdekében. Méréseinket a felhasznált mintákkal jellemzően 42-16.000 s⁻¹ nyírási sebesség között végeztük.[3]

4. Eredmények

A viszkozitás- és folyásgörbéken jól megfigyelhető a nyírósebesség növelés hatása az anyag viszkozitására.

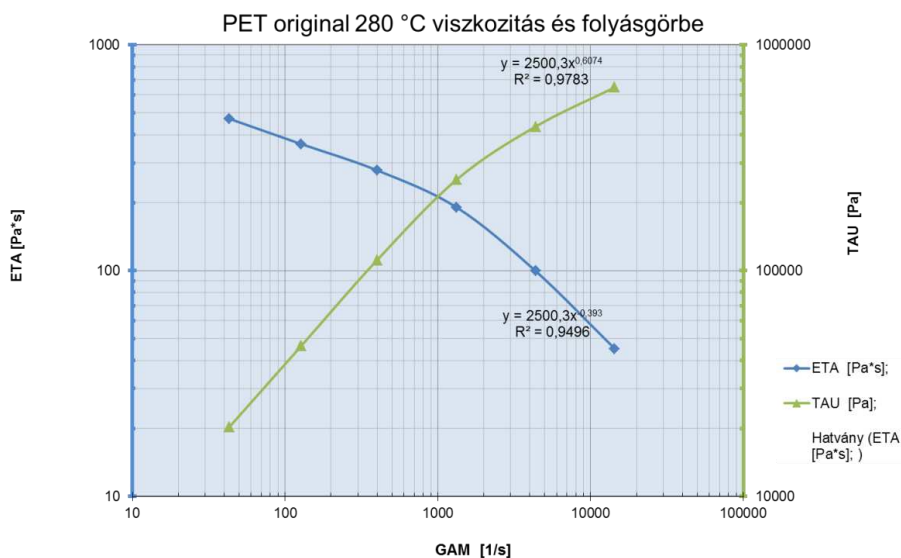


5. ábra a PET original 270 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

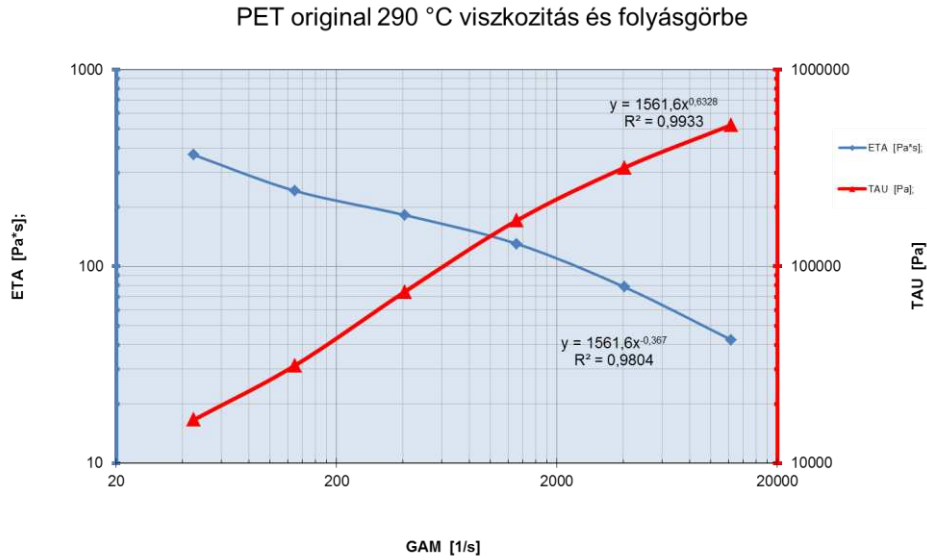
Az ábrán (5. ábra) a PET original anyag 270 °C-on mért viszkozitásgörbéje és folyásgörbéje látható.

Jól látható, hogy a kezdeti, 626 Pa*s viszkozitás lecsökken 49 Pa*s-ra. Ennek az ok, hogy a deformációsebesség 42 1/s-ról 15806 1/s-ra növekszik. A növekvő deformációsebesség hatására az anyag viszkozitása lecsökken. (A feszültség 26729 Pa-ról 776708 Pa-ra emelkedik.) Ennek a változásnak a magyarázata a makromolekulák orientációja, ami a szerkezet (konformáció) megváltozását eredményezi.

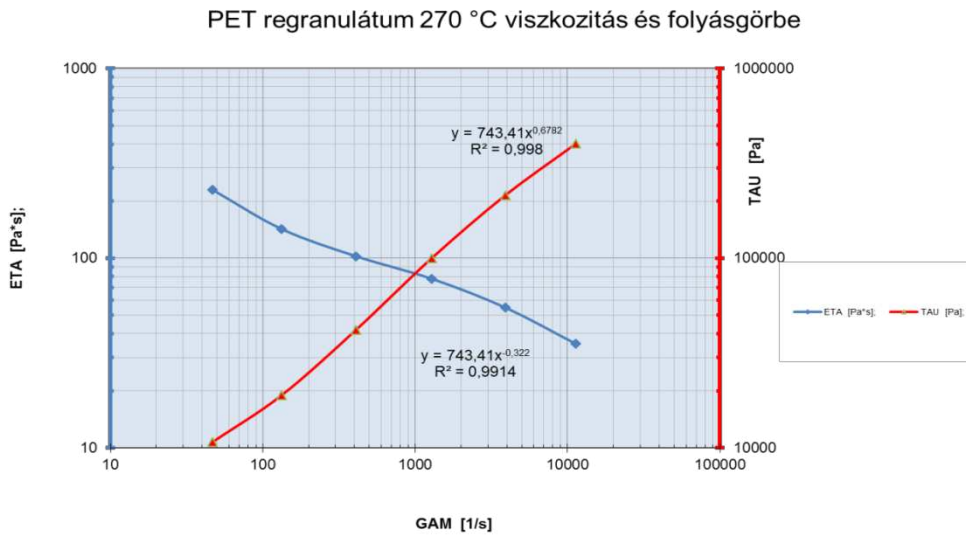
A 270 °C (5. ábra), 280 °C (6. ábra) és 290 °C (7. ábra) vizsgált hőmérsékletekhez tartozó PET original viszkozitás- és folyásgörbéi jellegükben hasonlóak.



6. ábra a PET original 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



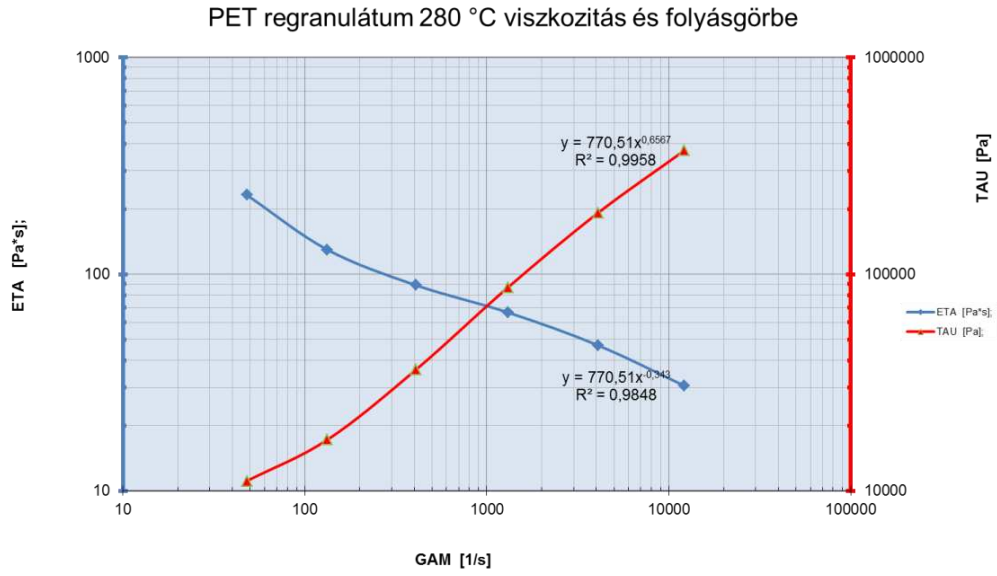
7. ábra a PET original 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



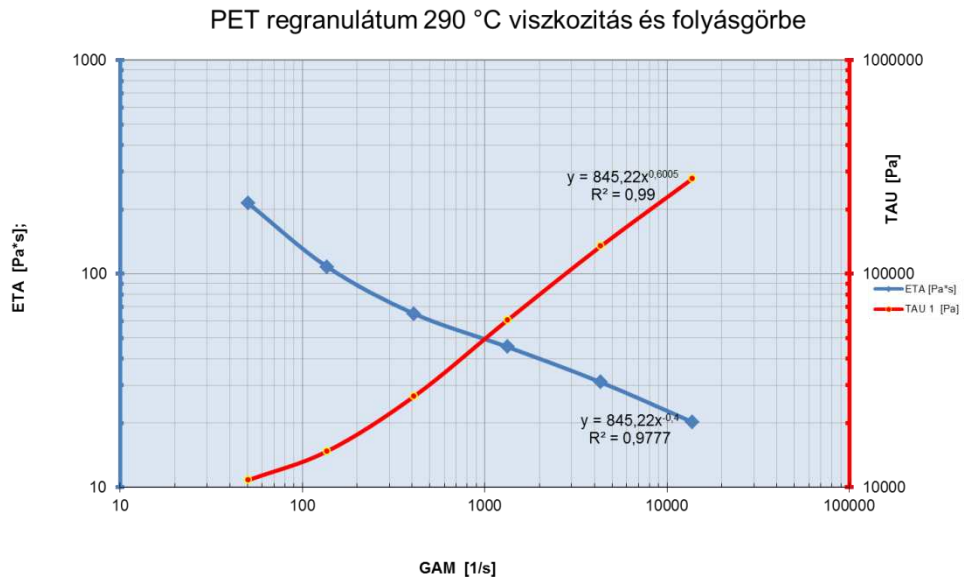
8. ábra a PET regranolátum 270 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

270 °C-on a PET regranolátum kezdeti, 229 Pa*s viszkozitás lecsökken 35 Pa*s-ra, mert a deformáció sebesség 46 1/s ról 11303 1/s-ra növekszik. (A feszültség 10729 Pa-ról 40044 Pa-ra emelkedik.)

A 270 °C (8. ábra), 280 °C (9. ábra) és 290 °C (10. ábra) vizsgált hőmérsékletekhez tartozó PET regranolátum viszkozitás- és folyásgörbéi jellegükben hasonlóak.

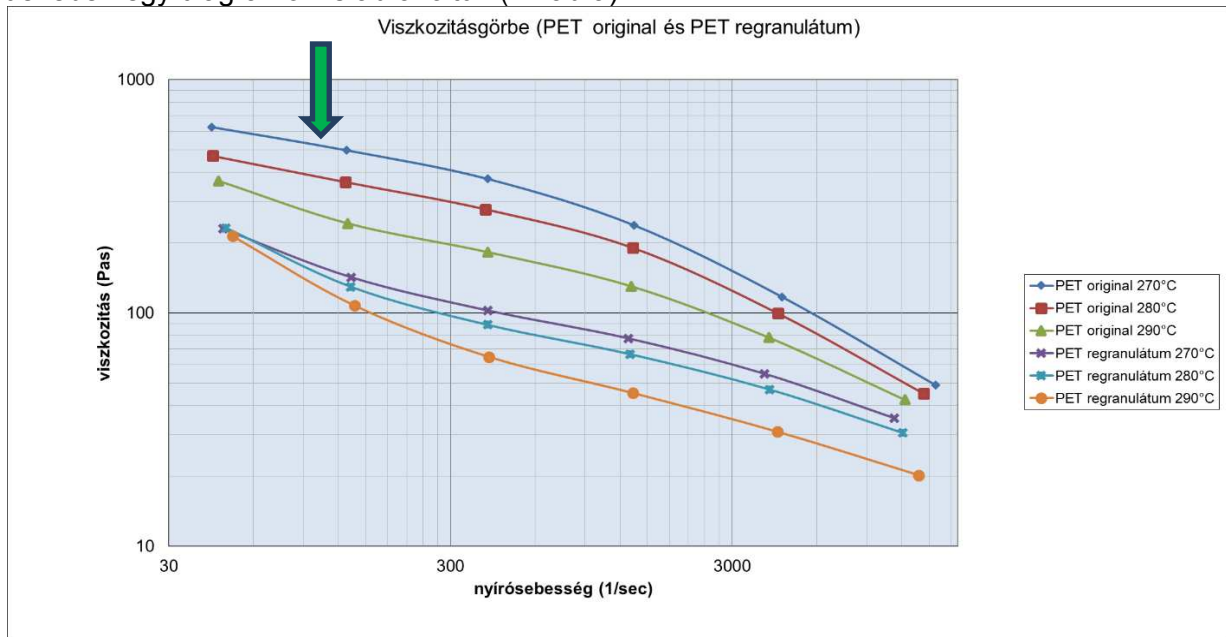


9. ábra a PET regranolátum 280 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe



10. ábra a PET regranolátum 290 °C viszkozitásgörbe és folyásgörbe

Az PET original és a PET regranolátum viszkozitásgörbéit a szemléletesebb ábrázolás érdekében egy diagramon is ábrázoltuk (11. ábra).



11. ábra: Viszkozitásgörbe (PET original és PET regranolátum)

Jól látható, hogy a vizsgált tartományban magasabb hőmérséklethez alacsonyabb viszkozitás tartozik ugyanannál a deformációsebességnél. Ez a megállapítás mind a PET original és mind a PET regranolátum anyagokra igaz. (Például a PET original anyag esetében 128 1/s deformációsebességhez 270 °C-on 497 Pas, 280 °C-on 363 Pas, 270 °C-on 107 Pas viszkozitás érték tartozik. (A pontok helyét zöld nyíllal jelöltem meg a diagrammon.)

Szintén megállapítható, hogy a PET regranolátum anyag minden hőmérsékleten alacsonyabb viszkozitást produkál, mint a PET original anyag közel azonos deformációsebességnél. (Például 270 °C-on a PET original anyag viszkozitása 497 Pas 128 1/s deformációsebességen, a PET regranolátum viszkozitása 142 Pas 133 1/s deformációsebességen.)[3]

5. Következtetések

Annak magyarázata, hogy azonos vizsgált hőmérsékleten a PET original nagyobb viszkozitással rendelkezik, mint a PET regranolátum, illetve a folyásgörbéi is magasabb tartományban helyezkednek el a molekula tömegben bekövetkezett változásokban rejlik.

Felhasználva a viszkozitás és az átlagos molekulatömeg összefüggését következtethetünk a PET original és a PET regranolátum átlagos molekulatömegének változására.

Ennek érdekében a következő táblázatban (1. táblázat) 270 °C hőmérséklethez tartozó PET original és PET regranolátum nullviszkozitási értékeit jelenítem meg. Majd a hányadosukból 3,4 gyököt vonok.

1. táblázat: PET original és PET regranolátum nullviszkozitása

Hőmérséklet	270 °C
$\eta_0(\text{PET regranolátum})$	650
$\eta_0(\text{PET original})$	788
$\sqrt[3,4]{(\eta_0(\text{PET regranolátum})/\eta_0(\text{PET original}))}$	0,945

Az így kapott érték a PET regranolátum és a PET original tömegszerinti átlagos molekulatömegének arányát adja eredményül. Azaz a PET regranolátum átlagos molekula tömege 5,5 %-kal kisebb a PET originalhoz képest, ha feltételezzük, hogy a K' anyagi minőségtől függő állandó azonos a PET original és a PET regranolátum anyagok esetében. Ennek magyarázata az, hogy a molekulák hossza lecsökkent. A változások oka a PET degradáció.[3]

A PET újrahasznosítása során az anyag tulajdonságai romlanak: csökken a viszkozitás, rövidülnek a molekulaláncok, csökken a molekulatömeg, a kristályosság és a mechanikai tulajdonságok megváltoznak, például az anyag ridegebbé válik. [6]

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Iván Georgina, Gere Dániel: PET degradációjának nyomon követése az újrahasznosítás során (TDK dolgozat), Budapest, 2014.
- [2] Dr. Füzési László, Dr. Kelemen Andorné: Műszaki Műanyagok Zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1989.
- [3] Dugár Tamás: A PET molekuláris jellemzőinek meghatározása reológiai mérésekből (Diplomamunka), Miskolc, 2015.
- [4] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000.
- [5] Tóth Gergely: Műanyag alapszabványok vizsgálata gyártási körülmények között (Diplomamunka), Miskolc, 2013.
- [6] Bánhegyi Gy.: Poli(etilén-tereftalát) (PET) újrafeldolgozása a tulajdonságok javításával. Műanyagipari Szemle, 2005. Május, 2. kötet, 85-92. oldal

NAPJAINK JÁRMŰKAROSSZÉRIA ANYAGAI

THE PRESENT BODY IN WHITE MATERIALS

Béres Gábor^{1*}, Danyi József¹, Végvári Ferenc¹, Tisza Miklós²

¹ Anyagtechnológia Tanszék, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskeméti Főiskola, Magyarország

² Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Miskolci Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

járműkarosszéria,
tömegcsökkentés,
nagy szilárdságú acélok

Keywords:

body in white, light weight
construction, high strength steels

Cikktörténet:

Beérkezett 2015. október 10.

Átdolgozva 2015. október 31.

Elfogadva 2015. november 5.

Összefoglalás

A járműipar dinamikus fejlődésével egyre sürgetőbbé válik a járműgyártás költségeinek és „anyagéhségének”, illetve a gépjármű károsanyag kibocsátásának csökkentése. Új innovatív, környezetbarát megoldások felkutatása szükséges a természetes környezet és az emberiség harmóniájának fenntartásához. E követelmények kielégítése mellett, a modernkori járműfelhasználóknak jogosak az igényeik a biztonság tekintetében is. Az átalakuló félben lévő elvárások kielégítése érdekében vékonyabb lemezek alkalmazása került előtérbe, melyekkel a kisebb tömeg, így kevesebb üzemanyag felhasználás révén a CO₂ emisszió csökkentése megoldható. A vékonyabb lemezekből álló járműkarosszéria törésbiztonságának megtartásához azonban új, nagy szilárdságú, és nagy energia elnyelő képességű anyagokra van szükség. Az ezekkel az anyagokkal megoldható, szilárdság arányból származtatott tömegcsökkenés, akár több mint 30% is lehet, anélkül, hogy az elnyelt ütközési energia, azaz a törésbiztonság csökkenne.

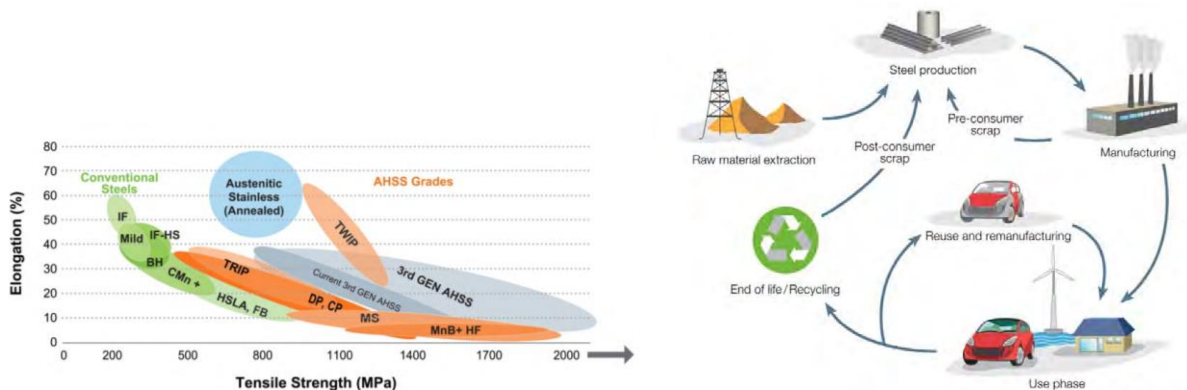
Abstract

The continuously development of automotive industry urgently requires the reducing of manufacturing and material costs. Next to the high costs, the moderation of the greenhouse gas emission is also a primary problem. Finding of new innovative and environmental safe technologies is necessary to save the harmony between the population and the nature. Next to this conditions the requirements of the customers with regard to safety lead to the increasing of the body strength. Applying of thinner sheets came into view in order to the weight reduction, and in this way the reduction of the fuel combustion and CO₂ emission. But the production from thinner sheets is only possible with the application of high-strength materials to avoid the reduction of crashworthiness and safety. Vehicle manufacturing from such materials can reach up to 30 % mass reduction, next to unchanged crashworthiness.

* Béres Gábor. Tel.: +36 30 4326711; fax: +36 76 516377
E-mail cím: beres.gabor@gamf.kefo.hu

1. Bevezetés, avagy az acél szerepe a modern járműépítésben

Az autóiipari fejlesztésekben meghatározó szerepet játszanak olykor egymásnak is ellentmondó követelmények. Ezen követelmények közül, egyidejűleg több szempont kielégítésében is kulcskérdés a személygépkocsik tömegének a csökkentése (*light weight construction*). A követelmények teljesítése céljából, elsőként az *Ultra Light Steel Auto Body (ULSAB)* konzorcium jött létre 1994-ben, harmincöt acélgyártó vállalat együttműködésében [1]. A konzorcium egyik legsikeresebb eredménye, a fejlett nagyszilárdságú acélok családjának, az *Advanced High-Strength Steels-nek (AHSS)* a kifejlesztése volt (1. ábra (bal oldal)). A karosszéria anyagok fejlesztésében egy újabb mérföldkő, a *WorldAutoSteel*, tizennyolc acélgyártó vállalat (mint pl.: *China Steel Corporation, Hyundai-Steel Company, Arcelor Mittal, ThyssenKrupp Steel Europe AG*) összefogásában alakult világszervezet által, 2008-ban indított *Future Steel Vehicle (FSV)*, azaz a *Jövő Acél Járműve* program volt. Ennek célja a nagyszilárdságú acélok alakíthatóságának továbbnövelése, és a CO₂ kibocsátásnak, a jármű teljes élettartamára („*vehicle total life cycle*”) vonatkozó csökkentése. A környezet- és egészségvédelmi kérdésekben ugyanis nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a jármű nem csak üzeme során „pusztítja” a kék bolygót, hanem már annak előállítása, majd hulladékként való elhelyezése is a környezetünket terheli. Mivel a tömegcsökkentés céljából leggyakrabban különböző nagyszilárdságú acél, illetve alumínium és magnézium ötvözeteket, valamint különféle szálerősítésű, polimer-mátrixú kompozitokat alkalmaznak, a *WorldAutoSteel* [1] ezekre az anyagokra vonatkozóan készítette el a, teljes élettartamra vonatkozó kutatásait:



1. ábra: A nagyszilárdságú acélok fejlesztési lépései (balról) és a jármű teljes 'élettartamának' ciklusai, az alapanyag gyártástól a hulladékká válásig (jobbról) [1]

Ezen kutatás eredménye szerint tévhit, hogy a CO₂ kibocsátás orvoslása, a fent említett kis sűrűségű anyagokkal egyszerűen megoldható. A kipufogógáz emisszió valóban csökkenthető, de az Al, Mg, és a kompozit anyagok előállítása akár hússzor akkora környezetterhelést jelent, mint az acélgyártás. Itt fontos megjegyezni, hogy a hibrid és elektromos autók megjelenésével és terjedésével, a teljes életciklus során, a káros anyag kibocsátásért elsőrendűen felelős ciklus szerepébe, a jelenleg megszokott felhasználási ciklus (*use phase*: 1. ábra (jobb oldal)) helyett egyre inkább a gyártás fázisa lép, ami tovább kedvez az acél karosszériáknak [1].

A felhasználási ciklusban a tömegcsökkentéssel elérhető a kisebb üzemanyag fogyasztás, gazdaságosabb üzemeltetés, - amelyek a fogyasztók számára a legfontosabb követelmények - továbbá a kisebb fogyasztásnak köszönhetően a káros anyag kibocsátás törvényi mértéknek kielégítése is lehetséges. 57 kg súlycsökkentéssel például 0,09-0,21 km/liter plusz megtett út, azaz üzemanyag megtakarítás lehetséges [2].

2. Jól alakítható autóiipari lágyacélok

A járműipari lágyacélok nagy százalékban ferrites szövetszerkezettel rendelkező, alumíniummal csillapított acélok, amelyek nagyon jó alakíthatósági tulajdonságokkal rendelkeznek. A kedvező alakíthatóságuk mellett viszont kis szilárdsággal jellemezhetők - ha $R_{p0,2} > 275$ MPa akkor már növelt szilárdságú acélokról beszélünk -, amely a mostanában megfigyelhető háttérbe szorulásukat eredményezte [1,3,4,]. A szilárdságot és az alakíthatóságot az acélok

mikroszerkezetét felépítő fázisok tulajdonságai határozzák meg, mint például azok keménysége, aránya, mérete, eloszlása és alakja [4,5,6,7]. Több szerző [4,8] szerint anélkül, hogy megváltoztatnánk a kémiai összetételt, képlékenyalakítással és hőkezeléssel a következő szilárdságnövelő szerkezetváltoztatási lehetőségek kínálkoznak:

2.1. Hideg képlékenyalakítás okozta keményedés

Hidegalakítás hatására a fémekben az egy köbcentiméter anyagterefogatra eső diszlokációk száma, a lágy állapothoz képest hat, tizenkettő nagyságrenddel megnövekedhet. A megnövekedett számú diszlokációk, a képlékeny alakváltozás során egymás mozgását akadályozzák, így jelentős szilárdság növekedés érhető el. A szilárdság és a diszlokáció sűrűség kapcsolatát a *Taylor* egyenlet, illetve annak módosított alakja írja le:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot |b| \cdot \sqrt{\rho} = R_0 + k \cdot G \cdot |b| \cdot \sqrt{\rho_0 + C \cdot \varphi^n} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (1)$$

ahol R_e a folyáshatár, R_0 szilárdsági konstans, k az anyagra jellemző állandó, G a csúsztató rugalmassági modulus, b a Burgers-vektor abszolút értéke, ρ a diszlokációsűrűség, ρ_0 a lágyított állapotra jellemző diszlokációsűrűség, C az egységnyi alakváltozáshoz tartozó alakítási szilárdság, φ az összehasonlító (más néven logaritmikus) alakváltozás, és n a keményedési kitevő [4,6,8].

2.2. Szilárd oldat képződés, szilárdságnövelés az oldódási keményedési mechanizmussal

Minél nagyobb mértékben tér el az oldott elem atomsugara acélok esetében a vasétól, annál nagyobb mértékű rácstorzulást okoz, így nagyobb szilárdságot eredményez [4]. A jelenség, a következő képen írható le:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot \varepsilon^p \cdot C_o^q \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (2)$$

ahol az előzőekben említett paramétereken kívül, ε a rácstorzulás mértéke, C_o az ötvözőanyag koncentráció. A p és a q értéke kisebb ötvöző koncentrációknál 2, illetve 1, míg nagyobbaknál 1,5 és 0,5. A rácstorzulás mértéke a (3) egyenlet alapján számolható:

$$\varepsilon = \frac{d_a - d_o}{d_a} \quad [mm] \quad (3)$$

ahol d_a az alapanyag atomátmérője, d_o az ötvözőanyag atomátmérője [4,6].

Az előző egyenletben szereplő ε és C paraméterek a *Vegard-szabály* (4) alapján összevonhatók, azaz az ötvözetben az átlagos rácsparaméter (A_o) számolható [6]:

$$A_o = d_a \cdot (1 - C_o) + d_o \cdot C_o = d_a + C_o \cdot (d_o - d_a) \quad [mm] \quad (4)$$

A [9] irodalom szerzői a szilárdságnövelés becslésének lehetőségeit átfogóan vizsgálva, a szilárd oldat képződéssel kapcsolatban arra jutottak, hogy a ferrit maximális karbon oldó képessége a mérvadó, mert a többi karbon a *Ti*-al, a *Mo*-el és az egyéb ötvöző elemekkel kiválásokat képez, és így nem járul hozzá a szilárd oldat képződéssel realizálható szilárdságnövekedéshez. A kutatásukban vizsgált acél esetében a szilárd oldat képződéssel elért szilárdságnövekedés nagyjából 120 MPa volt.

2.3. Szemcsefinomítás

A diszlokációk által képviselt instabil termodinamikai tartományokat közvetve hasznosíthatjuk az újonnan kialakuló krisztallitok mennyiségének növelésére, ezáltal azok átlagos méretének csökkentésére. Ehhez az szükséges, hogy a lehetőleg nagymértékű képlékenyalakítást – lemezgyártásnál a hengerlést - követően újrakristályosodás, vagy fázisátalakulás mehessen végbe az anyagban. Ennek a lehetősége, a termomechanikusan hengerelt acéltermékeknél a gyártástechnológiai sajátosságok által egyértelműen fennáll. Tehát a hűtés vagy az újra-hőkezelés során, az időegység alatt keletkező csírák számát nagyságrendekkel növelni lehet, és ez együtt jár a kész anyagban a krisztallitok számának növekedésével. Ennek feltétele, hogy az egyensúlyi feltételeket biztosító hőmérsékletektől nagyban el kell térni, hogy az N csíráképződési képességet növeljük, ahogy az, a (5) képletből kiderül:

$$N = N_0 \cdot \exp\left(\frac{-Q_N}{RT}\right) \quad \left[\frac{1}{\text{cm}^3 \cdot \text{min}}\right] \quad (5)$$

Ahol N_0 csíráképződési állandó, Q_N az aktiválási energia, R az egyetemes gázállandó, T pedig az abszolút hőmérséklet [6,8]. Ismert, hogy a minél nagyobb túlhűtésnek, illetve túlhevítésnek köszönhetően csökken a kristallitok G növekedési sebessége is, ami a kapott szerkezetre hatással lehet. Zorkóczi [10] a csíráképződés és növekedés folyamatokról így ír: „Ha tehát az új szemcsék kialakulása lassú hűlés közben történik, akkor kis túlhűtésnél, időegységben kevés csíra keletkezik. Ugyanakkor a kristályosodási sebesség nagyobb lévén, nagy szemcsék keletkeznek, tehát az új fázis durva szemű lesz, ami szilárdsági tulajdonságaira, főleg a szívósságra káros”. Prohászka [8] szerint azonban a csíranövekedési sebesség hatását sok esetben elhanyagolhatjuk, mivel a tapasztalat szerint a legtöbb intenzív hűtéssel lejátszódó hőkezelés során olyan sok csíra keletkezik, hogy azok nagyon rövid idejű növekedés után összeérnek és további növekedésük lehetetlenné válik.

A szemcsefinomítás, a fémelőállítás során mikroötvözéssel segíthető. A legjellemzőbb mikroötvözők az Al , a Ti , a V a Nb és a Zr , illetve a TiB_2 mint vegyület. A mikroötvözők az alapszerkezetben kiválásokat alkotnak, és diszperz eloszlásuk révén akadályozzák a szemcsék túlzott eldurvulását [3,4,6]. A [9] irodalom szerzői azt mutatták ki, hogy átlagos $3\mu\text{m}$ -os szemcsemérettel számolva, az elérhető szilárdság növekedés vas-alapú ötvözetek esetében 420-450 MPa lehet.

A finomszemcsés szerkezetben a szilárdságnövekedést, jól ismert módon, a szemcsehatárokon kialakuló diszlokációs-energiacsúcsok alacsony értéken tartása okozza. A szemcse méret átlagos csökkenéséből származtatható szilárdságnövekedést a *Hall-Petch* egyenlet írja le [4,6,8]:

$$R_e = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2}\right] \quad (6)$$

ahol az előzőekben említett paramétereken kívül d az átlagos szemcsenagyság.

2.4. Kiválásos keményítés

A kiválásosan keményíthető anyagok nemesítése során kiválnak/szegregálódnak az ötvöző anyagok vegyületei. A szilárdítás szempontjából kedvező, ha minél közelebb helyezkednek a kiválások egymáshoz, azaz ha minél rövidebb az alapmátrixban az ún. diszlokációs szabad úthossz (λ_f) [4,6]:

$$R_e = R_0 + k \cdot G \cdot \left|\frac{b}{\lambda_f}\right| \cdot \frac{1}{\lambda_f} \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2}\right] \quad (7)$$

A kiválások közötti távolság mellett fontos tényező a kiválások mérete is. Haldar et al. [9] kutatásai során, tisztán ferrites szerkezetben, 2-4 nm méretű Ti , Mo , Nb és V karbidok által alkotott kiválások szilárdság növelő hatását is vizsgálták. Esetükben a kiválások 330-430 MPa-al járultak hozzá a mechanikai jellemzők fokozásához.

3. Növelt szilárdságú acélok

A tömegcsökkentés semmilyen körülmények között nem eredményezheti az utasbiztonság csökkenését, így az egészségvédelem szempontjából fontos helyeken, nagyszilárdságú anyagok alkalmazására van szükség. A szilárdság növelése általában az alakíthatóság romlásával jár, de a nagyobb szilárdság növelheti az energia elnyelő képességet, és a merevséget, azaz a deformációval szembeni ellenállást [1,2,3,9,11,12,13,14,15,16,17]. A járművek biztonságának tekintetében nem véletlenül választódik ketté a „törésbiztonság” (*crashworthiness/crash performance*) fogalma a merevség (*stiffness*), és az energia elnyelő képesség (*energy absorbtion*) fogalmára. Maga a törésbiztonság a járműnek dinamikus igénybevétellel szembeni, például ütközés elleni ellenálló képességét jelenti. Nagyban befolyásolja mind az agyag tulajdonsága, mind a geometriai kialakítás. Egy járműben a két, biztonsági szempontból általánosított terület a merev utasfülke és a nagy energia elnyelő képességű gyűrődési zóna (*crumple zone*). Egy ütközés során az utasfülke nem deformálódhat, az utasokat körülvevő tér nem csökkenhet. Ezzel

szemben a jármű elején és végén lévő gyűrődési zóna feladata, hogy a lehető legtöbb ütközési energiát elnyelje, és párnaként óvja az utasfülkét a deformációtól. A *WorldAutoSteel* [1] kutatási eredményei alapján a merevség nem függ a folyáshatártól, vagy a szakító szilárdságtól, csak a rugalmassági modulustól és a geometriától, elsősorban az igénybe vett elem inercia nyomatékától. Az energia elnyelő képesség pedig a keményedési kitevővel (n) hozható összefüggésbe.

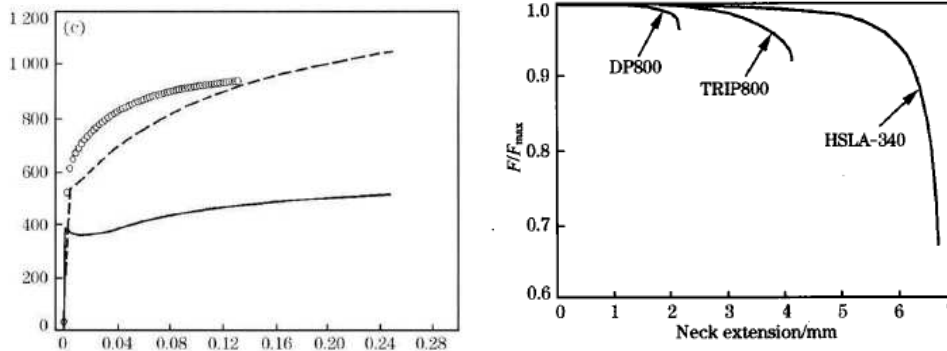
3.1. Első generációs nagyszilárdságú acélok

Az első generációs nagyszilárdságú acélok csoportjából elsődlegesen az interstíció mentes (*Interstitial Free - IF*) és a festés utáni hőkezelés hőmérsékletén kikeményedő, találón a péktermékek készítésének hőmérsékletén történő hőkezelés után elnevezett, ún. „*Bake Hardening*” (*BH*) acélokat emelném ki.

Mivel az **IF acélokat** főleg húzó jellegű igénybevétellel alakítják, ezek az acélok ultra kis C és nitrogén tartalommal rendelkeznek, sőt utóbbi atomok Ti -al és Nb -al kötöttek. Ezen extrém alakíthatósággal rendelkező lemezek átlagos aniztrópia tényezője (vagy Lankford-féle számnak is nevezik, jelölése: r) 2,5 és n értéke 0,27 (ami jelentős egyenletes nyúlásra utal), amit finom szemcsés ferrites szerkezettel érnek el. Ez a kedvező mikroszerkezet a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten végzett nagyarányú alakváltozással járó meleghengerléssel, majd gyorsított hűtéssel, vagy nagyarányú alakváltozással járó hideghengerléssel és azt követő magas hőmérsékletű megeresztéssel biztosítható. A jó alakíthatóságnak köszönhetően a nagy panelek egyben gyárthatók, így csökkenthető a hegesztett és egyéb kötések mennyisége, ami költség megtakarításhoz vezet. Az *IF* acélok, a fentebb említett jó alakíthatóság miatt külső burkoló panelek gyártására használatosak [3,12].

Bizonyos szintű merevség, szilárdság a külső borító, amúgy igénybevételeknek kevésbé kitett elemektől is elvárható, hogy ellenálljanak a használat közben okozott kisebb behorpadásoknak, benyomódásoknak, és kőfelverődéseknek. Ezekkel szemben természetesen ellenállóbb a lemez, ha nagyobb a szilárdsága, azonban fontos a folyáshatárt kb. 240 MPa alatt tartani, hogy az alakítást követően szép, esztétikus felületet kapjunk. Ezen ellentmondó tulajdonságoknak a kielégítése lehetséges a **BH acélokkal**, amelyek az alakítás során alacsony szilárdsággal rendelkeznek, de utólag a merevség növelhető [12]. A *BH* acélok szobahőmérsékleten a karbont oldott állapotban képesek tartani, de a festést követő szárító hőkezelés során (kb. 170 °C-on, 20-30 perc) megeresztődnek, és ahogy a kiváló karbon és nitrogén atomok megszállják a hidegalakítás hatására egyébként megnövekedett számú diszlokációkat, a szilárdságuk, a 2.4 pontban leírtakkal megegyező módon – a *WorldAutoSteel* [1] kutatásai alapján – 30-50 MPa-t növekszik [3,4,12]. Egy korábbi hazai kutatás [3] a *BH* acélok gyártástechnológiáját a következő képen fogalmazza meg: „(...) szükséges az acélgyártás során a karbon oldott állapotban tartása, amelynek a gyakorlati lehetőségét a folyamatos lágyítás technológiájának kidolgozása teremtette meg. Ezt megelőzően a nagyméretű lemeztekercek olyan gyors hűtése, amely a karbont oldott állapotban tartja, lényegében nem volt megoldható”.

Szintén ebbe a csoportba sorolható az első, már valóban nagyszilárdságúnak nevezhető, karosszéria építésben használatos acélsalád, azaz a gyengén ötvözött, nagyszilárdságú (*High Strength Low Alloy - HSLA*) acélok. A **HSLA acélok** nagy folyáshatárú ($R_m=400-1000 \text{ N/mm}^2$), gyengén ötvözött, kis széntartalommal ($C=0,1-0,2\%$) rendelkező, mikroötvözött acélok. Jellemzően a ferrites szerkezet finom karbidokat illetve nitrideket tartalmaz. A legfontosabb jellemzői: nagy folyáshatár/szakítószilárdság arány, nagy keményedési kitevő (n) és megközelítően izotróp tulajdonság. Ezen tulajdonságok jó alakíthatóságra utalnak. A *HSLA* acélok interstíciósan oldott elemeket is tartalmaznak (főleg Mn -t), így más hasonló acéltípusokkal megegyezően határozott folyáshatárral rendelkeznek. Fontos tulajdonságuk, hogy a nyakképződést követő nyúlásuk meghaladja a későbbiekben ismerttetett *DP*, vagy a *TRIP* acélokét (2. ábra) [3,18].

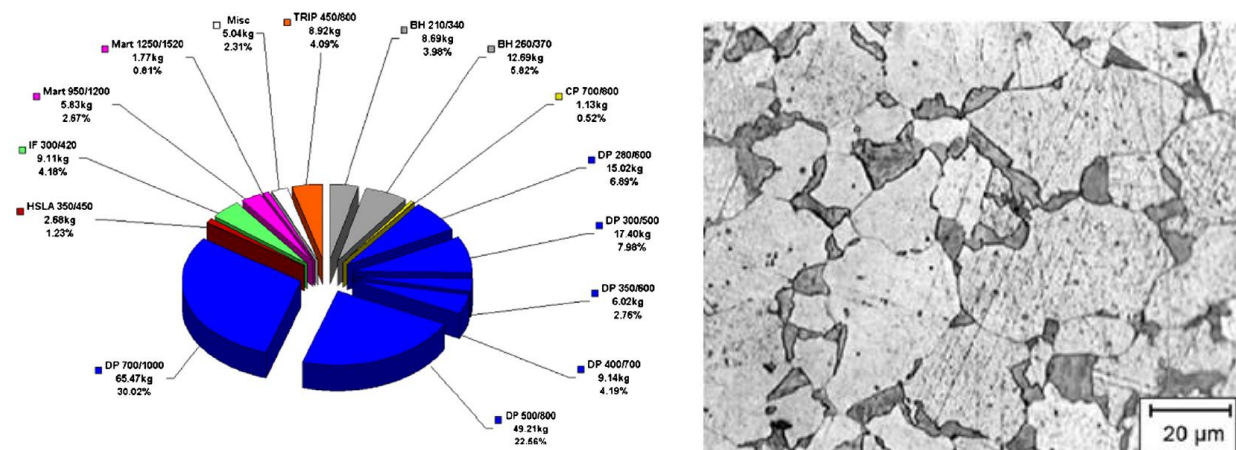


2. ábra: DP 800 (körök), TRIP 800 (szaggatott vonal) és a HSLA-340 (folytonos vonal) acél szakítódiagramja (balról) és kaontrációs nyúlása (jobbról) [18]

Ezekben az acélokban a *Mn* mellett, melynek mennyisége nagyjából 1%, mikroötvözőként a *Nb*, a *Ti*, a *V*, és az *Al* található meg. Mikroötvözésről azért beszélhetünk, mert ezen ötvözőelemek összes mennyisége nem haladja meg a 0,15 %-ot. Ettől függetlenül hatásuk jelentős mind a szemcsefinomítás, mind pedig a kiválásos keményedés kapcsán [3,5].

3.2. Második generációs nagyszilárdságú acélok

A második generációs acélok közül az autógyártók előszeretettel alkalmazzák a **DP** (Dual Phase – Kettős fázisú) acélokat (3. ábra (baloldal)). Ezek az anyagok a kedvező tulajdonságaikat a speciális mikroszerkezetüknek (3. ábra jobb oldal) köszönhetik: a lágy ferrit mátrix biztosítja a jó alakíthatóságot, míg a kemény martenzit szemcsék a szilárdságot felelősek. A szövetszerkezetben a martenzit szokásos mennyisége 5-30 %. Ha az acél szakítószilárdsága 450 és 550 MPa közötti, akkor a martenzit szokásos mennyisége 10-18%, ha $R_m > 550$ MPa akkor pedig 20-30% [21]. A DP 980 acéloknál a martenzit tömegaránya elérheti a 40%-ot is [22]. Ezek a nagyszilárdságú, de még jól alakítható acélok olyan fejlesztési lehetőségeket biztosítanak, mint például a járművek ütközésekor bekövetkező károsodás mértékének csökkentése, anélkül, hogy növelnénk a gépjármű tömegét [4,5,7,19,20]. A HSLA acéloknál jobb alakíthatóságért vélhetően az a jelenség felelős, hogy a kiválásokhoz képest a martenzit „jól” alakítható. A „kis C tartalmú acélban ugyanis a martenzit korántsem olyan törekeny, mint pl. az ún. edzhető acélban”. A 0,2%-nál kevesebb széntet tartalmazó martenzit nem tetragonális, hanem köbös, és ha kis mértékben is, de alakítható [8].

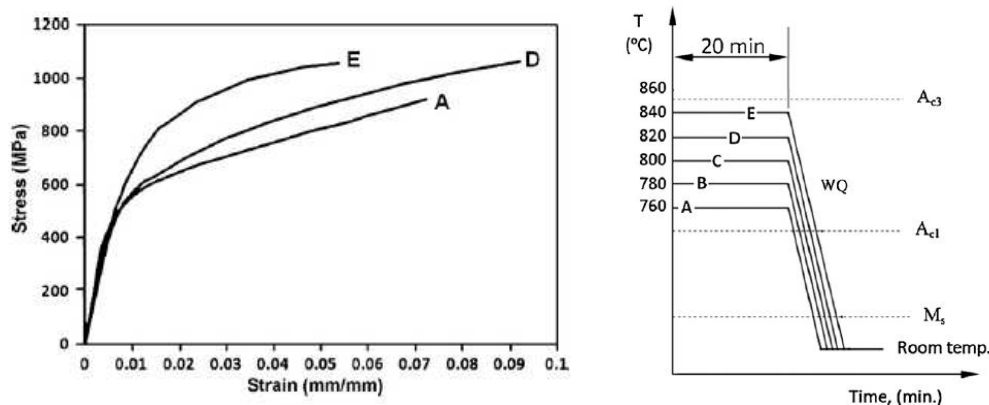


3. ábra: Az egyes acéltípusok eloszlása egy mai járműben az ULSAB 2010-es adatai szerint [7] és a DP-acél ferrites-martenzites szövetszerkezete; 2%-os nitalban maratva a ferrit szürkére, a martenzit fekete maródik [18]

A duál-fázisú acélokban rejlik a lehetőséget, azaz, hogy a hengereltáru felhasználás jelentősen csökkenthető az acél szilárdságának növelésével, következésképpen az alkatrészek

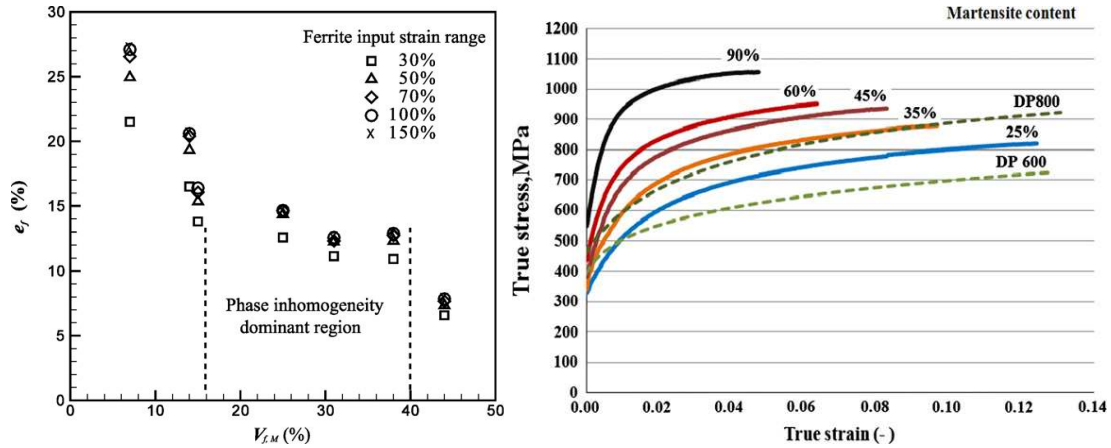
falvastagságának csökkentésével, már több mint két évtizeddel a múlt század vége előtt felismerték. Az akkori megállapítások szerint a haszongépjárművek, traktorok tömege 15-25%-al volt csökkenthető [21,23]. Mára a személyautók tekintetében az AHSS-ek felhasználásával elérhető tömegcsökkentés több mint 25% [25].

A DP acélok jellemző tulajdonságai a ferrit-martenzit szövetaránytól, és a martenzit szigetek alakjától és eloszlásától egyaránt függenek. Az egyes típusok kifejezetten nagy szakitószilárdsággal rendelkeznek, határozott folyáshatárjuk nincs - a [5] irodalom szerzői szerint azért, mert a ferritben és a ferrit-martenzit fázishatárokon a diszlokációk szabad mozgásának lehetősége adott (4. ábra bal oldala) - keményedési kitevőjük (n) nagy és így egyenletes nyúlásuk figyelemre méltó. A [21] irodalom szerint az egyenletes nyúlás részaránya a teljes nyúlás 80%-át is elérheti, a szilárdságnövekedés pedig átlagosan 10 MPa minden 1% keresztmetszet-csökkenésre számolva. Bár előállításukban fontos szerepet játszik a hőkezelés, a mechanikai tulajdonságaikban kismértékű anizotrópia mégis észlelhető [1,3,4,5,7,18,19,20,21,26,].



4. ábra: Különböző hőmérsékletről hűtött DP acélok feszültség-nyúlás görbéje és a hőkezelések folyamatábrája [5]

A kettős-fázisú acélokban a széntartalom 0,1% körüli érték. A karbon szilárdságnövelő hatása a DP acélokban különösen fontos, mert a martenzit adott térfogathányada (V_m) mellett, annak keménysége is a széntartalomtól függ [3,5,7,21,27,28]. Korábban is és ma is sok vizsgálat irányul a martenzit mennyiségének és a DP acél mechanikai tulajdonságainak kapcsolatának feltárására. Például Fallahi et al. [5] kimutatta, hogy az alakíthatóság és szilárdság szempontjából optimális a 4 μ m-es martenzit szemcseméret, 30-40%-os térfogatarányban. Ezek a vizsgálatok azonban mind egyenletes martenzit eloszlást feltételeztek, így a végső konklúzió mindig az volt, hogy az eloszlás figyelmen kívül hagyásával nem lehet direkt kapcsolatot teremteni pusztán a V_m és a mechanikai tulajdonságok között. Ettől függetlenül a várható tulajdonságok jó közelítéssel becsülhetők pusztán a V_m ismeretében. A [27] irodalom eredményei alapján, a 15%-nál kevesebb martenzitet tartalmazó acél képlékenységét elsősorban a ferrit-mátrix, és az abban lévő mikroüregek befolyásolják (csökkentik). Ha a V_m nagyobb, mint 15%, akkor a ferrit tulajdonságainak és a mikroüregeknek a hatása kevésbé domináns a martenzit-ferrit inhomogenitás által okozott hatások mellett. Kivételt képeznek a kis alakváltozások esetei. Ha az alakváltozás <30%, akkor ugyanis a martenzit, még ha nagy mennyiségben is van jelen, akkor sem kezd el deformálódni (5. ábra baloldal).



5. ábra: Szakadási nyúlás a V_m függvényében, különböző mértékű alakváltozások mellett (FE modell) [27], és a keverékszabályt betartó szilárdság növekedést mutató kísérlet [25]

A martenzit szénttartalmának hatása a szilárdságra jól ismert. A martenzit széntartalma a keverékszabály alapján számítható:

$$C_0 = C_f \cdot V_f + C_m \cdot V_m \quad (8)$$

ahol C_0 az acél átlagos C tartalma, C_f a ferrit C tartalma, C_m a martenzit C tartalma, V_f és V_m a ferrit és a martenzit térfogathányada [5,26].

A 6. ábra a keménység és a szénttartalom változását (balról), illetve a folyáshatárt és törési szilárdságot (jobbról) mutatja a martenzit mennyiségének függvényében. A folyáshatár a V_m növelésével lineárisan nő, a törési szilárdság viszont közelítéssel is csak $V_m=50\%$ -ig követi a keverékszabályt („law of mixture”) ami a szilárdság és a V_m között végig lineáris összefüggést feltételez (9) (5. ábra jobb oldal) [5]:

$$\sigma = A + BV_m \quad (9)$$

ahol A és B konstansok. A keverékszabályt továbbgondolva jutott a [28] irodalom az alábbi, alaposabb következtetéshez:

$$\sigma = R \cdot \sum H_i \cdot b_i \cdot f_i \cdot \sigma_i \quad (10)$$

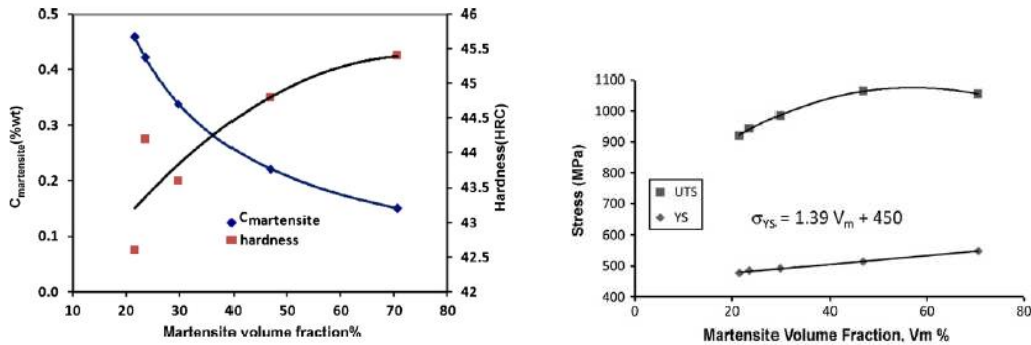
ahol R a szemcsehatárok szilárdság növelő hatását veszi figyelembe ($R=1-1,5$), H_i az elcsúszási együttható, ami az alakváltozás során az elcsúszó kristályok deformáció növekményeit tartalmazza. (A lágyabb fázis nagyobb csúszási aktivitással rendelkezik a deformáció kezdetén, és érdekes megjegyezni, hogy a később definiálásra kerülő *TRIP* acélok maradó auszteniájában ez nulla, a *TRIP* hatás miatt.) Az egyes fázisok térfogataránya f_i , míg b_i a fázisok alakváltozási együtthatói ($b_i = \exp(p_{i1} + p_{i2}\epsilon)$ – ahol p_1 és p_2 anyagi paraméterek).

A [26] irodalom szerint, ahhoz, hogy pontos eredményt kapjunk, a V_m -en kívül a ferritben lévő diszlokációs szabad úthosszt is figyelembe kell vennünk: ((11) egyenlet)

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \lambda_f^{-0,5} \quad (11)$$

ahol λ_f a ferritben a diszlokációs szabad úthosszt figyelembe vevő állandó, K a diszlokáció-rögzítési állandó.

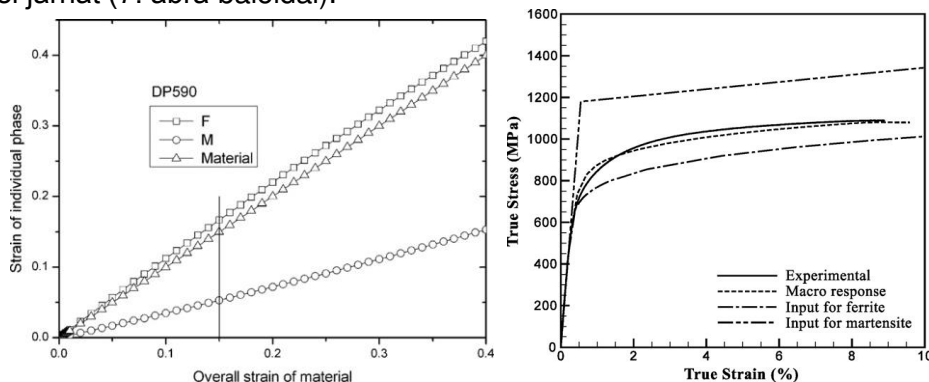
Több szerző [5,26] igaznak tartja a fenti megállapítást, miszerint a törési szilárdság csak 50% V_m -ig nő (6. ábra jobb oldal), míg több másik szerző szerint [25,27,28] a szilárdság növekmény engedelmeskedik a keverék szabálynak. A különböző eredmények oka, hogy a V_m növekedése két, egymásnak ellentmondó jelenséget okoz: Egy részről a szilárdság nő a V_m növekedésével, mert nő a nagyobb szilárdságú fázis mennyisége. Másrészről viszont a V_m növekedésével csökken a martenzit széntartalma, ami nagyban meghatározza a martenzit keménységét, és ide kapcsolható a fázishatárokon lévő mozgásképes diszlokációk számának a növekedése is, amit szintén V_m növekedése indukál [5].



6. ábra: A keménység és a szénttartalom változása, illetve a folyáshatár és a törési szilárdság változása a martenzit mennyiségének függvényében [5]

Mivel a V_m növekedésével a DP acél egyre ridegebbé válik, a törés hamarabb bekövetkezése miatt a nyúlások 50% V_m felett csökkennek, így csökken a törési munka is, ami a járműiparban az energia elnyelő képesség miatt rendkívül fontos. A csökkenés másik oka az lehet, hogy $V_m > 50\%$ esetén, mint ahogyan azt fentebb is említettük, a nagy mennyiségű martenzit miatt a ferrit-martenzit koherencia a fázishatáron egyre nagyobb mértékben sérül, ami a DP-s acél törési munkáját rontja [5]. A koherencia alakfüggésére a [22] irodalom mutatott rá, miszerint a tús (lemezes) szerkezetű martenzit segíti a mikro-repedések terjedését a hosszú, folytonos fázishatárokon, így kedvez a mikro-üregek összeérésének. A mikro-repedések (amik a húzó jellegű igénybevétel hatására az anyag belseje felé kezdenek terjedni) a munkadarabok szélein jelentős mennyiségben alakulhatnak ki a megmunkálási eljárástól függően. A repedésterjedés jelenségén kívül a szélek alakíthatóságát csökkenti, hogy a vágás hatására, a vágott felülettől mért másfélszeres lemezvastagságnyi szélességben a lemez felkeményedik [1].

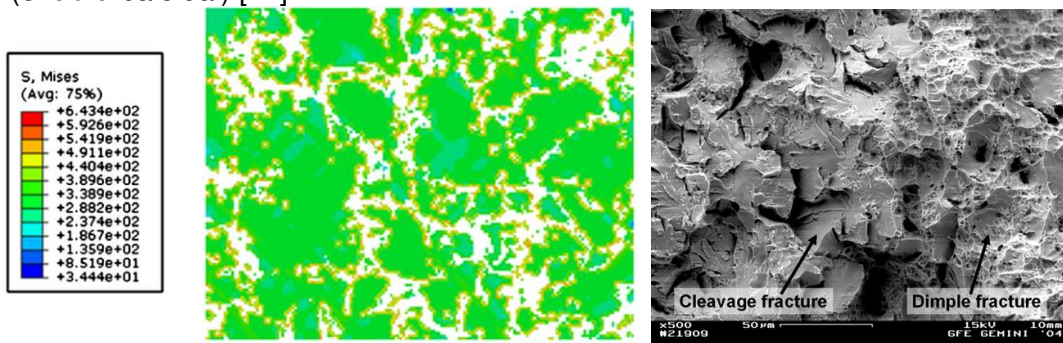
Ezen kívül a nagyobb V_m alakváltozást csökkentő hatása a fázisok tulajdonságainak ismeretében egyértelmű. A [28] kutatás be is bizonyítja, hogy az összalakváltozáznál nagyobb alakváltozáson megy át ferrit és kisebbben a martenzit, tehát nagyobb V_m csakis a nyúlás csökkenésével járhat (7. ábra baloldal).



7. ábra: Az egyes fázisok alakváltozása és az összalakváltozás közötti kapcsolat [28], és egytengelyű szakítással meghatározott illetve FE modellel készült folyásgörbék [27]

Megjegyzendő, hogy a törési mechanizmus mikroüregek képződésével, növekedésével és összeérésével megy végbe. Több kutató is foglalkozott eme jelenség kutatásával, modellezésével, a legismertebb a Gurson modell. A DP acélokban, mikromechnikai értelemben a deformáció inhomogén, a deformáció kezdetén csak a ferrit alakváltozik, azaz kis alakváltozási tartományokban a DP acél feszültség-alakváltozás görbéjét a ferrit tulajdonságai (szemcseméret, szemcsealak, mikroüregek, stb.) határozza meg. A ferrit keményedési kitevője nagyobb, mint a később alakváltozni kezdő martenzité (7. ábra jobb oldal), a [1] irodalom ezért tulajdonítja a DP acél nagy n értékét a ferrit alakváltozásának. Kis V_m esetén csak a ferrit alakváltozik, nagy V_m esetén a ferrit-martenzit határokon kialakuló „nyírási szalagok” megjelenését követően – ahogy némelyik mikrorepedés átmetsz a martenzit szemcséken – deformálódik (törik) a martenzit. Újabb kutatások szerint a képlékenység szempontjából kulcsfontosságú, legheterogénebb zónáknak nem

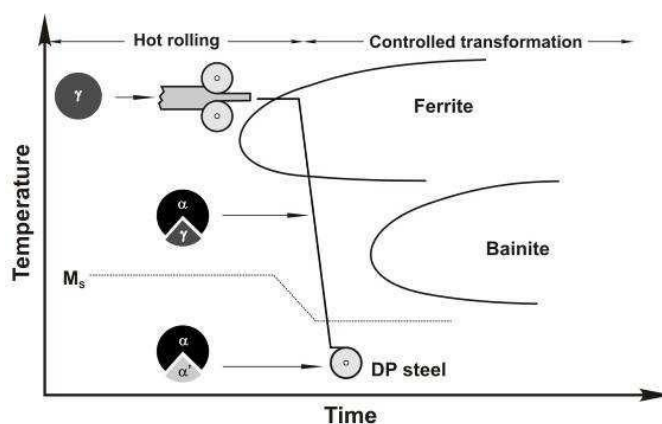
csak a fázishatárok számítanak, hanem a martenzit által deformációra kényszerített ferrites régiók is (8. ábra baloldal) [27].



8. ábra Lokális feszültség eloszlás a DP acélban (FE modell) [25], és szakadási felület SEM felvétele (képlékenyen szakadt rész: gödröcskék, ridegen tört: lapos részek) [7]

A DP acélok tekintetében érdekesség, hogy létezik még egy kettősség, mely a feszültség-alakváltozás görbe kezdeti szakaszát befolyásolja. Ún. geometriailag törvényszerűen képződő diszlokációk (GND-k) keletkeznek az edzés során – a kb. 3%-os térfogat növekedésnek köszönhetően - melyek helyi keményedést okoznak a ferrit-martenzit szemcsehatárokon, és az azokhoz közeli ferrites régiókban. Ezeknél, a szemcsehatár környéki régióknál a feszültség-alakváltozás diagram kezdeti szakaszát az alakváltozás hatására bekövetkező diszlokáció sűrűség növekedés okozta keményedés, és a bennragadt feszültségek leépüléséből származó lágyulás együttesen határozza meg [25].

A karbon mellett egy elemet tartalmaznak még a DP acélok figyelemre méltó mennyiségben, és ez a *Mn*, mennyisége általában 1,4-1,6 tömegszázalék. A *Mn* szerepe a gyártási folyamat közben tarthatósága szempontjából fontos. Ezen acélok esetében a gyártás alatt az interkritikus hőmérsékleten történő hőntartást, majd az azt követő gyors hűtést értjük. Az interkritikus hőmérséklet a vas-karbon egyensúlyi fázisdiagram $\alpha+\gamma$ kétfázisú tartományát jelöli. Ebben a tartományban a széntartalomhoz igazodóan beállított hőmérsékleten történik meg a lemez bizonyos térfogatának ausztenitesedése, amely a gyors hűtésnek köszönhetően martenzitté alakul (9. ábra). Célszerű a meleghengerlés utolsó szakaszát az interkritikus hőközben végezni, és kerülendő a szobahőmérsékletű termékből kiinduló hevítés és hőntartás, mert utóbbi esetben a megfelelő $\alpha+\gamma$ fázisarány kialakulásának időszükséglete miatt a szemcse szerkezet eldurvul. A végtermék szilárdságát a HSLA acéloknál már említett mikroötözők tovább növelik [3,26].



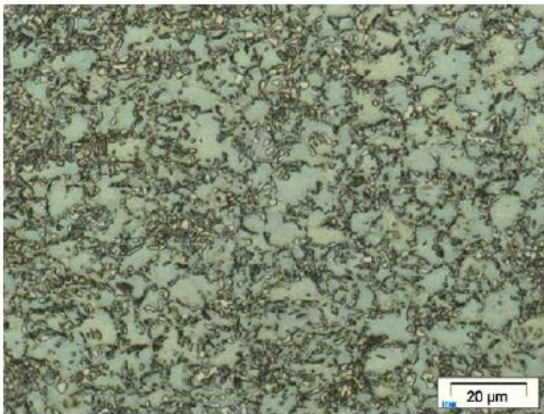
9. ábra: A DP-acélok gyártástechnológiája [26]

A második generációs nagyszilárdságú acélok családjában említésre méltó fejlesztések eredménye a **CP** (Complex Phase), avagy magyarul a komplex fázisú acélok. Ezen anyagok ferrit mátrixban tartalmaznak viszonylag nagy mennyiségű bainitet, illetve kis mennyiségű martenzitet, perlitet és maradó ausztenitet. Nagy szilárdságuk mellett a jó alakíthatóságot (bár a

CP acélok szakadási nyúlása elmarad a *DP* és *TRIP* acélokétól) számos kísérlet bizonyítja, pl.: alakítási határgörbék, három pontos hajlítással, vagy lyuktágítással felvett eredmények [3,19].

A ***TRIP*** (*Transformation Induced Plasticity*) acélok a *CP* acélok továbbfejlődéséből bontakoztak ki. A *TRIP* acélokat először Zacky *et al.* publikálta, mint magasan ötvözött acélokat. Az alacsonyán ötvözött *TRIP* acélokban viszont az ausztenit, az olcsó karbonnal van stabilizálva. A nemzetközi szakirodalomban *TRIP* acéloknak azokat nevezik, amelyek szövete három fázisból áll: ferritből, bénitből és min. 5% maradék ausztenitből [1]. Ennél az acélnál a jó alakíthatóságot a ferrit és részben a karbid precipitációja miatt nagyobb szilárdságú bainit biztosítja. Az acél alakítása során, mechanikus kényszer hatására a kb 20%-nyi maradé meta-stabil, lapon középpontos köbös (*FCC*) rácsszerkezetű ausztenit átalakul térben középpontos (*BCC*) szerkezetű, nagy szilárdságú martenzitté, lokális deformációt okozva a mátrixban, ami a nagy alakváltozások esetén extrém nagy keményedő képességet hoz létre. Ezt nevezik alakítás indukálta keményedésnek, más néven *TRIP-hatásnak*. Ezáltal az anyag, a martenzites átalakulást követően nagy szilárdság és nagy teherhordó képesség, illetve a jelentős nyújthatóság kitűnő kombinációjával fog rendelkezni [1,3,4,7,12,18,19,29,30,].

A *TRIP* acélok szövetszerkezetét (10. ábra), célszerűen megválasztott interkritikus hőmérsékleten végzett hőntartással érhetjük el. Ezt követően olyan hűtési sebességgel kell a bainites mező tartományát (350-500°C) elérni, hogy a perlités átalakulás tartományát a hűlésgörbe ne metsze. Az interkritikus hőkezeléskor keletkező szövet két fázisának aránya részben a hőmérséklettől, részben az azt megelőző szövetszerkezettől, továbbá a hőkezelés idejétől függ. A bainites izzításkor az ausztenit egy kisebb hányada nem alakul át bainitté, hanem az eredeti állapotában marad, úgynevezett maradék ausztenitként [4,29].



10. ábra: A *TRIP* 600 acél mikroszerkezete [7]: 5%-os nitalban, majd vízöblítés után 10%-os nátrium-metabiszulfid oldatban maratva az ausztenit fehérre, a ferrit szürkére, a bainit és a martenzit feketére maradik [18]

A *TRIP* acélok legfontosabb ötvözőeleme a szilícium és az alumínium, amely a bainites tartományban a karbid képződését jelentős mértékben fékezi, így a ferritet stabilizálja és gondoskodik az ausztenit stabilizálásához szükséges, annak megfelelő *C* tartalmáról is [1,3,26,29]. A [10] irodalom az ausztenit stabilizálására a *Nb* ötvözést említi. Másik fontos ötvözőelem a mangán, amely a vassal szilárd oldatot képezve növeli annak szilárdságát a nyúlás csökkenése nélkül [9]. Mindezek mellett az összes ötvöző tartalom nem haladja meg a 3,5 wt%-ot [26]. A *TRIP* acélok a *DP*-s acélokhoz képest jellemzően nagyobb karbon tartalommal rendelkeznek [3,7,18,26]. Ennek célja, hogy a maradék ausztenit a környezeti hőmérsékleten is megmaradjon. A karbon tartalom szabályozza azt az alakítási mértéket, amelynél az ausztenit martenzitté alakulása megindul. Alacsonyabb széntartalom esetén a maradék ausztenit átalakulása gyakorlatilag az alakváltozás kezdetekor megindul, míg nagyobb széntartalom esetén az ausztenit stabilabb, az átalakulás csak nagyobb alakváltozás hatására kezdődik meg. Ez lehetővé teszi, hogy a kész járműkarosszéria alkatrész még tartalmazzon maradék ausztenitet, ami egy későbbi deformáció, például ütközés során alakul át martenzitté [1,3].

A *TRIP*-hatás alapján kijelenthető, hogy a *TRIP* acélok keményedési képessége a nyúlás növekedésével változik - akárcsak a *DP* acéloké, nagyjából $V_m > 50\%$ felett, a ferrit és martenzit

különböző keményedési képessége miatt - [5]. Ezt a tényt [1,31] publikációk is alátámasztják a V_m -től függetlenül. Lényeges viszont, hogy míg a [1,5,28,31] irodalmak mérési eredményei alapján a DP -s acélok keményedési kitevő értéke az alakváltozás hatására közel állandó, vagy csökken, addig a $TRIP$ acéloké növekszik.

Ide, a multi-fázisú anyagok közé sorolhatók a martenzites **MS acélok** is. Ez a típus túlnyomó részt martenzites szövetszerkezettel rendelkezik, amelyben, kis mennyiségű ferrit és bainit is megtalálható. Ezeknek az acéloknak a legnagyobb a szakító szilárdsága, de jellemzően a szakadási nyúlásuk rendkívül kicsi [3].

A 2. ábra a második generációs acélok közé sorolja, de mindenképpen kakukktojás a **melegalakításra kifejlesztett, bór-tartalmú acélok** csoportja. Ezeket az acélokat az ausztenites mezőben alakítják majd a karosszéria alkatrész alakjának megfelelő prészszerzámban gyorsan hűtik [3]. A magas hőmérsékleten végzett alakításkor a felületi oxidáció és dekarbonizáció elkerülése érdekében, a felfűtés szakaszban a lemezeket $Al-Si$ réteggel védik, ami ráadásul hozzájárul a súrlódás csökkentéséhez, és a szerszám élettartamának növekedéséhez. Az emelt hőmérsékleten a diffúzió aktivitásának köszönhetően a lemez és a bevonat határretegénél kialakul az $Al-Fe-Si$ háromalkotós ötvözet rendszer, aminek az olvadáspontja magasabb, mint a kiinduló $Al-Si$ ötvözeté (kb. $600^\circ C$). Ahogy a diffúziós mechanizmus a vasban és az alumíniumban, azaz a bevonatban ismert, a termikus folyamatok paramétereinek hatása a bevontra, és következésképpen a szerszám és a lemez közötti tribológiai viselkedésre, korlátozott. Azt, hogy a hűtési sebességnek nincs hatása a felületi karakterisztikára, *pásztázó elektronmikroszkópos* (eredeti nevén *Scanning Electron Microscope: SEM*) vizsgálatokkal mutatták ki. A magas hőmérsékletű *pin-on-disk* vizsgálatok pedig azt bizonyították, hogy a súrlódási tényező nem függ a csúszási sebességtől, és a tú felületi minőségétől, így a gyártástechnológiában fontos szerep a felületi nyomásnak és a hőmérsékletnek jut [17].

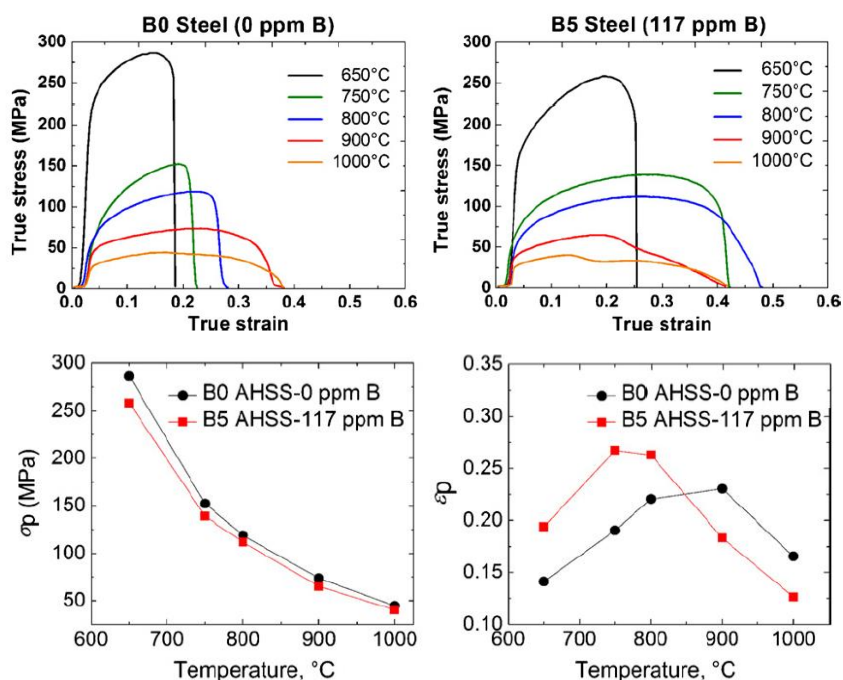
Már régóta foglalkoznak a tudósok a B ötvözés szilárdság növelő hatásával. Manapság az acélgyártó technológiák fejlődésének köszönhetően egyre könnyebb a B ötvözést kézben tartani, így egyre elterjedtebb az igénybevett mechanikai és építészeti elemek, bór-tartalmú acélból történő gyártása. Kimutatták, hogy a bóron kívül a Ti , Ca , Zr és a Y mikro ötvözők is javítják a melegalakíthatóságot. A B ötvözés hatásra kialakuló $Fe_{23}(B,C)_6$ kiválás, relatív alacsony hőmérsékleten történő megjelenésének köszönhetően a szemcsén belüli ferritképződés segít az ausztenit rácsban. Azaz alakításkor kevesebb ferrit van a szemcsehatárokon, ami nem csak az üregek számát csökkenti ott, hanem a puha fázis miatt az ausztenit szemcse közepét kélplekenyebbé teszi, végső eredményként javítja a melegalakíthatóságot [15].

A másik oldalon viszont a B hatása az alakíthatóságra az interkritikus hőmérséklet felett, tiszta ausztenites állapotban még nem nagyon ismert. Azok a kutatások, amik kimutatták a B alakíthatóságra gyakorolt jótékony hatását ezen a hőmérsékleten, egyrészt a bór-nitrid (BN) kiválások eredményének tartják azt, másrészt pedig az ausztenit-ferrit átalakulás késleltetésének hatásaként. Ez úgy értendő, hogy a szemcsehatárok elcsúszás elleni ellenállását növelő ferrit film réteg később alakul ki az ausztenit szemcsehatárokon [15].

He et al. kimutatta, hogy $HSLA$ acélban az új szemcsehatárok környezetében lévő abnormális B szegregáció, és következésképpen az új csírák képződésének és növekedésének késleltetése a melegalakíthatóság romlását eredményezi. Ez a fajta szegregáció az újonnan képződő (újrakristályosodó) szemcsék határain figyelhető meg. Másrészt viszont, a B szegregációja megváltoztatja a termodinamikai karakterisztikáját ezeknek a szemcsehatároknak, ami az ausztenit, alakítás során történő lágyulását eredményezi, így van előnyös hatása az alakíthatóságra. Más szerzők is megállapították, hogy a B a szemcsehatárokon koncentrálódik, és megváltoztatja a szemcsehatár/kiválás és a mátrix/kiválás határfelület karakterisztikát, amely hatására a mikro üregek kialakulása erőteljesebben akadályozott. Azt figyelték meg, hogy a B ötvözés majdnem egy nagyságrenddel csökkentette az üregek növekedésének sebességét. A zárványok szegregációja a szemcsehatárokon, illetve a vékony ferrit filmréteg kialakulása, és a karbidok illetve nitridek kiválásai (V , Ti , Nb , Al , B) az ausztenit szemcsehatárain fontos szerepet játszanak az alakíthatóság tekintetében. A deformáció során a repedés terjedés tekintetében főleg a MnS , CuS , $V(C,N)$ zárványok és kiválások játszanak fontos szerepet. Cu tartalmú acélokban a melegtörékenységet, az ausztenit szemcsehatárokon, oxidációs feltételek között megjelenő,

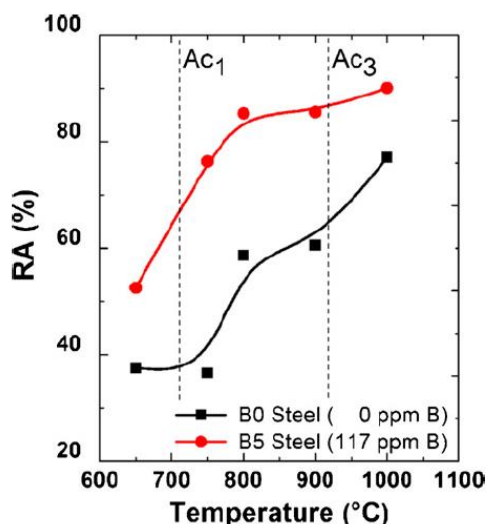
folyékony *Cu* filmréteg okozza, amit a *CuS* kiválás is segít. A *Ni* ötvözés növeli a *Cu* oldhatóságát, így csökkenti a kiválások mennyiségét [15].

A 11. ábra *B* tartalom nélküli (*B0*) és *B*-ral mikroötvözött (*B5*) acélok szilárdsági tulajdonságainak hőmérséklet függését mutatja. Ahogy vártuk, a hőmérséklet növekedésével, a szilárdság csökken. Érdekes megemlíteni, a 900 és 1000 °C-on szakított próbatestek görbéjének ingadozását - főleg a *B*-ral mikroötvözött acélnál - ami az ún. *DRX* - dinamikus rekristallizáció - jelenlétét bizonyítja. A többi alacsonyabb hőmérsékleten végzett vizsgálat esetében nincs hasonló ingadozás. Ahogy az látható, a *B5* minden hőmérsékleten kisebb szilárdságú, mint a *B0*, és az is látható, hogy a *B* ötvözésű acélban a maximális feszültséghez tartozó nyúlás jelentősen csökken 900 és 1000 °C-on, de lényegesen nagyobb 750-800°C-on, mint a *B*-t nem tartalmazó acél esetében. Ez a *DRX* kezdőpontjának előresietésének köszönhető, melynek megjelenése, nagyban hozzájárul a jó alakíthatósághoz. A *DRX* kezdeti pontjának előre sietése az ötvözőelemekhez kapcsolható. Interstíciósan oldott atomok, mint a *C* és *B* hozzájárulnak az újrakristályosodás kisebb aktiválási energia szükségletéhez, így hozzák előbbre a *DRX* kezdeti pontját [15].



11. ábra: A bört nem tartalmazó (*B0*) és bórral mikroötvözött acél (*B5*) valódi feszültség - valódi alakváltozás diagramjai, valamint a max. feszültség, és az azokhoz tartozó nyúlás értékek változása a hőmérséklet függvényében [15]

Az alakíthatóság megállapítására, a nyúlásnál valamivel alkalmasabb mérőszámot ad a kontrakció: 12. ábra. Az alakíthatóság megújulása 650 és 750 °C-oknál az ausztenit-ferrit-es szerkezetben nem következik be, a masszív ferrit átalakulás, és a *DRX* hiánya miatt. Itt a kontrakció csökken a hőmérséklet emelkedésével. Egyébként a *B5* minden tartományban nagyobb kontrakcióval rendelkezik, 750 °C-on több mint 100 %-os a növekedés a *B0* kontrakciójához viszonyítva. Mitz et al. szerint az a tartomány, ahol a kontrakció kisebb vagy egyenlő, mint 40%, repedés érzékeny tartomány, és ezt meleg-törékeny zónának nevezik. Ez a zóna, ahogy az ábrán látható, a *B* ötvözéssel elkerülhető [15].



12. ábra: A meleg-képlékenységet szemléltető kontrakció görbék, bórral mikroötvözött (B5), és bórtartalom nélküli (B0) AHSS-ek esetén [15]

3.3. Harmadik generációs nagyszilárdságú acélok

Az *X-AHSS* (*Extra-Advanced High Strength Steels*) az extra korszerű nagyszilárdságú acélok és az *U-AHSS* (*Ultra-Advanced High Strength Steels*) az ultra korszerű nagyszilárdságú acélok „nagyságrendileg nagyobb előrelépést jelentenek” a hagyományos és korszerű nagyszilárdságú acélokhoz képest is [3]. A feszültség-nyúlás szorzótényezőjük, a 40000-es és a ma még kissé utópisztikus 60000-es hiperbolán fekszik. Ez nem a csak a megmunkálás szempontjából, hanem a járműiparban kiemelten kezelt, a törési munkából eredeztethető energiaelnyelő képesség miatt is (ütközéskor) rendkívül fontos [3,24].

Az *X-AHSS* három fő típusa ismert: az *FB-TRIP*, az *SB-TRIP* és *M-TRIP* acélok. Az ***FB-TRIP*** acélokat olyan autóiipari lemezekhez alkalmazzák, ahol a nagy szilárdság mellett, jelentős peremnyújtási, vagy lyuktágítási képességgel is kell az alapanyagának rendelkeznie. Mikroszerkezetük ferrit és bainit szövetelemeket tartalmaz. A ferrit biztosítja a nagy nyújthatóságot, míg a bainitnek szilárdságnövelő hatása van. Az ***SB-TRIP*** (*Super-Bainit*) szövetszerkezete: „nano méretű lemezes típusú karbidmentes bainit mátrixban, kis mennyiségű maradék ausztenit”. A nagy folyáshatár és szakítószilárdság mellett jelentős nyúlással jellemzi. Az ***M-TRIP*** (*Martenzites-TRIP*) acél szövetszerkezete: martenzit mátrixban, nano méretű lemezek közötti maradék ausztenit [3].

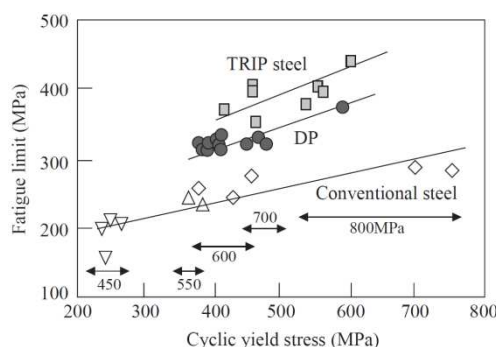
Az ultra-nagy szilárdságú anyagokkal kapcsolatban *Quanshun Luo* [32], a *WorldAutoSteel.org*-nak adott interjújában azt nyilatkozta, hogy a karbon eloszlást kézben tartani képes hőkezelési technológiákkal, a szilárdság 2000 MPa fölé növelhető úgy, hogy az eredeti képlékenységi és szívóssági tulajdonságait az anyag megtartja. Ez akképp lehetséges, hogy ma már a modern technikák által adott lehetőségeknek köszönhetően (*TEM*, *SEM*, *XRD*), nem csupán azt tudjuk, hogy az edzést követően, a szobahőmérsékletűre hűlt darabban nem azonos a maradék ausztenitnek és a martenzitnek a karbon tartalma, de a tisztán martenzites szerkezeten belül is, a különböző morfológiával (tűs, vagy lemezes) rendelkező kristályokban a karbon eloszlás eltérő.

Az *U-AHSS* acélok kategóriájában a ***TWIP*** (*Twinning Induced Plasticity*) acélok szerepelnek. Ezek az acélok nagy *Mn* tartalommal rendelkeznek (17-24%), mely a tisztán ausztenites állapotot szobahőmérsékleten is biztosítja. Elnevezését a „nagyszámú alakítási ikerképződésről” kapta. E folyamat az ikerhatároknak, a képlékenyalakítás miatti elcsúszásával realizálódik, mely során egyre finomabb mikroszerkezet jön létre. „A keletkező ikerhatárok, mint szemcsehatárok viselkednek, és jelentős szilárdságnövekedést eredményeznek”. Ezeket az acélokat kimagaslóan jó szilárdság és egyenletes nyúlás jellemzi. $R_m=1000$ MPa szakítószilárdság esetén akár $A_{50}=65\%$ nyúlásra is képesek [3].

3.4. Egyéb járműipari acélfejlesztések

A fent említett általános érvényű mechanikai tulajdonságokon kívül egyéb jellemzők szem előtt tartása is kulcskérdés lehet. Az egyik ilyen terület a hegeszthetőség, ugyanis a hegesztés során a hőhatás övezetben a szilárdsági tulajdonságok megváltoznak. A hőhatás övezetben nem lágyuló acélok fejlesztése *Mo* és *Nb* ötvözéssel történik, amely ötvöző anyagok a diszlokációkkal kölcsönhatásba kerülve megakadályozzák azok megsemmisülését, gyorsítják a szén komplex fázisainak kiválását [12].

Egy másik érdekesség a növelt kifáradási határral rendelkező acélok fejlesztése, ami főleg a kifáradásnak kitett alkatrészeknél (pl. keréktárcsa) és a hegesztési varratoknál fontos. Számos kutatás [7,22,25,27,28] foglalkozik a törések/repedések kialakulásával és terjedésével. Leginkább a *Si*-al ötvözött, szilárd oldattal keményített *DP* acélok kifáradási tulajdonságai jók. A *TRIP* acélok kifáradási határa még nagyobb, nem csak a *Si* ötvözéssel létrejött ferrites szilárd oldatnak köszönhetően, hanem a *TRIP* hatás következtében is. A martenzites átalakulás által okozott szövetszerkezeten belüli nyomófeszültség a ferritben, tovább növeli a kifáradási határt: 13. ábra [12].



13. ábra: *TRIP*, *DP*, és hagyományos acélok ciklikus terhelhetősége a kifáradási határ függvényében [12]

4. Összefoglalás

A mai modern járműépítésben továbbra is meghatározó szerepet játszanak az acélok. A kis sűrűségű anyagok (pl.: *Al*, *Mg*) alkalmazása is indokolt, de azok magas ára, és egyéb, korábban ismertetett gyártástechnológiai korlátaik miatt, azok terjedése főként a luxus- és a versenyautók kategóriájában jellemző. A hétköznapi, tömegigényű járműépítésben meg kell találni azokat az anyagokat és technológiákat, melyekkel a mindennapi kereslet, a környezeti normák betartása mellett is kielégíthető. Ebben a tekintetben, a folyamatosan fejlődő acélipar, vitathatatlanul kulcsszerepet vállal.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 projekt részeként, Az Új Széchenyi Terv keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap, és a Nemzeti Tehetség Program, NTP-EFÖ-P-15 pályázat társfinanszírozásával valósult meg.

A publikáció elkészítését a TÁMOP 4.2.1C-14/1/Konv számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] WorldAutoSteel: Advanced High-Strength Steels, Application Guidelines V5.0 (2014)
- [2] Xintao Cui, Hongwei Zhang, Shuxin Wang, Lianhong Zhang, Jeonghan Ko: Design of lightweight multi-material automotive bodies using new material performance indices of thin-walled beams for the material selection with crashworthiness consideration, *Materials and Design* 32 (2011) 815–821
- [3] Tisza M.: Járműipari acélfejlesztések, *GÉP*, LXIII. (2012) 3-10
- [4] Bitay Enikő: Járműipari acélok szilárdságnövelési lehetőségei, *Fiatalkor Műszaki Tudományos Ülésszaka XX. Műszaki Tudományos Közlemények* 3. 91-94 oldal, 2015.

- [5] P. Movahed, S. Kolahgar, S.P.H. Marashi, M. Pouranvari, N. Parvin: The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite–martensite dual phase steel sheets, *Materials Science and Engineering A* 518, 2009.
- [6] Dr. Prohászka János: Bevezetés az anyagtudományba I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988. 161-179 old
- [7] V. Uthaisangskuk, U. Prael, W. Bleck: Modelling of damage and failure in multiphase high strength DP and TRIP steels, *Engineering Fracture Mechanics* 78 (2011) 469–486
- [8] Prohászka J.: Anyagtudomány és technológia, GÉP XLI. évf. (1989) 10. sz. 383-389
- [9] Gajendra Jha, Sourav Das, Subhasis Sinha, Arijit Lodh, Arunansu Haldar: Design and development of precipitate strengthened advanced high strength steel for automotive application, *Materials Science & Engineering A* (2013) 394-402
- [10] Zorkóczy Béla: Metallográfia és anyagvizsgálat, Tankönyvkiadó, Budapest (1975)
- [11] Dr. Kardos Károly, Dr. Danyi József: Szerelés és karosszériagyártás, elektronikus tankönyv, Széchenyi István Egyetem, 2011.
- [12] Manabu Takahashi: Development of High Strength Steels for Automobiles, Nippon Steel Technical Report no. 88 July 2003.
- [13] Yuxuan Li, Zhongqin Lin, Aiqin Jiang, Guanlong Chen: Use of high strength steel sheet for lightweight and crashworthy car body, *Materials and Design* 24 (2003) 177–182
- [14] P. Groche, M. Christiany: Evaluation of the potential of tool materials for the cold forming of advanced high strength steels, *WEAR* 302 (2013) 1279–1285, *International Journal on the Science and Technology of Friction Lubrication and Wear*
- [15] I. Mejía, A. Bedolla-Jacuinde, C. Maldonado, J.M. Cabrera: Hot ductility behavior of a low carbon advanced high strength steel (AHSS) microalloyed with boron, *Materials Science and Engineering A* 528 (2011) 4468–4474
- [16] Kovács-Coskun Tünde, Pinke Péter: Hőkezelt 22MnB5 acél kopásállóságának vizsgálata, *Fiatál Műszakiak Tudományos Ülésszaka XX. Műszaki Tudományos Közlemények* 3. 187-190 oldal, 2015.
- [17] A. Ghiottia, S. Bruschi, F. Borsetto: Tribological characteristics of high strength steel sheets under hot stamping conditions, *Journal of Materials Processing Technology* 211 (2011) 1694– 1700
- [18] F Ozturk, A Polat, S Toros, R C Picur: Strain Hardening and Strain Rate Sensitivity Behaviors of Advanced High Strength Steels, *Journal of Iron and Steel Research, International*. 2013, 20(6): 68-74
- [19] Automotive Worldwide: Extract from the product catalogue, ©ArcelorMittal, 2013. 1-90 oldal
- [20] Bitay Enikő, Popa-Müller Izolda: Mechanikai tulajdonságok és a hőkezelési hőmérséklet kapcsolata duál fázisú acélnál, *Fiatál Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX. Erdélyi Múzeum-Egyesület Kiadványa, Kolozsvár* 2014, 81.-84. oldal
- [21] Golovanenko Sz. A., Fonstein N. M.: Dvuhfáznie ferritno-martensitnue sztalni, *Metallovedenie i termiceszskaja obrabotka metallov* (1984) 11. 25-28 (GTT 1986/3 XXVI 33-42 old.)
- [22] Z.K. Teng, X.M.Chen: Edge cracking mechanism in two dual-phase advanced high strength steels, *Materials Science&Engineering A* 618 (2014) 645–653
- [23] Tisza M.: Az anyagkutatás néhány új eredménye a képlékeny hidegalakításban, *GÉP XXXV* (1983) 9. sz. 325-330
- [24] Balogh András, Gáspár Marcell, Prém László: A hegesztett szerkezetek konvencionális és korszerű nagyszilárdságú acéljainak rendszerezése és hegesztési nehézségei, *GÉP LXIV* (2013) 7-13
- [25] Sawitree Sodjit, Vitoon Uthaisangskuk: Microstructure based prediction of strain hardening behavior of dual phase steels, *Materials and Design* 41 (2012) 370–379
- [26] R. Kuziak, R. Kawalla, S. Waengler: Advanced high strength steels for automotive industry, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. VIII 2008 No. 2
- [27] X. Sun, K.S. Choi, A. Soulami, W.N. Liu, M.A. Khaleel: On key factors influencing ductile fractures of dual phase (DP) steels, *Materials Science and Engineering A* 526 (2009) 140–149
- [28] W.J. Dan, Z.Q. Lin, S.H. Li, W.G. Zhang: Study on the mixture strain hardening of multi-phase steels, *Materials Science and Engineering A* 552 (2012) 1– 8
- [29] Gulyás J., Baross B.: Trip acélok tulajdonságainak vizsgálata, *Miskolci Egyetemi Közlemények* 37-38. oldal, 2005.
- [30] Kozma Bálint, Dobránszky János: TRIP700 acél ellenállás-ponthegeztése, *Fiatál Műszakiak Tudományos Ülésszaka XX. Műszaki Tudományos Közlemények* 3. 191-194 oldal, 2015.
- [31] Szalai Sz.: Nagy szilárdságú karosszérialemezek alakíthatósági vizsgálatai, *Bányászati és kohászati lapok*, 147.évf. (2014) 34-38.
- [32] Quanshun Luo: Creating Ultra-High Strength Steels for Large Vehicles – an interview with worldautosteel.org: http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=10772&utm_source=WorldAutoSteel+Initial+Opt-In+List&utm_campaign=ac49195d20-Best_of_the_month_June7_21_2015&utm_medium=email&utm_term=0_605efaaf10-ac49195d20-427913277#utm_sguid=149451,4fbfc266-81c4-8fb3-d49d-70fe3ba20ab2