

# Akusztikus metaanyag kutatás a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán

## Experimental system of Acoustic Metamaterials in the University of Szeged, Faculty of Engineering

Szuchy, Péter

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Szeged, Magyarország

szpeter@mk.u-szeged.hu

**Összefoglalás** — A veszélyes és ártalmas vibrációk elleni védekezés egyre égetőbb probléma világszerte. Emiatt jelentős erőfeszítések történnek az akusztikus metaanyagok kutatása és fejlesztése terén. Ezen anyagok egyik típusának működési elve a tömeg-a-tömegben alrendszer, ami a dinamikus rezgés csillapítás továbbgondolt változata. Ennek a cikknek az elsődleges célja, hogy bemutassa a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán folyó metaanyag kutatások első lépéseit, rövid összefoglalót adva az elméletről, bemutatóva a nemrég vásárolt eszközparkot és a tervezett kísérleti összeállítást. Feltárja a különbséget az elmélet és a gyakorlati eredmények között és leírja a kutatás jelenlegi problémáit, fókuszálva a gyakorlati részre. Röviden kitér a szimulációs szoftverre, ami a kísérletek számának csökkentése szempontjából fontos. A cikk másik célja az, hogy felvázolja a szerző tavaly megkezdett PhD munkájának jelenlegi állását és a tervezett lépéseket.

**Kulcsszavak:** akusztikus metaanyagok, vibráció csökkentés, töme-a-tömegben, PHOTON+

**Abstract** — Protection against the dangerous and harmful vibration is an urgent problem all around the world. There are significant efforts for researching and developing acoustic metamaterials. One of this materials' working principle is the mass-in-mass subsystem that is an improved version of the 2-Degree-of Freedom system of the dynamic vibration reduction. The main goal of this paper is to introduce the research work's first steps on this field of the University of Szeged, Faculty of Engineering, with a short review of the theory, presenting the recently purchased instruments and the planned experimental system. It reveals the gap between the theory and the research results and features the present problems of the research, bringing into focus the practical side of it. It shortly introduces the simulation software that is going to be used to reduce the number of the experiments. The other goal of this paper is to demonstrate the present state of the author's last year began PhD work and the planned further steps.

**Keywords:** acoustic metamaterials, vibration reduction, mass-in-mass, PHOTON+

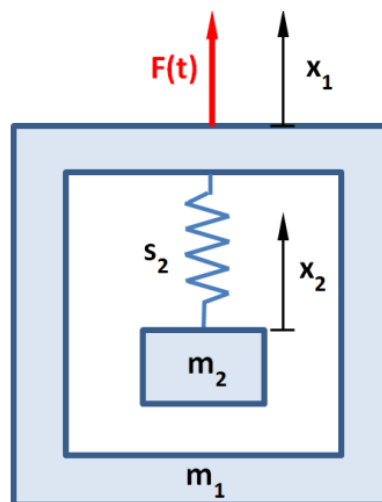
### 1 BEVEZETÉS

Az akusztikus rezgések egy része igen ártalmas hatásokkal jár, legyen az nagy energiájú rezgés, mint egy földrengés, vagy kis energiájú, mint a gépjárművek keltette vibráció. A leggyakrabban előforduló veszélyes rezgés mégis a zaj, ami körülvesz minket szinte minden pillanatban. Hatása lehet enyhébb esetben csak fáradtság,

stressz, fokozott esetben magas vérnyomás, emésztési rendellenesség, de akár halláskárosodáshoz is vezethet. A zaj elleni védekezés egyik útja az, hogy szigetelést állítunk a rezgés útjába, viszont ennek tömege hatványozottan nő zajszigetelési képességének emelésével, így pl. 30dB-lel történő hatékonyság javuláshoz legalább 32-szeresére kell növelni az abszorber tömegét:

$$\text{Transmission Loss} = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{\pi \rho h f}{c \rho_\alpha} \right)^2 \right] \quad (1)$$

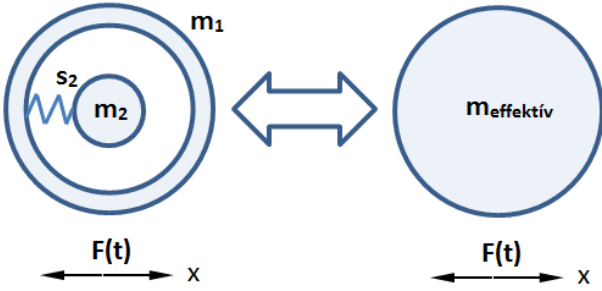
ahol  $\rho$  az abszorber sűrűsége,  $h$  az anyag rétegvastagsága,  $f$  a frekvencia,  $\rho_\alpha$  a levegő sűrűsége és  $c$  a hang terjedési sebessége a levegőben) [1]. Emiatt az utóbbi évtizedben jelentősen megnőtt az alternatív hangszigetelő anyagok, köztük a metaanyagok kutatására fordított energia. Metaanyagnak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek jellemző tulajdonságát inkább a belső szerkezete szabja meg, mint az anyagi jellemzői. A tömeg-a-tömegben elrendezésű metaanyagok alapegységét egy speciális, két szabadságfokú rezgő rendszer alkotja (1. ábra) [2], amelyből megalkották az effektív tömeg (2. ábra) elméletét.



1. ábra: Tömeg-a-tömegben modell

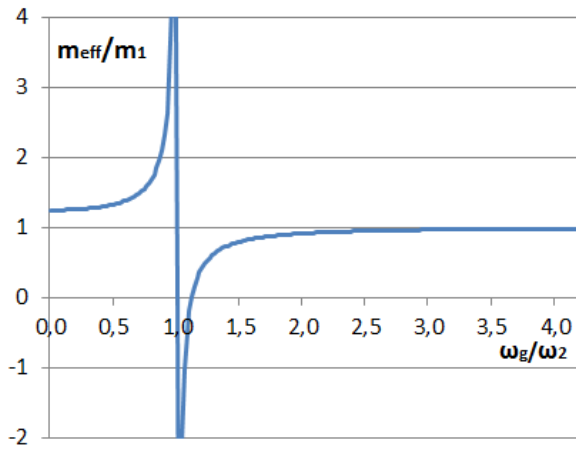
Ennek lényege az, hogy megfelelő paraméterezés mellett létezik olyan gerjesztési frekvencia, ahol az  $m_1$  tömeg áll, vagy a gerjesztésre ellentétes mozgással reagál. [3-6].

$$m_{eff} = m_1 + m_2 \frac{1}{1 - \frac{\omega_g^2}{\omega_2^2}} \quad (2)$$



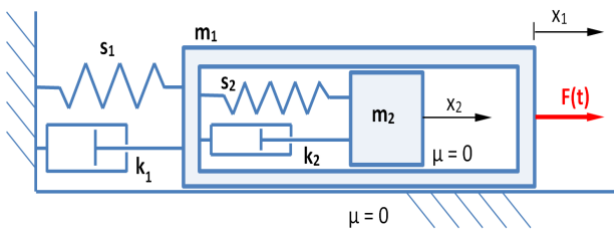
2. ábra: Tömeg-a-tömegben modell

A képlet alapján felrajzolható a gerjesztési frekvencia függvényében az effektív tömeg (3.ábra). A csatolt tömeg sajátfrekvenciáját követő szűk sávban fogunk negatív effektív tömeggel szembesülni, azaz a külső tömeg a gerjesztési frekvenciával ellentétes irányú mozgást fog végezni.



3. ábra: Tömeg-a-tömegben modell

A tömeg-a-tömegben rendszerű metaanyagoknak a működési elve nagyban hasonlít a dinamikus rezgés-csillapításához (4. ábra)[7], amelynek mozgásegyenleteit lineáris anyagjellemzők mellett forgóvektoros formában oldottam meg.



4. ábra: Dinamikus rezgés-csillapítás modellje

A két tömeg közötti fáziskésés a következő egyenlettel írható le:

$$\varphi_2 = \arctan \frac{\frac{\omega_g}{\omega_2}}{\frac{1}{2D_2(\frac{\omega_g}{\omega_2})^2} - \frac{1}{2D_2} + 2D_2} \quad (3)$$

és a két tömeg közötti amplitúdóarány:

$$G_{21} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\sqrt{(2D_2 \frac{\omega_g}{\omega_2})^2 + 1}}{\sqrt{(1 - \frac{\omega_g^2}{\omega_2^2})^2 + (2D_2 \frac{\omega_g}{\omega_2})^2}} \quad (4)$$

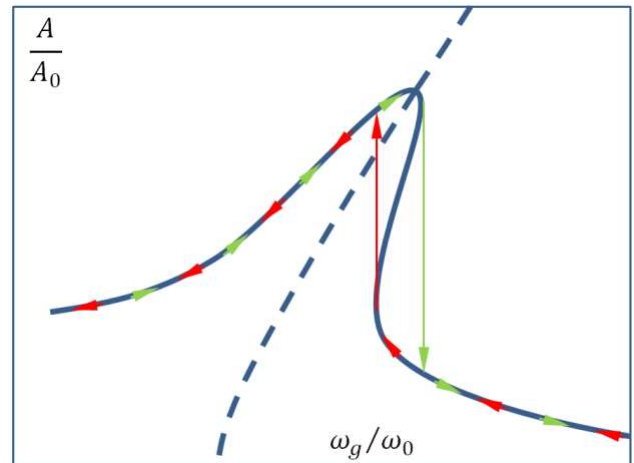
Ha a rugóerők és a csillapítási erők lineárisan változnak az elmozdulás és a sebesség változásával, akkor a harmonikus mozgás egyenletei analitikusan megoldhatóak, míg ha a változások nem-lineárisak, akkor csak közelítő eljárások léteznek.

A nem-lineáris rugó-karakterisztikájú, viszkózus csillapítású, egy szabadságfokú rezgés mozgásegyenletét először G. Duffing írta fel és oldotta meg megközelítően, még 1918-ban [8]:

$$\ddot{x}(t) + ax(t) + \mu x^3(t) + \lambda \dot{x}(t) = F(t) \quad (5)$$

Látható, hogy a nem-lineáris rugó-karakterisztikát harmadfokú függvényvel írta le.

Forgóvektoros ábrázolásban a Duffing egyenlet tartalmaz egy olyan tagot, amely nem a többi vektorral azonos szögsebességgel forog, hanem annak háromszorosával. Emiatt, valamint amiatt, hogy az elmozdulás, sebesség és gyorsulás vektorok között nem állandó a fáziskésés, a nem-lineáris megoldás forgóvektorral is csak közelítő lehet.

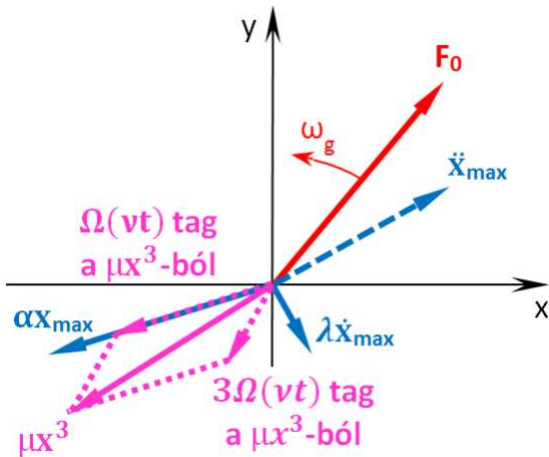


5. ábra: Nem-lineáris rugómerevségű rezgő rendszer rezonancia-viszonyai

A 5. ábra mutatja be a nem-lineáris, progresszív rugómerevségű rezgő rendszer rezonancia viszonyait [8]. A zöld nyíl jelzi az amplitúdó alakulását a gerjesztési frekvencia növelése mellett, míg a piros nyíl annak csökkentése esetén tapasztalható maximális kitéréseket mutatja. Látható, hogy mindkét irány tartalmaz egy ugrást, ahol az instabil rész átugrásával folytatja az útját a görbe. Az ábra legfontosabb része viszont a szaggatott vonal jobbra dőlése, amely egy viszonylag széles frekvenciasávú rezonancia jelenséget mutat. Ez a lineárishoz képest tágabb sáv szélességű rezgés-csökkentést tesz lehetővé.

A 6. ábrán látható a Duffing egyenlet forgóvektoros ábrázolása. A lineárishoz képest egy  $\mu x^3$  taggal bővült az egyenlet, amely nem a többi vektorral azonos  $\Omega(vt)$  szögsebességgel forog. Ezt a tagot fel lehet bontani két vektorra, mindkettő az elmozdulással egyenesen arányos, az egyik  $\Omega(vt)$ , a másik  $3\Omega(vt)$  szögsebességgel forog. Ez

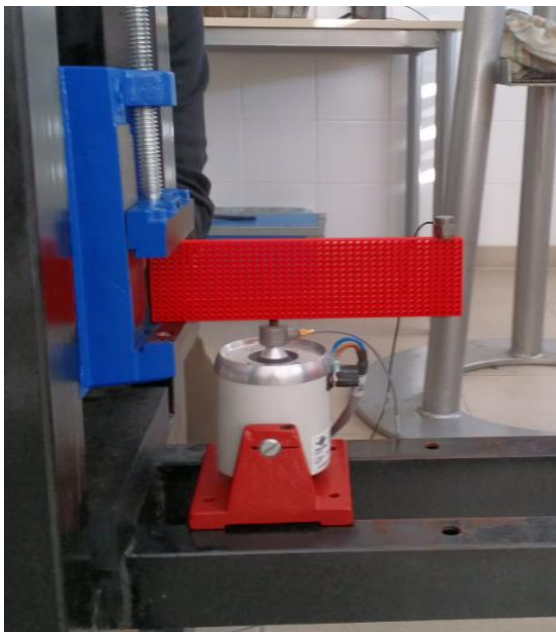
persze elegendő ahhoz, hogy analitikus megoldása forgóvektorral se legyen az egyenletnek, viszont közelítő megoldás több is létezik.



6. ábra: Nem-lineáris rugókarakterisztikájú egy-szabadságfokú rezgő rendszer erőinek forgóvektoros ábrázolása

## 2 MÉRŐRENDSZER BEMUTATÁSA

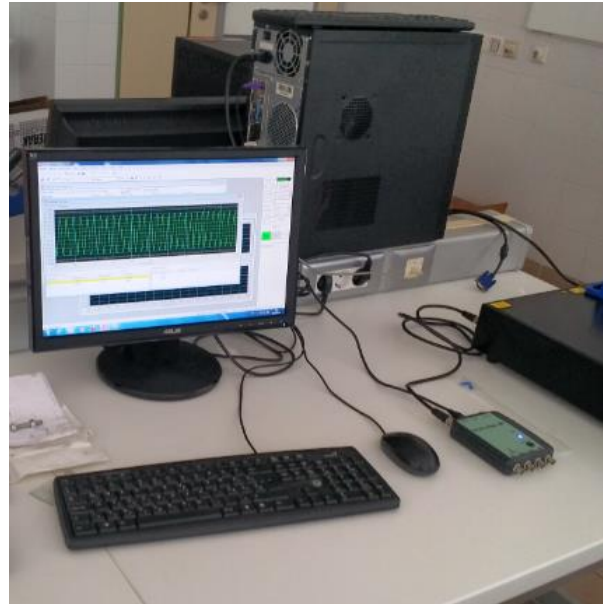
A kísérletek elvégzéséhez az elmúlt év során a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán komoly beruházások történtek közbeszerzési eljárás lefolytatásával, ami hihetetlen idő- és munkaigényes folyamat volt, köszönet érte minden résztvevőnek, akiknek volt türelmük ezt lejátszani és sosem adták fel a reményt, hogy egyszer a végére érünk.



7a. ábra: Rázógép a metanyag vázzal

A beszerzések eredményeképpen a következő eszközök állnak rendelkezésünkre a rezgéscsillapítás mérésére (7a-b.ábra):

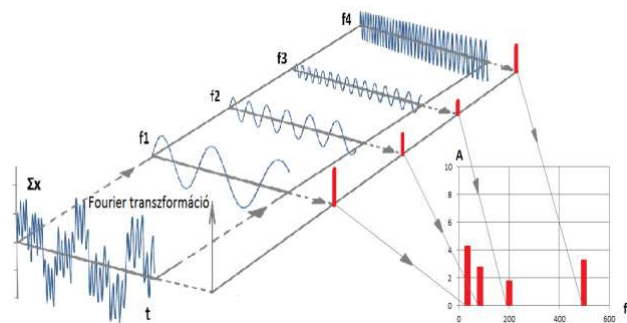
- Brüel&Kjaer PHOTON+ dinamikus jel analizátor
- Brüel&Kjaer LDS VDS 200 rázó gép, V201 tartó egységgel
- Brüel&Kjaer LDS LPA100 erősítő
- erőmérők, gyorsulásmérők
- tartó szerkezet



7b. ábra: PHOTON+ dinamikus jelanalizátor

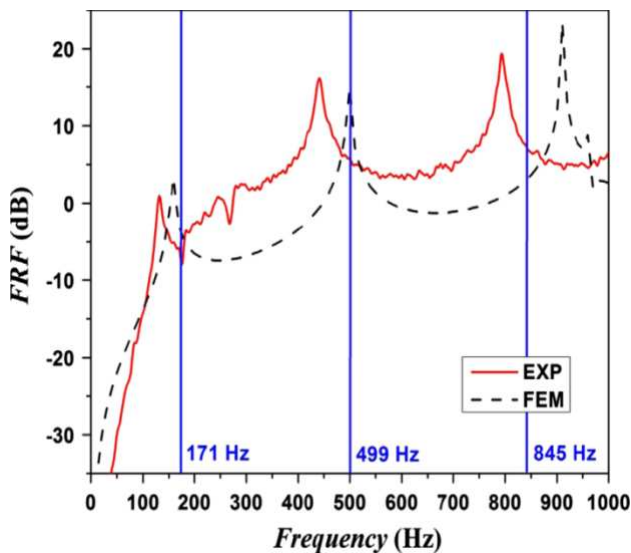
Mint azt már korábban említettem, az általunk vizsgált metaanyag működési elve a dinamikus rezgéscsillapításéhoz hasonló, csak tömeg-a-tömegben elrendezésben. Ennek megfelelően létezik egy külső, üreges hordozó váz, az  $m_1$  tömeg, ami a periodikus gerjesztést kapja. Ebben a vázban vannak célszerű geometriai alakzatban elhelyezve különböző, úgynevezett csatolt tömegek ( $m_2, m_3, m_4$  stb.), amelyek átveszik a váz rezgését, ha a gerjesztési frekvencia nem sokkal haladja meg a saját frekvenciáikat, ezzel nagymértékben lecsökkentve a váz rezgési amplitúdóját.

A mérés során a 3D nyomtatóval előállított metaanyag vázban rögzítjük a csatolt tömegeket, és adott frekvenciatartományban változtatva a gerjesztés frekvenciáját mérjük a rezgéscsillapítást. Az 7a. ábra baloldali képén látható a kék satuba befogott, piros színű metaanyag, amely a rezgés csillapítását végzi.



8. ábra: Fourier transzformáció

Alatta helyezkedik el az LDS V200 rázó gép, amely maximálisan 17,8 N nagyságú erővel és max. 5 mm amplitúdóval képes a mintadarabot rezgetni a jelgenerátor által kiadott frekvencián és jelformátumban 10-13000 Hz tartományban. Az akusztikus rezgések szempontjából a 100-1000 Hz tartomány jelenti a célterületet, itt a legártalmasabbak a rezgések. A PHOTON+ jelgenerátor vezérli a rázó gépet az LDS LPA erősítőn keresztül, valamint fogadja és feldolgozza az erőmérő és gyorsulásmérő jeleit is. A PHOTON+ egy jelgenerátor és valós idejű, gyors Fourier transzformációval (8. ábra) (FFT) dolgozó elemző készülék, melynek segítségével Frekvencia Válasz Függvényt (Frequency Response Function, FRF) állítunk elő a kimeneti (output) és a bemeneti (input) jelek arányában. Kimeneti jelként fogjuk használni mindenekelőtt azt a szinuszos jelet, ami a rázó gép vezérlését végzi, valamint a rázó gépre közvetlenül felhelyezett erőmérőt (8230 DeltaTron Force Transducer). Válaszjelként (bemeneti jelként) érkezik annak a gyorsulásmérőnek a jele, amit a metaanyagra helyezünk fel.



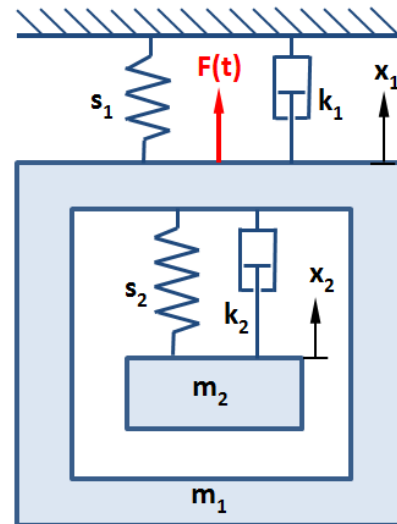
9. ábra: Kísérleti berendezés által mért Frekvencia Válasz Függvény (FRF) [9]

Mindezek értékeiből kapjuk meg a Frekvencia Válasz Függvényt, amelynek a beszakadásai, azaz a rezgést csillapító hatása ott fog jelentkezni, ahol a gerjesztési frekvencia éppen meghaladja a csatolt tömegek sajátfrekvenciáit. Lineáris rugó-karakterisztika esetén ezek keskeny, meredek falú beszakadások, míg nem-lineáris esetben kiszélesednek, tágabb frekvencia-tartományban csillapítják a rezgést (9. ábra).

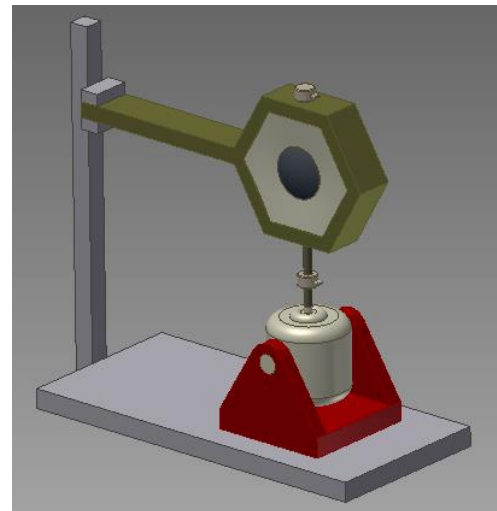
### 3 KÉT SZABADSÁGFOKÚ ALRENDSZER REZGÉSCSILLAPÍTÁSNAK MÉRÉSE

A kísérletek során először egy két szabadságfokú rezgő rendszert (10., 11. ábra) fogunk vizsgálni. Ez a tömeg-a-tömegben elrendezésű rendszer adja a keresett metaanyagok alapegységét, így ezek számítása és mérése a legegyszerűbb. A vizsgálatok segítségével összefüggést kell találnunk az elméleti számítások és a gyakorlati eredmények között, valamint itt kell begyakorolnunk a mérési eljárás technikáját is. Mivel a méréshez felhasznált eszközök (gyorsulásmérők, erőmérők) jelenléte (tömege) befolyásolja a mérések eredményét, ezért ki kell dolgoznunk azokat a korrekciós számításokat, melyek

segítségével kiküszöbölhetjük azok torzító hatásait. Ki kell dolgoznunk azt a módszert is, amivel a merevnek tekintett testek között használt ragasztó rugómerevségét ( $s_2$ ) és csillapítási tényezőjét ( $k_2$ ), valamint a periodikusan gerjesztett  $m_1$  tömeg megfogására használt szakasz rugómerevségét ( $s_1$ ) és csillapítási tényezőjét ( $k_1$ ) is meg tudjuk határozni. Feltehetőleg a rugómerevség lesz az egyszerűbb, hiszen rugókarakterisztikát fel tudunk vázolni a többféle terhelésre adott elmozdulások alapján.



10. ábra: Két szabadságfokú, tömeg-a-tömegben elrendezésű rezgő rendszer modellje

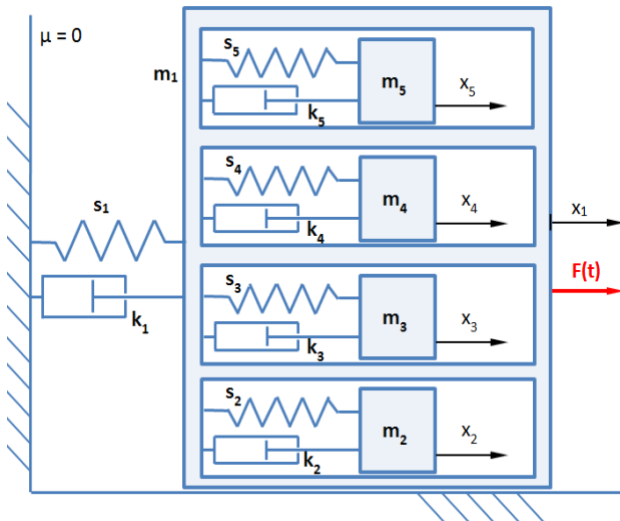


11. ábra: Két szabadságfokú, tömeg-a-tömegben elrendezésű rezgő rendszer rezgéscsillapításának mérési elrendezése

Az erő biztosítására a rázó gép is felhasználható konstans jel ráadásával, az elmozdulás mérésére lézeres elmozdulás érzékelő lenne a leg célra vezetőbb, ami az alap mérőrendszer esetében is célravezetőbb lenne a tömeggel bíró gyorsulásmérőknél, hiszen ez nem befolyásolná a mérést. A csillapítási tényező kiszámítására valószínűleg az egyszeri, impulzus jellegű gerjesztés lecsengésének mérése biztosítja majd a lehetőséget.

#### 4 TÖBB SZABADSÁGFOKÚ ALRENDSZER REZGÉSCSILLAPÍTÁSNAK MÉRÉSE

Megvalósíthatósági, azaz gyárthatósági szempontból olyan metaanyag képzelhető el, amelyben 4-5-féle csatolt tömegnél nincs több. Ha mindegyik kellően széles sávban tud csillapítani, amihez célszerűen választott nem-lineáris rugókarakterisztikákra lesz szükség, akkor valószínűleg lefedhető lesz vele egy legalább 600-800 Hz szélességű frekvenciatartomány, ami már használható szintű vibrációcsökkentő anyagot eredményezhet.



12. ábra: Öt szabadságfokú rezgő rendszer tömeg-a-tömegben elrendezésű modellje

Ennek megfelelően a periodikusan gerjesztett  $m_1$  tömeghez kapcsolt  $m_2, m_3, m_4, m_5$  tömegek tömeg-a-tömegben elrendezésű metaanyag modellje az 12. ábrán látható. Mivel ilyen elrendezésben még lineáris anyagjellemzőkkel sem történt még meg a mozgási egyenletek megoldása, így az elméleti munkának ez lesz a következő lépése. Azt tudjuk, hogy ha csak egy tömeget csatolunk a rezgő alap tömeghez, akkor megfelelő méretezés mellett megállíthatjuk vagy minimálisra redukálhatjuk az alap tömeg rezgését. Viszont még nem ismert, hogy mi történik, ha a csatolt tömeget megsokszorozzuk (több azonos csatolmány), vagy több, eltérő tömeg-rugó-csillapítás kerül csatolásra.

#### 5 SZIMULÁCIÓS ELJÁRÁSOK

A mérések számának csökkentése céljából szükségünk lesz egy szimulációs szoftverre. A Mérnöki Karon oktatott és így rendelkezésünkre álló Autodesk Inventor rendelkezik bizonyos végeelem számításokra képes modulokkal (feszültség-, alakváltozási, sajátfrekvencia számítások), de sem Frekvencia Válasz Függvény (FRF), sem nem-lineáris anyagjellemzők nem állíthatók elő vele. az ANSYS szoftverrel történtek biztató próbálkozások, s bár ez a szimulációs szoftver képes bizonyos területeken nem-lineáris anyagmodellel dolgozni, sajnos a számunkra fontos FRF modulban nem. Ennek a szoftvernek viszont hátrányai közé tartozik, hogy a bekerülési és éves rendszerkövetési költsége magas, s helyes kezelése igen komoly szintű gyakorlottságot igényel, amelynek az elsajátítása rendkívül időigényesnek tűnik. Így a szoftveres szimuláció kérdése egyelőre még nem megoldott.

Igen sokat támaszkodunk viszont a numerikus integrálásra, aminek a lehetőségét az Excell nyújtja számunkra. Nagy segítség az analitikus levezetések helyességének igazolására, de sokat használjuk a mozgások megismerésére is, a paraméterek változtatása mellett.

További lépésként igyekszünk a MATLAB szoftvert is bevenni a szimulációkba, itt még csak a kezdeti lépéseknél tartunk.

#### 6 ÖSSZEZÉS

Mindenképpen elmondható, hogy a metaanyag kutatás rendkívül izgalmas részéhez értünk, hiszen ez az a pont, ahol az összegyűjtött elméleti tudást le kell tudni fordítani gyakorlati eredményekre. A két és több szabadságfokú rezgő rendszer, a tömeg-a-tömegben elrendezés, a lineáris-nemlineáris anyagtulajdonságok közötti különbségek a megalkotott rezgés-csillapítást mérő rendszerrel visszaigazolást kell, hogy kapjanak ahhoz, hogy a további lépésekre sor kerülhessen. Később számolnunk kell még a hordozó váz geometriájának a kialakításával, a csatolt tömegek méretezésével és elhelyezésével, a megfelelő anyagok kiválasztásával és nem utolsósorban a méretek csökkentésének problémájával. Összegzésként elmondható, hogy nagy utat tettünk meg az elmúlt évben, viszont a kutatásnak még mindig csak az elején járunk.

#### IRODALOMJEGYZÉK

1. Pai P.F.: Metamaterial-based broadband elastic wave undamped vibration absorber. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 21(5) (2010) 517-528.
2. Huang, H.H., Sun, C.T., Huang, G.I.: On the negative effective mass density in acoustic metamaterials, *International Journal of Engineering Science*, 47, 2009, 610-617.
3. Cveticanin, L., Mester, Gy: Theory of acoustic metamaterials and metamaterial beams: An overview, *Acta Polytechnica Hungarica*, 13(7), 2016, 43-62.
4. Bíró, I.: Mechanikai lengések, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 2014. 122 p. ISBN:978-963-306-288-3
5. Cveticanin, L., Zukovic, M.: Negative effective mass in acoustic metamaterial with nonlinear mass-in-mass subsystems, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 51, 2017, 89-104.
6. Pai, P.F., Peng, H., Jiang, S.: Acoustic metamaterial beams based on multi-frequency vibration absorbers, *International Journal of Engineering Science*, 79, 2014, pp. 195-205.
7. Hegedűs, A.: Fejezetek a kinetikából Rezgéstan, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2015. ISBN:978-963-269-468-9
8. Vakakis, A.F., Blanchard, A.: Exact steady states of the periodically forced and damped Duffing oscillator, *Journal of Sound and Vibration*, 413 (2018) 57-65.
9. Zhu R., Liu X.N., Hu G.K., Sun C.T., Huang G.L.: A chiral elastic metamaterial beam for broadband vibration suppression. *Journal of Sound and Vibration* 333 (2014) 2759-2773.

# Hegesztési paraméterek hatásának vizsgálata a lézerhegesztett gyémántszezmenses fúrókoronák törésértékeinek viselkedésére

## Inspection of the Effect of Welding Parameters on the Behaviour of Breaking Values of Laser Welded Diamond Segment Drill Bits

Kenéz Attila Zsolt \*, Bagyinszki Gyula \*\*

\* Hilti Szerszám Kft., Kecskemét, Magyarország

\* Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország

\*\* Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország  
attila.kenez@hilti.com, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás** — Korábbi cikkünkben már beszámoltunk gyémántszezmenses fúrókoronák hegesztett kötéseinek végzett vizsgálatainkról, amiket 4 kW-os TRUMPF TruDisk4002 szilárdtest lézerforrással készítettünk. Hegesztési hibákat és esetleges átötvöződéseket kerestünk, szövetszerkezeti- és keménységvizsgálatokat végeztünk. Ebben a cikkben azt vizsgáljuk, hogy a lézerhegesztési folyamatparaméterek - pl. lézerteljesítmény (P), hegesztési sebesség (S), fókuszpont eltolások (FP) – milyen hatással vannak a kötési zónára. Kísérleti tervet készítünk egyszerre egy faktor módosításával (One Factor At a Time) annak megállapítására, hogy a különböző paramétereket milyen tartományra érdemes leszűkíteni ahhoz, hogy minél kevesebb mintából meg tudjuk állapítani a hatásukat. Természetesen ezzel a módszerrel nem tudjuk meghatározni több faktor együttes hatását. A kapott eredményeket felhasználva készítjük el a paraméter-kísérleti tervet DoE módszerrel, hogy megállapítsuk a szignifikáns jellemzőket (és az esetleges együttes hatásokat), amelyek változtatása jelentős hatással van a kötési zónára.

**Kulcsszavak:** lézerhegesztés, gyémánt szezmens, paraméterkísérlet

**Abstract** — In our previous article we have already analyzed welded joints of diamond segment drill bits, which were made with a 4kW TRUMPF TruDisk4002 solid-state laser source. We were looking for a possible welding errors and when an alloy was formed, we inspected the microstructure and hardness tests were performed. In this paper we examine the effect of laser beam welding process parameters such as laser power (P), welding speed (S) and focal distance (FP) on the joining zone. An experiment plan is made simultaneously by modifying a factor (One-Factor-At-A-Time) to determine the range of different parameters that should be narrowed down to the minimum number of samples to determine their effect. Of course, we cannot determine the combined effect of several factors with this method. Using the results obtained, we prepare the parameter experiment plan using a DoE method to determine the significant characteristics (and possible

combine effects) change of which has a significant effect on the joining zone.

**Keywords:** laser welding, diamond segment, parameter study

### 1 BEVEZETÉS

A lézersugaras hegesztésnek számos előnye van, mint pl. koncentrált, így fajlagosan alacsony hőbevitel, keskeny hőhatásövezet, kismértékű torzulás, könnyű automatizálhatóság. A hagyományos hegesztési eljárásokhoz képest mélyebb a beolvadás, nagyobb a hegesztési sebesség, a pontosság, a megbízhatóság, a hatékonyság és magasabb a termelékenység [1].

Lézerrel eltérő minőségű fémek anyagok is hegeszthetők azzal a feltétellel, hogy a két fém képes legyen egyidejűleg megömleni és közös ömledéket képezni és ne keletkezzenek megengedhetetlen intermetallikus fázisok, átmeneti vegyületformák a hegesztési folyamat során. [2, 15-16.o]. Többen különböző módszerekkel vizsgálták már a lézerhegesztési folyamatparaméterek hatását (pl. a keménységre, a szövetszerkezetre, a mechanikai tulajdonságok változására, stb). Legtöbbször egy szoftver által meghatározott értékhez hasonlították a kísérleti eredményeket, visszaigazolandó a szoftver „pontosságát”.

Esetünkben porkohászati úton gyártott szezmenseket hegesztettünk vékonyfalú acél csőre. Egy korábbi cikkünkben már vizsgáltuk a kötési zónákat [3], jelen cikkünkben a törésértékekből készítettünk egy kiértékelést, ahol a lézerhegesztési folyamatparaméterek hatását vizsgáltuk - mint lézerteljesítmény, hegesztési sebesség, fókuszpont eltolások. A kiértékeléseket felhasználtuk további kísérlettervek készítésére.

### 2 A KÍSÉRLETEK FOLYAMATA

A lézeres hegesztési folyamat paraméterei, mint például a lézer teljesítmény, a hegesztési sebesség, a védőgáz és a fókusz távolság befolyásolják a hegesztési minták minőségét. Ebben a vizsgálatban két folyamatparamétert,

a lézer teljesítményt (P) és fókuszávolságot (FP) vettünk figyelembe. A fókuszávolság hatását viszont két irányban is vizsgáltuk, a felületre merőleges irányban (FPQ) és a szimmetriatengellyel párhuzamos irányban (FPL). Kiinduló értéként FPQ = 0,25mm és FPL = -0,2mm értéket állítottunk be. A hegesztési sebességet (S) állandó paraméternek tekintettük, mivel a lézerhegesztőgépen beállítható maximális sebességet használtuk a kísérletek során. A kísérletben alkalmazott folyamatparamétereket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A termékportfólióból kiválasztottuk az Ø102 mm-es terméket (1. ábra), mely 8 szegmenst tartalmaz a cső homlokfelületén egyenlő távolságban elosztva.

## 2.1 A kísérletekhez felhasznált anyagok

### 2.1.1 Szegmens

A szegmens gyártása porkohászati úton történik, a porok összekeverése után egy berendezés rétegről rétegre építi fel a szegmenst és ekkor kerülnek bele a meghatározott méretű gyémánt szemcsék is. A rétegzési folyamat teljesen szabályozott, szabadon variálható a rétegek vastagsága és száma. Ezután beállítják a szegmens sűrűségét, mely befolyásolja a hegesztést a gyártás során, ill. a vágás sebességét, a vágótest kopását az alkalmazás során. A szegmensek 2 fő zónából állnak, az egyik a vágásért felelős „vágózóna”, a másik a hegesztéshez szükséges „neutrál” vagy semleges zóna. A szegmensek neutrál zónájának kémiai összetétele: Astaloy-Mo = 99,8%, Grafitpor = 0,2%, Cink-sztearát = 0,5%.

### 2.1.2 Acélcső

A szegmenseket egy vékonyfalú acélcsőre rögzítjük, mely hidegen húzott E235+C (1.0308) anyagminőségű, EN 10305-1 szabvány szerinti [4],  $2 \pm 0,15$  mm falvastagságú. A cső kémiai összetétele: C  $\leq 0,17\%$ , Si  $\leq 0,35\%$ , Mn  $\leq 1,2\%$ , P  $\leq 0,025\%$ , S  $\leq 0,025\%$ .

## 2.2 A kísérletekhez felhasznált lézerforrás

A kísérletet egy Trumpf TruDisk 4002 (max. 4,0 kW teljesítményű, 1,03  $\mu$ m hullámhosszúságú) lézerforrással végeztük el. A lézerforrás egy teljesen automatizált géppel van kapcsolatban: egy rezgőadagolóból kerülnek be a szegmensek a belső, kétállásos adagoló-pozicionáló egységbe, ami a robot által behelyezett cső homlokfelületéhez illeszti a szegmenst. A gép konstrukciója olyan, hogy a lézerfej mozog hegesztés közben és egyszerre egy szegmens hegesztése történik. A hegesztési idő alatt a szegmens adagolóegység előkészíti a következő szegmenst a pozicionáló másik állásába, ezzel csökkentve a mellékidőket és biztosítva a következő szegmens gyors pozícióba kerülését.



1. ábra: Ø102 mm-es fúrókorona katalógusképe

1. táblázat: A kísérlet folyamatparaméterei

Folyamat-paraméter	Mértékegysége	Jele	Min. értéke	Max. értéke
Lézer teljesítmény	W	P	40%	70%
Fókuszpont-eltolás keresztirányban	mm	FPQ	-2,75	1,25
Fókuszpont-eltolás tengelyirányban	mm	FPL	-0,5	0

## 2.3 A kísérlettervezés folyamata

A statisztikai alapokon nyugvó kísérlettervezés lépései:

- Sejtés (az eredeti hipotézis, ami motiválja az egész kísérlet végrehajtását);
- Kísérlet (a vizsgálatok, tesztek lefolytatása, hogy a sejtést ellenőrizzük);
- Elemzés (a kísérlet során nyert adatok statisztikai elemzése);
- Következtetés (mit tudunk meg a kísérletek elemzéseiből?). Gyakran egy kísérlet elvégzése az eredeti sejtés módosításához és egy új kísérlet szükségességéhez vezet.

A kísérletezés stratégiái:

- A legjobb találgatás módszere (Best-guess approach): gyakran használják, de nem biztos, hogy az optimális választ találjuk meg. Ha találunk egy elfogadhatóan jó megoldást, nem biztos, hogy tovább találgatunk.
- Egyszerre egy faktor változtatása (OFAT: One factor-at-a-time): könnyen megismételhető eljárás, nagyon sok kísérleti lépés szükséges, az egyes faktorok kölcsönhatása nem derül ki a kísérletből, a vizsgálat során nem lehet figyelembe venni a zavaró hatásokat.
- Faktoros kísérletek (Factorial Experiments): több faktort egyidejűleg változtatunk (kevesebb kísérleti lépés szükséges), az egyes faktorok kölcsönhatása is kiderül a kísérletekből. Lehetővé válik a beállításokhoz kapcsolódó középértékek és az ún. hatások számítása.

A kísérletek elvégzéséhez az „egyszerre egy faktor változtatása” stratégiát választottuk és az alábbi lépéseket hajtottuk végre:

- első lépésként a lézerteljesítményt (P) csökkentettük 10 %-os lépcsőkben addig, amíg a cső anyaga még éppen átolvadt teljes keresztmetszetében. Ezt a legkisebb teljesítményt vettük alapul a következő lépéseknél azért, hogy a fókuszávolság változtatásakor jobban láthatóak legyenek a változások;
- második lépésként a fókuszpontot toltuk el keresztirányban (FPQ), először távolodva, majd közeledve a felülethez. Azt az értéket kerestük, ahol a legmagasabb a gépképesség mutató (Cpk) és ezt vettük alapul a következő lépésnél;

- harmadik lépésként a fókuszpontot toltuk el tengelyirányban (FPL), a szegmens élétől indulva a cső irányába. Azt az értéket kerestük, ahol a legmagasabb a gépképesség mutató (Cpk).

#### 2.4 Vizsgálati módszer

Hegesztett kötések és/vagy varratok roncsolásos vizsgálatára többnyire az alpanyag vizsgálatára használt eljárásokat alkalmazzák, viszont a roncsolásmentes vizsgálatok során a vizsgálandó munkadarab nem károsodik.

Roncsolásmentes vizsgálati eljárások:

- optikai vizsgálat;
- geometriai vizsgálat;
- minimum-próba;
- radiográfiai vizsgálat (röntgenvizsgálat, izotópos vizsgálat);
- mágnesezhető poros vizsgálat;
- folyadékbehatolásos vizsgálat;
- ultrahangos vizsgálat;
- örvényáramos vizsgálat;
- CT (computer tomográfia) vizsgálat.

Roncsolásos vizsgálati eljárások:

- törésteszt (statikus hajlítás);
- keménységvizsgálat;
- energiadiszperzív spektroszkópia;
- makrociszolát vizsgálat;
- optikai fénymikroszkópos vizsgálat;
- pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat;
- szakítóvizsgálat;
- hajlítóvizsgálat (korona- és gyökoldali);
- ütővizsgálat;
- fárasztóvizsgálat.

A roncsolásos vizsgálati eljárások közül ebben a cikkben a törésteszt eredményeit használtuk fel. A vizsgálat célja volt meghatározni a szegmens letöréséhez szükséges nyomaték átlagos értékét, melynek nagyobbak kell lennie, mint az előírt min. 9 Nm. A vizsgálat végrehajtásakor a szegmensre a formájához illeszkedő betétet helyeztünk, ami nyomatékhatárolóval ellátott nyomaték kulcshoz csatlakozik. A kulcs nullázása után a szegmenst kifelé irányuló mozdulattal letörtük és leolvastuk a kijelzett értéket. A kiértékeléséhez a Minitab szoftvert használtuk.

### 3 EREDMÉNYEK

#### 3.1 Első lépés eredményei

A lézerteljesítményt (P) csökkentettük 10%-os lépcsőkben addig, amíg a cső anyaga még éppen átolvadt teljes keresztmetszetében. Az átolvadást a cső belső felületén vizsgáltuk szemrevételezéssel. A 4. számú mintánál már nem láttuk kialakulni a varratot a cső belső felületén, ezért megfeleztük a két utolsó minta közötti teljesítmény-különbséget és ezzel a paraméterrel még teljes keresztmetszetben átolvadt varratot kaptunk. Az eredmények a 2. táblázatban találhatóak. Az 5. számú minta teljesítményparaméterét vettük alapul a további lépésekhez.

2. táblázat: Az első lépés eredményei

Minta száma	Átlagos törésérték [Nm]	Szórás	Cpk	Minimum törésérték [Nm]
1 (70%)	17,575	1,640	2,65	12,1
2 (60%)	19,506	0,589	3,68	17,4
3 (50%)	18,793	2,216	1,78	11,1
4 (40%)	14,773	0,611	2,84	13,7
5 (45%)	17,620	1,108	2,56	14,3

3. táblázat: A második lépés eredményei

Minta száma	Átlagos törésérték [Nm]	Szórás	Cpk	Minimum törésérték [Nm]
6 (1,25)	13,431	1,271	1,58	10,1
7 (-0,75)	17,731	0,690	4,69	16
8 (-1,25)	17,818	1,104	2,74	15,5
9 (-1,75)	17,275	1,025	2,39	15,6
10 (-2,25)	17,086	1,823	1,73	11,7
11 (-2,75)	16,433	1,848	1,35	10,9

#### 3.2 Második lépés eredményei

A keresztirányú fókuszpont-eltolást változtattuk 1 mm-es lépésközzel a felülettől távolodva, majd 0,5 mm-es lépésekkel a felülethez közelítve. Feltételeztük, hogy a felülettől távolodó fókuszpont-eltolás nem a jó irány, ezért csak egy lépést hajtottunk végre. Az eredmények a 3. táblázatban találhatóak. A legmagasabb gépképesség-mutatójú (Cpk) minta paraméterét vettük alapul a harmadik lépéshez.

#### 3.3 Harmadik lépés eredményei

A tengelyirányú fókuszpont-eltolást változtattuk 0,1 mm-es lépésközzel a szegmens élétől indulva a cső irányába. Az eredmények a 4. táblázatban találhatóak. A legmagasabb gépképesség-mutatójú (Cpk) minta paraméterét kerestük.

### 4 EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A kiértékelés során az adott paraméterekre átlagos törési értéket, szórást és gépképesség-mutatót számoltunk. A minimális törési érték fontossága a funkcionalitásból ered. Minél magasabb egy aktuális beállítás minimális törésértéke, annál nagyobb biztonsággal állítható, hogy a paraméterek megfelelőek. A szórás azt mutatja meg, hogy az adott paraméter a hegesztés során mennyire megbízható. A magas szórás esetén a beállítás még lehet jó, de a paraméter túl érzékeny a különböző hatásokra, melyek lehetnek a szegmens vagy az alptest anyagából eredőek vagy akár valamilyen szennyeződés következményei a felületen, melyet az aktuális paraméter nem „tolerál”. Az alacsony szórás viszont utal a beállított paraméter külső hatásokra való érzéketlenségére, függetlenül attól, hogy az honnan ered, valamint mutatja a technológia hosszú távú alkalmasságát a szériagyártásra. A legfontosabb kiértékelési szempont a gépképesség mutató.



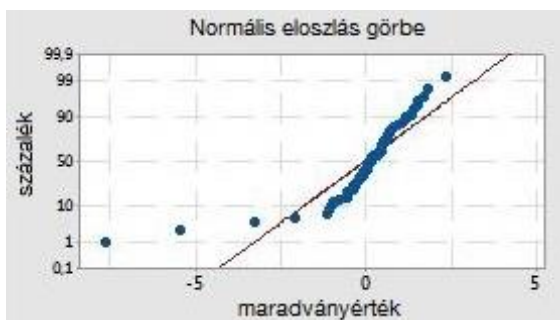
4. táblázat: A harmadik lépés eredményei

Minta száma	Átlagos törésérték [Nm]	Szórás	Cpk	Minimum törésérték [Nm]
13 (0)	13,025	1,105	2,05	11,2
14 (-0,1)	15,500	1,044	2,59	14,2
15 (-0,3)	14,450	2,134	0,89	10,4
16 (-0,4)	3,612	5,106	-0,39	0
17 (-0,5)	0			0

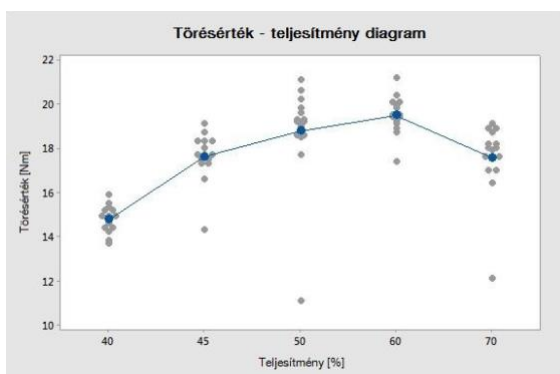
A kapott gépképesség mutató értékének a szériatermékek gyártása során magasabbnak kell lennie 1,33-nál. A gépképesség mutatót a szórás, a minimum és maximum értékek, a bevitt értékek száma, illetve az előírt minimális törési érték is befolyásolja.

Minden mintánál 16 darab szegmenset törtünk le, az értékeket a Minitab programban rögzítettük. Alsó határtárhékként a minimális 9 Nm-es előírást adtuk meg, de felső határtétek nélkül végeztük el a számításokat. A program minden mintánál megrajzolta az eloszlásgörbét, kiszámolta az átlagértéket és a gépképesség mutatót. Ezek az adatok találhatóak meg (kiegészítve a minimális törésértékekkel) a 2., 3. és 4. táblázatokban. Az ANOVA (Analysis of Variances) funkciót használtuk a paraméterváltozások kiértékelésére, összehasonlítására mindhárom lépésnél külön-külön.

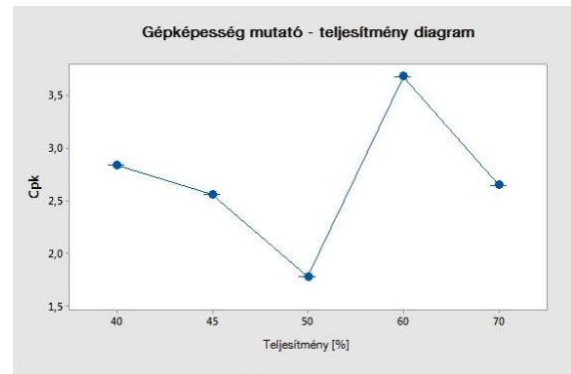
A 2. ábra mutatja az 1. lépés törésértékeinek eloszlását, ahol néhány adat nem illeszkedik a normális eloszláshoz. Ezek a „kieső” értékek megtalálhatóak a 3. ábrán is, ahol a törésérték van ábrázolva a függőleges tengelyen a teljesítmény függvényében (vízszintes tengely).



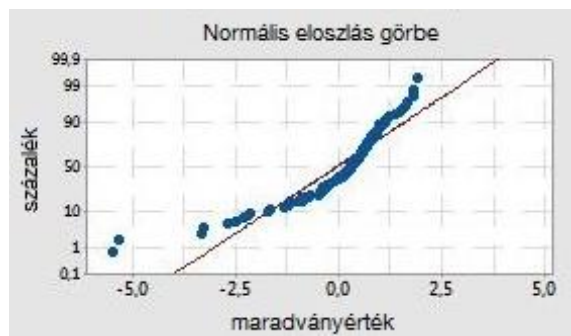
2. ábra: 1. lépés törésértékeinek eloszlása



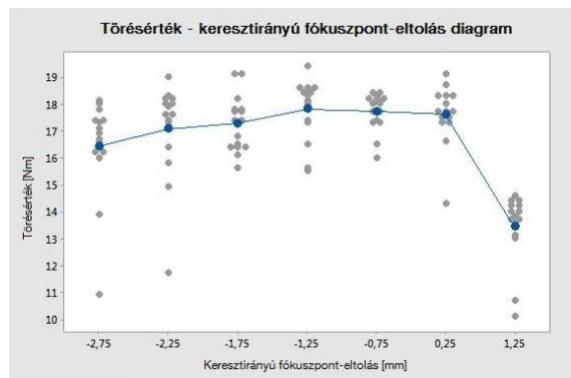
3. ábra: 1. lépés törésértékeinek változása a teljesítmény függvényében



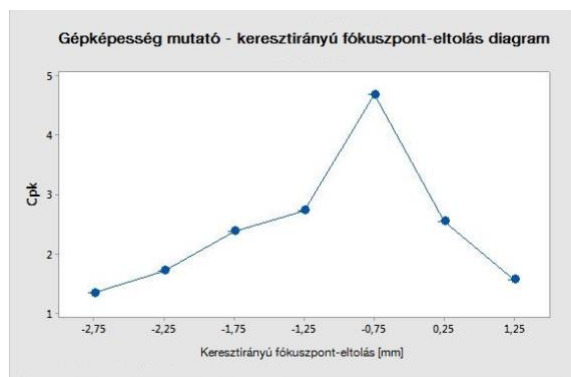
4. ábra: 1. lépés gépképesség mutató értékeinek változása a teljesítmény függvényében



5. ábra: 2. lépés törésértékeinek eloszlása



6. ábra: 2. lépés törésértékeinek változása a keresztirányú fókuszpont-eltolás függvényében



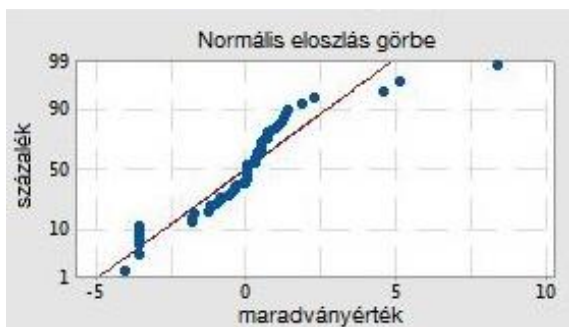
7. ábra: 2. lépés gépképesség mutató értékeinek változása a keresztirányú fókuszpont-eltolás függvényében

Az ábráról az is leolvasható, hogy a teljesítmény csökkenésével először emelkedik, majd csökken a törésérték, ami az 5. mintánál szinte teljesen megegyezik

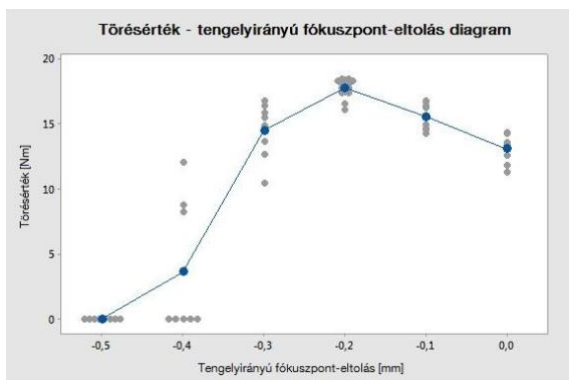
az 1. mintáival (különbség közöttük csak a minimális törésértékben van). A 4. ábrán látható gépképesség mutató (függőleges tengely) - teljesítmény (vízszintes tengely) függvényből más olvasható le. A teljesítmény csökkenésével először hirtelen emelkedés (2. minta) majd hirtelen csökkenés (3. minta) után az 5. mintánál az értékek újra szinte teljesen megegyeznek az 1. mintáival.

Ebben a lépésben azt a teljesítményt kerestük, ahol még teljes keresztmetszetben átolvad a cső anyaga, ezt az 5. minta paramétere teljesítette, de nem szabad figyelmen kívül hagyni a 2. minta magas törésértékeit és a magas gépképesség mutatóját sem.

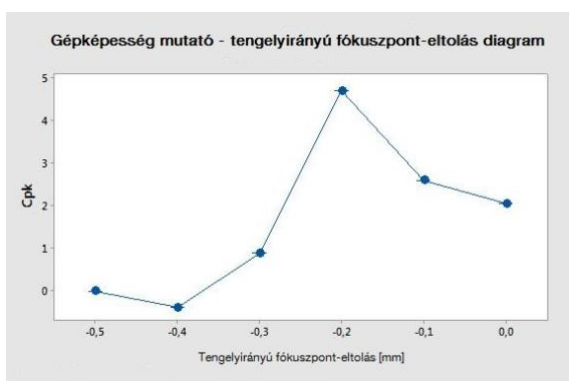
Az 5. ábra mutatja a 2. lépés törésértékeinek eloszlását, néhány adat nem illeszkedik a normális eloszláshoz. Ezek a „kieső” értékek megtalálhatóak a 6. ábrán is, ahol a törésérték van ábrázolva a függőleges tengelyen a keresztirányú fókuszpont-eltolás függvényében (vízszintes tengely). Az ábráról az is leolvasható, hogy a felülettől távolodó fókuszpont-eltolás (6. minta) negatív hatással



8. ábra: 3. lépés törésértékeinek eloszlása



9. ábra: 3. lépés törésértékeinek változása a tengelyirányú fókuszpont-eltolás függvényében



10. ábra: 3. lépés gépképesség mutató értékeinek változása a tengelyirányú fókuszpont-eltolás függvényében

van a törésértékre, míg a felülethez közeledő fókuszpont-eltolás egy tartományon belül „nincs” hatással a törésértékre (7. és 8. minta), majd enyhe csökkenést mutat. A 7. ábrán látható gépképesség mutató (függőleges tengely) - teljesítmény (vízszintes tengely) függvényén látható egy érték, ami kiemelkedik a többi közül. Ez az érték abban a tartományban van, ahol a törésérték „nem változik” a fókuszpont-eltolás hatására.

Ebben a lépésben azt a keresztirányú fókuszpont-eltolást kerestük, ahol a gépképesség mutató a legmagasabb, ezt a 7. minta paramétere teljesítette.

A 8. ábra mutatja a 3. lépés törésértékeinek eloszlását, az adatok nagy része nem illeszkedik a normál eloszláshoz, valószínűleg azon minták befolyásolják, ahol nagy a szórás értéke. A 9. ábráról leolvasható - ahol a törésérték van ábrázolva a függőleges tengelyen a tengelyirányú fókuszpont-eltolás (vízszintes tengely) függvényében, hogy a szegmens élétől a cső irányába induló tengelyirányú fókuszpont-eltolás növeli a törésértéket, a maximum elérése után viszont hirtelen csökken és nullára esik. A 9. ábrán látható gépképesség mutató (függőleges tengely) - teljesítmény (vízszintes tengely) függvényén látható egy érték, ami kiemelkedik a többi közül. Ez az érték ott van, ahol a törésérték maximuma is van.

Ebben a lépésben azt a tengelyirányú fókuszpont-eltolást kerestük, ahol a gépképesség mutató a legmagasabb, ezt a 7. minta paramétere teljesítette.

## 5 KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEZÉS

Az „egyszerre egy faktor változtatása” stratégiát követve három lépésből eljutottunk egy jó megoldásig, aminek a paraméterei:

- lézerteljesítmény: 45%
- keresztirányú fókuszeltolás: -0,75mm
- tengelyirányú fókuszeltolás: -0,2mm.

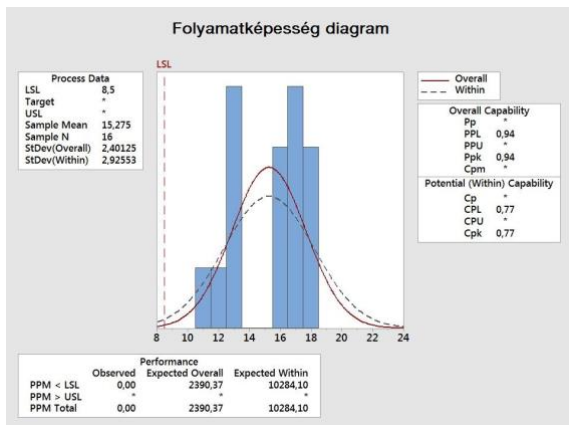
A kapott eredmények alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a vizsgált folyamatparaméterek közül a tengelyirányú fókuszpont-eltolás van a legnagyobb hatással a törésértékre, ennek az értéknek az „elállítódása” hirtelen elrontja a minőséget. Ezt követi a lézerteljesítmény és a keresztirányú fókuszpont-eltolás változása, ebben a sorrendben.

Ennek a stratégiának a hátránya, hogy nem ismerjük a faktorok kölcsönhatásait. Ezt alátámasztandó, még egy kísérlettel kiegészítettük a vizsgálatunkat: mindhárom lépés eredményeiből kiválasztottuk azokat a paramétereket, ahol a gépképesség mutató a legmagasabb értéket adta. A 11. ábrán látható az eredmény, amit az 5. táblázatban foglaltunk össze és messze elmarad a korábbi eredménytől. A fenti eredmény csak a 45% lézerteljesítményre és a hozzá tartozó fókuszpont-eltolásokra érvényes, tehát léteznek még jó megoldások ezen kívül is. Vélhetőleg a különböző lézerteljesítményekhez más-más fókuszpont-eltolás adja a legjobb eredményt.

Ezt csak faktoros kísérlettel lehet igazolni. A fenti kísérlet eredményeit fel tudjuk használni arra, hogy egy szűkített tartományban végezzük el a faktoros kísérletet, kizárva azokat a paramétereket, amiknél nagyon alacsony törésértéket kaptunk. A kísérlethez a 6. táblázatban látható paramétertartományokat használjuk és a Minitab programmal állítjuk elő a teljes faktoriális kísérlettervet, mely a 12. ábrán látható. A változó paraméterek közé

felvettük a sebességet is (S), bővítve a folyamat paraméterek számát. Teljes faktoros kísérlet esetén mind a  $2^k$  darab beállítás mellett legalább kétszer ( $n \geq 2$ ) elvégezzük a kísérletünket. Ez lehetőséget ad a teljes valószínűségi modell használatára, ami az összes fő faktor hatását és az összes lehetséges faktor és szint kombinációt jelentő kölcsönhatást tartalmazza. Esetünkben  $2^4$ , azaz 16 mintából áll (4 faktor, mindegyik 2 értékkel), a 17. minta a faktorok középértéke. A kísérleteket véletlenszerűen, azaz randomizálva kell végrehajtani. A randomizálás alapvető követelmény ahhoz, hogy használhassuk a statisztikai módszereket. Randomizálás alatt mind a vizsgált kísérleti egységek, mind a kísérleti beállítások véletlenszerű sorrendjének biztosítását értjük. A statisztikai módszerek azon a feltevésen alapulnak, hogy a megfigyelések (a hibák) független valószínűségi változók. A randomizálás általában biztosítja ennek a feltételnek az érvényességét.

A kiértékelések során felfigyeltünk arra, hogy a törésértékekben sok a „kieső” érték, ezek túl messze esnek az átlagos törésértéktől (3. és 6. ábra). A 13. ábrán és a 14. ábrán két töretfelület látható a 10. mintából, a 3.



11. ábra: A legjobb gépképesség mutatójú paraméterek kombinációinak eredménye

5. táblázat: A legjobb gépképesség mutatójú paraméterek kombinációinak eredménye

Minta száma	Átlagos törésérték [Nm]	Szórás	Cpk	Minimum törésérték [Nm]
19	15,275	2,401	0,77	10,7

6. táblázat: Faktoros kísérletterv folyamatparaméterei

Folyamat-paraméter	Mértékegysége	Jele	Min. értéke	Max. értéke
Lézer teljesítmény	W	P	45%	70%
Fókuszpont-eltolás keresztirányban	mm	FPQ	-1,25	0,75
Fókuszpont-eltolás tengelyirányban	mm	FPL	-0,3	0
Sebesség	mm/s	S	30	50

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	P [%]	S [mm/s]	FPQ [mm]	FPL [mm]
1	2	1	1	1	70,0	30	-1,25	-0,30
2	16	2	1	1	70,0	50	0,75	0,00
3	7	3	1	1	45,0	50	0,75	-0,30
4	3	4	1	1	45,0	50	-1,25	-0,30
5	1	5	1	1	45,0	30	-1,25	-0,30
6	13	6	1	1	45,0	30	0,75	0,00
7	15	7	1	1	45,0	50	0,75	0,00
8	10	8	1	1	70,0	30	-1,25	0,00
9	14	9	1	1	70,0	30	0,75	0,00
10	11	10	1	1	45,0	50	-1,25	0,00
11	17	11	0	1	57,5	40	-0,25	-0,15
12	9	12	1	1	45,0	30	-1,25	0,00
13	5	13	1	1	45,0	30	0,75	-0,30
14	6	14	1	1	70,0	30	0,75	-0,30
15	12	15	1	1	70,0	50	-1,25	0,00
16	4	16	1	1	70,0	50	-1,25	-0,30
17	8	17	1	1	70,0	50	0,75	-0,30

12. ábra: Faktoros kísérletterv (Minitab)



13. ábra: 10. számú minta (varratkép a külső oldalon)



14. ábra: 10. számú minta (varratkép a belső oldalon)

szegmens törésértéke 11,7 Nm volt, a 4. szegmensé 17,3 Nm. Szemrevételezéssel nem láttunk különbséget a két varrat között, a különbség megállapítására részletesebb vizsgálatokra van szükség. A későbbiekben megfontoljuk ezen vizsgálatok elvégzését.

Még egy további érdekességre felfigyeltünk fel, miszerint az 1. minta és az 5. minta törésértékei és gépképesség mutatójú szintje megegyeznek. A két minta között a lézerteljesítmény volt a különbség, azaz a hőbevitel értéke változott. A későbbiekben megfontoljuk ennek a két mintának a részletesebb vizsgálatát, hogy a varratok között van-e különbség szövetszerkezetben, keménység-lefutásban, varratszélességben, stb.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] M. Li, Z. Li, Y. Zhao, H. Li, Y. Wang, J. Huang, *Advances in Materials Science and Engineering* (2011). (doi:10.1155/2011/767260)
- [2] Bagyinszki Gy., Bitay E.: Nagy energiasűrűségű eljárások hegeszthetőségi szempontjai. In: XVII. Fiaatal Műszaki Tudományos Ülésszaka. Kolozsvár, Románia, Műszaki Tudományos Füzetek. 2012. 13-18. o. ISSN 2067 - 6 808
- [3] Kenéz A. Zs., Bagyinszki Gy.: Gyémánszemcsés fűrészegmensek rögzítéstechnológiáinak vizsgálata. In: 29. Nemzetközi Hegesztési Konferencia. Miskolc, Magyarország. 2018. 199-209.o. ISBN: 978-963-358-160-5
- [4] EN 10305-1: Steel tubes for precision applications – Technical delivery conditions. Part 1: Seamless cold drawn tubes, 2002. november.

# Comparison of creep behavior for lead free solders Sn-3.5Ag, SAC305 and SAC387

Vargas C. Ramiro S. \*, Gonda Viktor \*\*

\*Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Óbuda University,  
1034 Bécsi út 96/b, Budapest, Hungary

\*\* Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Óbuda University,  
1081 Népszínház u. 8, Budapest, Hungary

vargas.ramiro@phd.uni-obuda.hu, gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu

**Abstract** — Numerous lead-free solder compositions were developed recently to substitute the conventional lead-tin solder due to its environmental hazards. As an example, lead-free solders with tin-silver-copper (SAC) compositions are frequently used with various weigh percentage of the alloying elements. Beside the electronic properties of these solders, the mechanical behavior is of great interest, due to the time dependent nature arising from these low melting point materials operating at thermal-mechanical loads. In this paper, the thermal-mechanical creep behavior is analyzed for three lead-free solders of Sn-3.5Ag; SAC305 and SAC387. A simple structural configuration of an electronic package containing a solder joint is modeled in finite elements, where the applied load was thermal cycling. The Anand material model was employed for the creep behavior of the solder. Stress and strain analyses of the structural behavior was performed and compared for the tree different lead-free solders. Results are presented for the mechanical response of the different compositions.

**Keywords:** Lead-free solder, creep, finite element analysis.

## 1 INTRODUCTION

The first patents and concepts of the printed circuit board (PCB) where introduced by Charles L. in 1925 [1]. Basically, it consisted of a copper layer in the shape of a path that interconnected electronic components. This concept replaced the traditional wiring process in circuit manufacturing. Initially, Integrated Circuits (IC) and electronic components had external lead pins attached to the encapsulated circuit. After mounting the electronic components over the PCB, a joining material was needed to fix the circuit to the board. This material known as solder is a fusible alloy with a low melting temperature and commonly with eutectic chemical composition.

Due to downscaling, smaller electronic components where developed, and new surface mounting technologies were released as well. The Flip Chip (FC) assembly was found to one of the most advantageous in terms of space optimization.

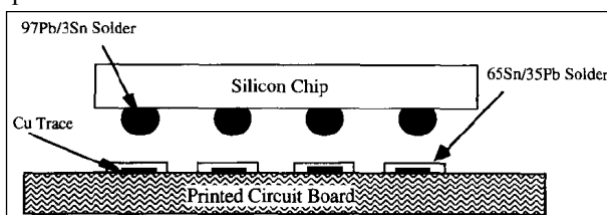


Figure 1. Flip Chip placement operation [2].

Figure 1 illustrates how the traditional external lead pins attached to the electronic components were replaced by metalized pads.

### 1.1 Solder materials

The solder material is responsible for the mechanical and electrical joining between the copper path and the electronic component. Moreover, the current that flows through the solder during the operation leads to cycling thermal load. Table 1 details some of the most common environmental temperature ranges according to the application of electronic packaging.

Table 1. Thermal environments for solder joints in a variety of electronic packages [3].

Use conditions	Thermal excursion (°C)
Consumer electronics	0 to 60
Computers	15 to 60
Telecommunications	-40 to 85
Commercial aircraft	-55 to 95
Military aircraft	-55 to 125
Space	-40 to 85
Automotive - Passenger compartment	-55 to 65
Automotive - Under the hood	-55 to 150

Basically, the solder material interacts with copper and ceramics under specific thermal stress and current flow. This combination of loads certainly causes a fatigue load over the joint which eventually may produce residual deformation, and eventually fracture. To prevent such failures, epoxy encapsulation may be used to prolong the thermal fatigue up to 200 times than the non-encapsulated joints [4].

For over 50 years, the eutectic tin-lead (SnPb) solder was used due to its unique combination of outstanding properties and reliability. Although lead is economically suitable, it was found to be hazardous for humans. Lead may interfere with the reproductive and cardiovascular systems amongst others [5]. Therefore, in 2002 the European Parliament released the Restriction of Hazardous Substances Directive (RoHS) regarding the usage restriction of lead in electrical and electronic equipment [6]. This regulation document was upgraded in 2011 [7] with more specific percentages per weight and some exceptions. RoHS did not only affect European industries, but also the market from China, Japan, South Korea, Turkey and the United States of America. As the deadline to apply such restriction in 2006 was closer, thin-silver-copper (SnAgCu) or simply called SAC solders was discovered to be one of

the most promising replacement for the eutectic SnPb solder [8]. Philips presented their first results testing SAC405 (Ag 4%; Cu 0.5%) in 2004. They faced some issues due to solder pre-heat time that damaged the plastic housing of electro/magnetic components. Furthermore, it was proposed, that the design rule changes regarding round pad dimensions [9]. In short, any solder material further discovered must meet precise characteristics for a high performance and long lasting of electronic devices.

### 1.2 Creep

Creep is defined as the time-dependent plastic strain at constant stress above the melting temperature ( $T_m$ ) [10]. Creep comprises three stages: primary, secondary and tertiary (see Figure 2, [10]). Along the primary stage (strain-hardening), the strain rate decreases, as hardening of the metal becomes more difficult. During the secondary stage, the strain rate is constant, this is usually called steady-state (SS) creep rate ( $\dot{\epsilon}_{SS}$ ). Finally, in the tertiary stage the strain rate rises exponentially and eventually leads to a material fracture [11].

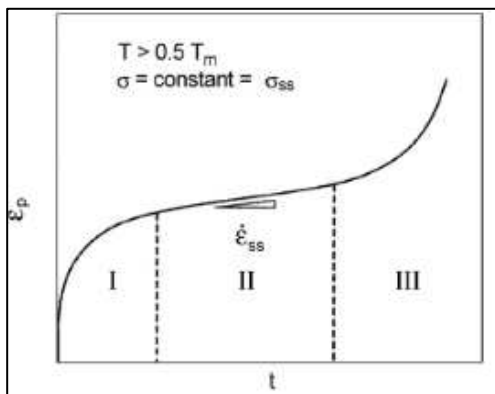


Figure 2. Constant true stress and constant strain rate creep behavior.

#### 1.2.1 The Power Law model

Creep during the secondary state exhibits a direct proportion to temperature and stress. Thus, basic power law (also known as Norton’s Law) can be expressed as follows:

$$\dot{\epsilon}_{SS} = B\sigma^n \quad (1)$$

where  $B$  is a temperature-dependent material parameter and  $n$  is the stress exponent. Through mathematical modelling, Ahmad et al. [12] expanded (1) into  $\dot{\epsilon}^c = A\sigma^n T^p$  where  $A$  and  $p$  are both characteristic constants of the material. Additionally, Brown and Ashby [13] suggests a strong logarithmic relation between Dorn constant ( $A$ ) and the exponent  $n$ . Parameter  $n$  from (1) is 4 to 5 for pure metals (for that reason called “five” power law). It is also associated with dislocation creep ( $n = 4-5$ ) and purely diffusive creep ( $n = 1$ ) [14]. From power law, multiple equations have been derived using several parameters that belong to the material of interest.

#### 1.2.2 Diffusive creep

In terms of microstructure, lattice plane contains at least three nonlinear lattice points. Diffusional creep involves changes in lattice planes that consequently affect vacancies [15]. According to the research done by Mesarovic [16], depending on the temperature and stress level, several micro-mechanisms of creep can be distinguished (see Table 2).

Table 2. Micro-mechanism of Creep [10-13].

Creep	Description
Nabarro–Herring [10–12]	Diffusion of vacancies through the crystalline lattice and complementary diffusion of atoms through the vacancy–atom exchange mechanism, leads to the creation of new lattice layers on some boundaries and disappearance of lattice layers on other boundaries.
Coble [12, 13]	Diffusion of vacancies/atoms along grain boundaries with the same outcome: lattice growth/disappearance.
Dislocation	Vacancy diffusion enables dislocation climb and glide.

#### 1.2.3 Harper-Dorn Creep

In 1957 Harper and Dorn [21] suggested a new model for materials subjected to low-stresses. Harper and Dorn found that the steady-state creep rate increased linearly with the applied stress. After several experiments on aluminum, equation (2) was proposed [22].

Harper-Dorn formal model:

$$\dot{\epsilon}_{SS} = A_{HD} \left( \frac{D_1 G b}{kT} \right) \left( \frac{\sigma}{G} \right)^1 \quad (2)$$

where  $D_1$  is the diffusion coefficient for lattice self-diffusion,  $G$  is the shear modulus,  $b$  is the Burger’s vector,  $k$  is Boltzmann’s constant,  $T$  is the absolute temperature,  $\sigma$  is the applied stress, and  $A_{HD}$  is a dimensionless constant of the order of 10-11. The early results of Harper-Dorn model was lately confirmed with test in pure aluminum by Barrett et al. [23] and Mohamed et al. [24].

## 2 METHODOLOGY

The following case study compares the equivalent creep strain and stress of three lead free solders with the eutectic thin-lead solder. The modelled 2-D cross section shown in Figure 3 comprises part of a FC assembly where the housing material of the electronic component is assumed to be ceramic as suggested by MSC software’s User Guide [25].

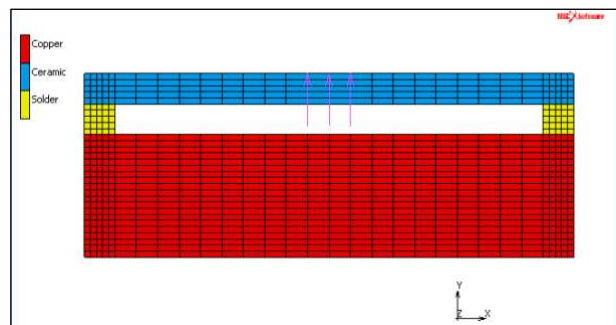


Figure 3. Structural setup and materials description of the sample.

The software package used to run the simulations was MARC Mentat, where within the viscoplasticity properties, there are two options to process creep analysis: Power Law and Anand Model. Since Anand model implies more parameters, this method was chosen to have more accurate results.

### 2.1 Anand Model

In 1982 Anand [26] proposed two evolution equations from the flow equation (3) based on earlier theories suggested by Lee and Zaverl [27]. The main purpose of this research was a better analysis deformation of metals at elevated temperatures above  $0.5 \times T_m$  (melting temperature). However, in 1985, after considering the second tensor (4) as another parameter which characterize the plastic state of a material, (5) and (6) where finally proposed [28].

Flow equation:

$$\dot{\epsilon}_p = A \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \left(\sinh\left(\xi \frac{\sigma}{s}\right)\right)^{1/m} \quad (3)$$

where,

A: Pre-exponential factor.

Q: Activation energy.

R: Boltzmann constant.

$\xi$ : Multiplier of stress.

s: Deformation resistance.

m: Strain rate sensitivity of stress.

Second tensor equation:

$$B = 1 - \frac{s}{s^*} \quad (4)$$

where,

$s^*$ : Saturation resistance.

Evolution equations:

$$\dot{s} = \{h_0 |B|^a \text{sgn}(B)\} \dot{\epsilon}_p \quad (5)$$

$$s^* = \hat{s} \left(\frac{\dot{\epsilon}_p}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)\right)^n \quad (6)$$

where,

$h_0$ : Hardening constant.

a: Strain rate sensitivity of hardening.

$\hat{s}$ : Deformation resistance saturation coefficient.

n: Strain rate sensitivity of saturation.

To summarize, Anand model involves nine material parameters: A, Q,  $\xi$ , m,  $h_0$ ,  $\hat{s}$ , n, m and  $s_0$ , which is the initial value of the deformation resistance needed to determine the evolution of the deformation resistance. All those values can be determined following Brown's procedure [29] who suggest at least two sets of three strain rate jump tests performed at different temperatures. However, this research takes all Anand's values from characterizations and previous studies.

### 2.2 Material Properties

As this research describes creep behavior using Anand Model, viscoplastic properties must be established. Table 3 details the parameters for the eutectic SnPb solder as well as for the three lead-free solders of interest. It should be mentioned that most of the authors do not tabulate the

activation energy, but they were computed using the Boltzmann constant.

Table 3 enumerates the thermomechanical properties of the materials graphically described in Figure 3. Before entering the values to the simulation software, all units must work in the same metric prefix in terms of stress (MPa).

Table 3. Material parameters for Anand model.

Description	Sn3.5Ag[30]	SAC 305[31]	SAC 387[32]	SnPb[25]
$s_0$ (MPa)	0.65	21	37.1	56.33
A ( $s^{-1}$ )	344.716	3 501	65.92	$1.49 \cdot 10^7$
$\xi$	3	4	8	11
m	0.143	0.25	0.346	0.303
$h_0$ (MPa)	23 241	180 000	86 442.8	2 640.75
$\hat{s}$ (MPa)	26	30.2	80.8	80.42
n	0.0447	0.01	0.0002	0.0231
a	1.46	1.78	1.29	1.34
Q ( $J \cdot mol^{-1}$ )	54 364	77 490.78	55 307.8	90 040

Additionally, Table 4 not only describes thermomechanical properties needed for the Anand modelling, but also the melting temperature of each solder material. Indeed, the eutectic SnPb clearly shows the lowest temperature amongst the solder materials.

Table 4. Thermomechanical properties.

Material	T range (°C)	E (GPa)	$\nu$	$\alpha$ (ppm/°C)	$T_m$ (°C)
Sn3.5Ag [33]	20 – 150	48 – 25	0.40	20.2 – 21.7	221
SAC 305 [34]	25 – 125	90 – 38	0.42	16 – 22.4	217
SAC 387 [35]	20 – 100	46 – 35	0.40	17.6	217
SnPb [36]	25 – 125	22 – 12	0.40	21	183
Cu [4, 9]	–	1.3	0.34	17	1084
Ceramic [25]	–	0.375	0.22	5.36	–

### 2.3 Load case

The center of the ceramic part (see Figure 4) was subjected to a vibration load with a minimum displacement of 0.5 (mm) in the vertical axis (y). Figure 5 describes the load which consists of a sinusoidal oscillation of four cycles running for one-hundred and twenty seconds (120 s).

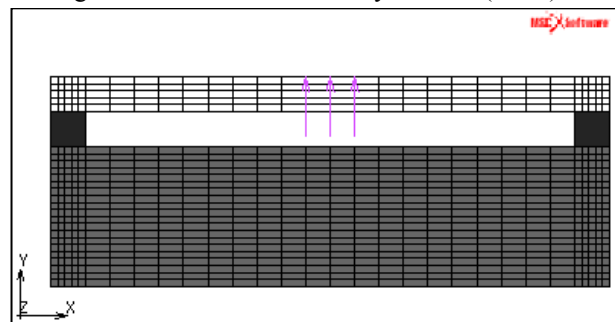


Figure 4. Vibration load's location.

Simultaneously, a thermal load which changes the temperature of the entire sample from 0 to 125 (°C) is also applied describing two cycles (see Figure 6).

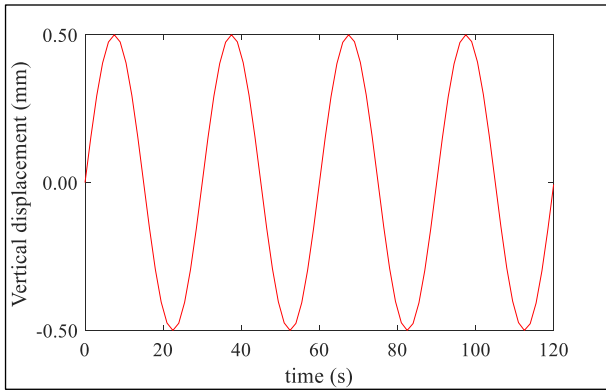


Figure 5. Sinusoidal Structural Loading vs Time.

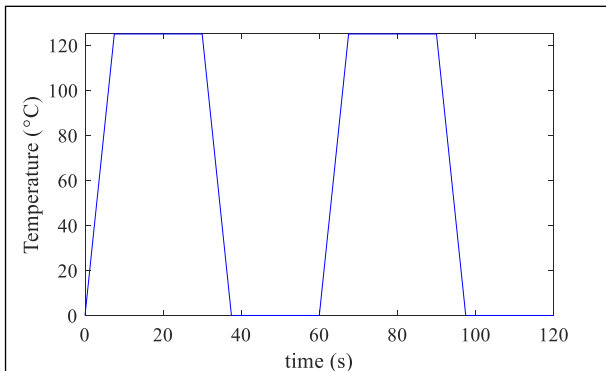


Figure 6. Thermal load Temperature vs Time.

#### 2.4 Boundary conditions

As the vibration load case mainly result in displacement, the bottom part of the copper layer must be totally fixed. Thus, restriction regarding displacement and rotation in all the three axes where applied to the bottom part of the sample (see Figure 7).

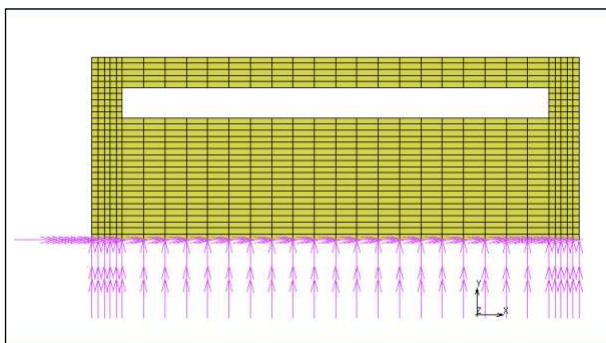


Figure 7. Bottom constraints.

The cross section graphically described in Figure 3 is only part of an entire FC assembly. However, it could be either in the side or in the middle.

To obtain the critical values, it was assumed to be in the middle. Thus, displacement restriction in the horizontal axis ( $x$ ) was applied to both side parts of the sample (see Figure 8).

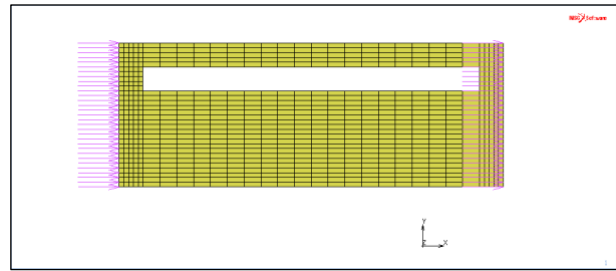


Figure 8. Periodical boundary condition.

#### 2.5 Point of analysis

As the main interest of this research is to determine the creep behavior of the solders, a middle inner point was selected to collect the data (see Figure 9). Basically, equivalent creep strain, total equivalent creep strain and total equivalent stress data were collected from the before described node.

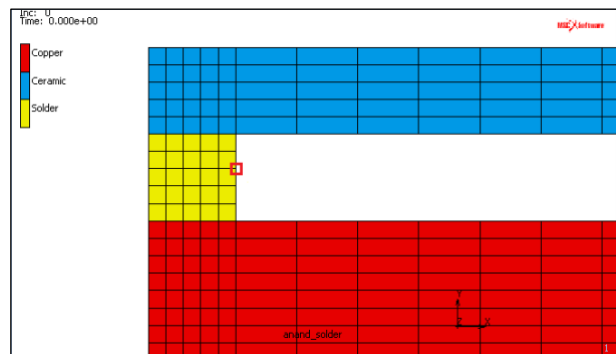


Figure 9. Point of analysis.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Although the load case remained stable for all the simulations and only viscoplastic parameters were changed, job parameters were set automatically by the program. When job parameters were adjusted to obtain 400 samples per node, the software was not able to run the simulation. This resulted in different data sets between 50 to 130 samples per node as summarized in Table 5.

Table 5. Samples per material.

Material	Number of samples
Sn3.5Ag	127
SAC 305	116
SAC 387	91
SnPb	54

After several simulations, Figure 10 reveals that the equivalent creep strain describes four cycles like the vibration load. However, only the first five semi-cycles present a slight constant difference between solders. For instance, during the sixth semi-cycle of the SnPb a crest was expected. Likewise, during the seventh semi-cycle, the Sn3.5Ag crest is not as high as the previous crest of the same solder.

Furthermore, Figure 11 shows the evolution of the total equivalent creep strain where after 120 sec., final values were as follow: SnPb  $0.23(s^{-1})$ , Sn3.5Ag  $0.18(s^{-1})$ , SAC305  $0.12(s^{-1})$  and SAC387  $0.14(s^{-1})$ . Evidently, SAC305 shows the minimum total equivalent creep strain, with nearly 48% less than the SnPb value. However, the three lead free

solders still describe a lesser total equivalent creep strain as compared to SnPb.

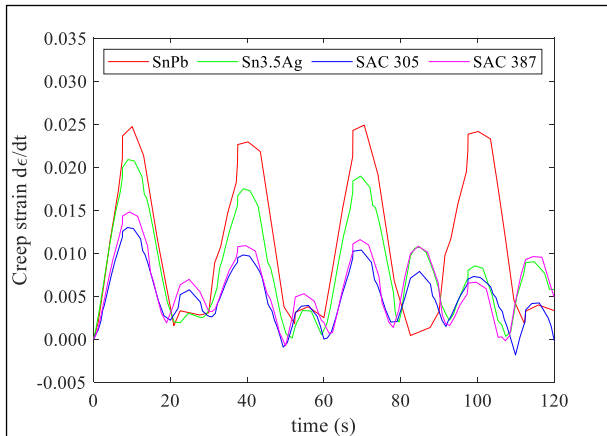


Figure 10. Equivalent Creep Strain - Comparison.

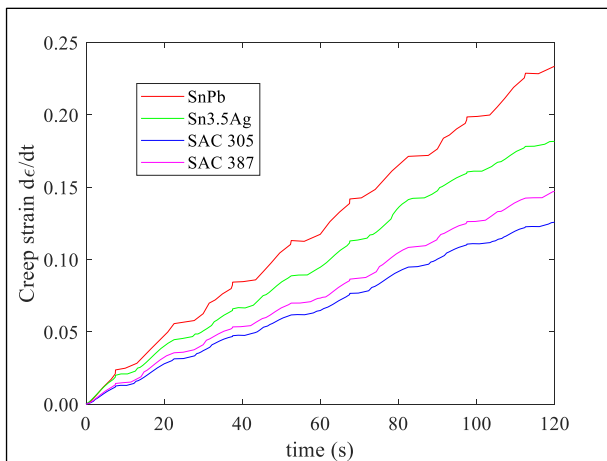


Figure 11. Total Equivalent Creep Strain - Comparison

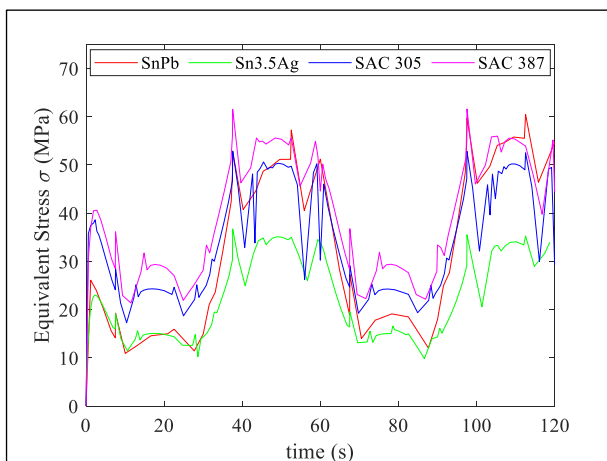


Figure 12. Total Equivalent Stress.

Unlike creep strain curves, Figure 12 describes only two cycles of oscillating stress. As the temperature increases the stress decreases in contrast with Figure 6. Moreover, Sn3.5Ag and SAC387 curves present the minimum and maximum values respectively along most of the graph.

Table 6 summarizes the average and maximum value of the equivalent creep strain as well as from the total

equivalent stress. Certainly, SAC305 shows the minimum average creep strain ( $4.8 \times 10^{-3}$ ) whereas SnPb shows the maximum average value ( $12.1 \times 10^{-3}$ ). On the other hand, regarding total equivalent stress, Sn3.5Ag shows the minimum average value (19.70 MPa) whereas SAC 387 shows the maximum average value (39.38 MPa).

Table 6. Main values of equivalent creep and stress.

		SnPb	Sn3.5Ag	SAC305	SAC387
Creep ( $\times 10^{-3}$ )	Max	24.9	20.9	13.0	14.8
	Av	12.1	7.03	4.80	5.64
Stress (MPa)	Max	60.46	36.72	52.87	61.57
	Av	33.57	19.70	34.66	39.98

#### 4 CONCLUSIONS

Creep strain rate is a complex time-dependent mechanical behavior that must be considered for a proper constant functioning of electronic boards. The eutectic solder material, SnPb has a low melting temperature which is favorable for manufacturing electronic PCB and has been proven to be long lasting. However, new lead-free compositions are replacing the eutectic SnPb solder due to new international regulations. The yield of unleaded solders under thermomechanical loads must be discussed to guarantee a correct long-lasting efficient work and then replace the leaded solders.

Through a simulation, a sample was subjected to cyclic mechanical and thermal loads. On one hand the thermal load presented two entire cycles whereas, the vibration load oscillated four times.

From the equivalent creep strain comparison, it is evident that the mechanical load governs the creep behavior rather than the thermal load. From the results in terms of total equivalent creep strain, unleaded solders clearly present a favorable value with nearly fifty percent less than the eutectic solder. Certainly, SAC305 and SAC387 seem to have a high similarity regarding thermomechanical properties. However, the total equivalent creep strain of SAC305 is lesser than SAC387 with a final total equivalent creep strain of  $0.12 \text{ (s}^{-1}\text{)}$  and  $0.14 \text{ (s}^{-1}\text{)}$  respectively.

On the other hand, the total equivalent stress graph correlates the thermal load displaying two cycles. Regarding the total equivalent stress, Sn3.5Ag presents the minimum values, whereas SAC 387 presents the maximum. Indeed, the curve described by the eutectic solder is not highly different from the SAC solders. Additionally, the average stress of the eutectic solder is slightly lesser than the SAC305 and SAC387.

To sum up, lead free solder materials manifest better creep strain rates under thermomechanical loads in comparison with eutectic SnPb solder. Yet, further analysis should be carried out to determine which one presents a better yield in another time dependent variable and still present an acceptable creep behavior.

#### REFERENCES

- [1] D. Charles, "Electrical apparatus and method of manufacturing the same," 01-Dec-1925.
- [2] G. O'Malley, J. Giesler, and S. Machuga, "The importance of material selection for flip chip on board assemblies," *IEEE Trans. Compon., Packag. Manuf. Technol. Part B*, vol. 17, no. 3, pp. 248–255, 1994.



- [3] D. R. Frear, S. N. Burchett, H. S. Morgan, and J. H. Lau, *Mechanics of solder alloy interconnects*. Springer Science & Business Media, 1994.
- [4] Y. Tsukada, H. Nishimura, M. Sakane, and M. Ohnami, "Fatigue Life Analysis of Solder Joints in Flip Chip Bonding," *J. Electron. Packag.*, vol. 122, no. 3, p. 207, 2000.
- [5] D. S. Herman, M. Geraldine, C. C. Scott, and T. Venkatesh, "Health hazards by lead exposure: evaluation using ASV and XRF," *Toxicol. Ind. Health*, vol. 22, no. 6, pp. 249–254, Jul. 2006.
- [6] EUROPEAN PARLIAMENT; THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, "Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment," *Official Journal of the European Union*, 2003. .
- [7] EUROPEAN PARLIAMENT; THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, "DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast)," *Official Journal of the European Union*, 2011. .
- [8] S. Cheng, C. M. Huang, and M. Pecht, "A review of lead-free solders for electronics applications," *Microelectron. Reliab.*, vol. 75, pp. 77–95, 2017.
- [9] S. Yue, "Philips our experience in the introduction of leadfree soldering," in 2004 International IEEE Conference on the Asian Green Electronics (AGEC). Proceedings of, pp. 18–25.
- [10] M. E. Kassner, *Fundamentals of Creep in Metals and Alloys*. Elsevier, 2015.
- [11] G. Dieter, "Mechanical Metallurgy." p. 615, 1961.
- [12] M. I. M. Ahmad, J. L. Curiel Sosa, and J. A. Rongong, "Characterisation of creep behaviour using the power law model in copper alloy," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 2503–2510, Mar. 2017.
- [13] A. M. Brown and M. F. Ashby, "On the power-law creep equation," *Scr. Metall.*, vol. 14, no. 12, pp. 1297–1302, Dec. 1980.
- [14] S. Spigarelli, "Creep of Aluminium and Aluminium Alloys," *Talat*, p. 26, 1999.
- [15] C. Kittel, *Introduction to solid state physics*, vol. 8. Wiley New York, 1976.
- [16] S. D. Mesarovic, "Lattice continuum and diffusional creep," *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 472, no. 2188, 2016.
- [17] F. R. N. Nabarro, "Report of a Conference on the Strength of Solids," *Phys. Soc. London*, vol. 75, 1948.
- [18] C. Herring, "Diffusional viscosity of a polycrystalline solid," *J. Appl. Phys.*, vol. 21, no. 5, pp. 437–445, 1950.
- [19] G. FANTOZZI, J. CHEVALIER, C. OLAGNON, and J. L. CHERMANT, "Creep of Ceramic Matrix Composites," in *Comprehensive Composite Materials*, Elsevier, 2000, pp. 115–162.
- [20] R. L. Coble, "A model for boundary diffusion controlled creep in polycrystalline materials," *J. Appl. Phys.*, vol. 34, no. 6, pp. 1679–1682, 1963.
- [21] J. Harper and J. E. Dorn, "Viscous creep of aluminum near its melting temperature," *Acta Metall.*, vol. 5, no. 11, pp. 654–665, 1957.
- [22] P. Yavari, D. A. Miller, and T. G. Langdon, "An investigation of harper-dorn creep—I. Mechanical and microstructural characteristics," *Acta Metall.*, vol. 30, no. 4, pp. 871–879, Apr. 1982.
- [23] C. R. Barrett, E. C. Muehleisen, and W. D. Nix, "High temperature-low stress creep of Al and Al+ 0.5% Fe," *Mater. Sci. Eng.*, vol. 10, pp. 33–42, 1972.
- [24] F. A. Mohamed, K. L. Murty, and J. W. Morris, "Harper-dorn creep in al, pb, and sn," *Metall. Trans.*, vol. 4, no. 4, pp. 935–940, 1973.
- [25] MSC Software Corporation, *Theory and User Information*. 2018.
- [26] L. Anand, "Constitutive Equations for the Rate-Dependent Deformation of Metals at Elevated Temperatures," *J. Eng. Mater. Technol.*, vol. 104, no. 1, p. 12, 1982.
- [27] D. Lee and F. Zaverl Jr, "A generalized strain rate dependent constitutive equation for anisotropic metals," *Acta Metall.*, vol. 26, no. 11, pp. 1771–1780, 1978.
- [28] L. Anand, "Constitutive equations for hot-working of metals," *Int. J. Plast.*, vol. 1, no. 3, pp. 213–231, 1985.
- [29] S. B. Brown, "An Internal Variable Constitutive Model for the Thixotropic Behavior of Metal Semi-Solid Slurries," *Materials Science Seminar on Intelligent Processing of Materials*, vol. 5. pp. 95–130, 1989.
- [30] N. Bai, X. Chen, and H. Gao, "Simulation of uniaxial tensile properties for lead-free solders with modified Anand model," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 1, pp. 122–128, 2009.
- [31] M. Basit, M. Motalab, J. C. Suhling, and P. Lall, "Viscoplastic Constitutive Model for Lead-Free Solder Including Effects of Silver Content, Solidification Profile, and Severe Aging," in *Volume 2: Advanced Electronics and Photonics, Packaging Materials and Processing; Advanced Electronics and Photonics: Packaging, Interconnect and Reliability; Fundamentals of Thermal and Fluid Transport in Nano, Micro, and Mini Scales*, 2015, p. V002T01A002.
- [32] J. H. L. Pang, *Lead Free Solder*, vol. 9781461404. New York, NY: Springer New York, 2012.
- [33] National Institute of Standards and Technology (NIST), "Sn-Ag Properties and Creep Data." [Online]. Available: [https://www.metallurgy.nist.gov/solder/clech/Sn-Ag\\_Other.htm#Poisson](https://www.metallurgy.nist.gov/solder/clech/Sn-Ag_Other.htm#Poisson).
- [34] T. T. Nguyen, D. Yu, and S. B. Park, "Characterizing the mechanical properties of actual SAC105, SAC305, and SAC405 solder joints by digital image correlation," *J. Electron. Mater.*, vol. 40, no. 6, pp. 1409–1415, 2011.
- [35] National Institute of Standards and Technology (NIST), "Sn-Ag-Cu Properties and Creep Data." [Online]. Available: [https://www.metallurgy.nist.gov/solder/clech/Sn-Ag-Cu\\_Other.htm](https://www.metallurgy.nist.gov/solder/clech/Sn-Ag-Cu_Other.htm).
- [36] Q. J. Yang, X. Q. Shi, Z. P. Wang, and Z. F. Shi, "Finite-element analysis of a PBGA assembly under isothermal/mechanical twisting loading," *Finite Elem. Anal. Des.*, vol. 39, no. 9, pp. 819–833, 2003.
- [37] J. R. Davis, "ASM specialty handbook," *Stainl. Steel*, vol. 10, 1994.

# Gépi tanulás alkalmazási lehetőségei hibadetektálásra belsőégésű motorok összeszerelésénél

## Machine Learning Applications for Fault Detection in Internal Combustion Engine Assembly

Szűcs Balázs

Széchenyi István Egyetem, Győr, Magyarország  
szucsbalazs90@gmail.com

**Összefoglalás** — A gépi tanulás manapság egyre nagyobb teret hódít a hétköznapi életben. Az egészségügyi alkalmazásokon át, gépi látásban, ajánló rendszerekben, különböző virtuális asszisztensekben, beszédfelismerő, beszédszintetizáló, fordító alkalmazásokban, valamint a leghétköznapibb dolgokban is találkozhatunk gépi tanulás és mesterséges intelligencia algoritmusokkal. A mindennapi alkalmazásokon túl egyre nagyobb hangsúly kerül az ipari felhasználásra. A kutatás-fejlesztésben, az anyagtudományban, robotikában, illetve az Ipar 4.0 terjedésének és a digitalizációnak köszönhetően a gyártásban is egyre több gépi tanulásra épülő rendszer kerül bevezetésre. A különböző érzékelők, mérőátalakítók és mérőberendezések által előállított nagy adathalmaz kiváló kiindulási alapot biztosít a berendezések és termékjellemzők vizsgálatára, nem ismert összefüggések feltárására. A tanulmányban példákon keresztül bemutatásra kerülnek a mesterséges intelligencia algoritmusok lehetséges felhasználási módjai gyártásban, valamint egy hibadetektálási eljárás, melynek következtében a motorszerelde termelékenysége növelhető, illetve a kritikus szerelési hibák elkerülhetőek. A belsőégésű motorok főtengelyeinek átfogatási nyomaték méréseit mesterséges intelligencia algoritmussal elemezve nem ismert összefüggések kerültek feltárásra, melyek alapján az összeszerelési folyamat korai szakaszában detektálható az idegen anyag jelenléte a csapágyakon és a főtengelycsapokon. A hiba korai felismerésével elkerülhető válik az utómunkázandó motorok felesleges továbbépítése.

**Kulcsszavak:** gépi tanulás, mesterséges intelligencia, neurális hálózatok, belsőégésű motor, hibadetektálás, digitalizáció, Big Data, ipar 4.0, gyártás, gyártásoptimalizálás, minőségbiztosítás

**Abstract** — Nowadays the machine learning algorithms gains more and more ground in everyday life. Through healthcare applications, machine vision, recommendation systems, various virtual assistants, speech recognition systems, speech synthesizers, translator applications and even in the most common things we can encounter machine learning and artificial intelligence algorithms. In addition to everyday usage, an increasing emphasis is placed on industrial use. In the field of research and development, materials science, robotics and thanks to the spread of Industry 4.0 and digitalization, more and more machine learning based systems are being introduced in production. The large

dataset produced by various sensors, measuring transducers and measuring devices provides an excellent starting point for examining equipment and product features, and to find any unknown connections between features. This paper gives examples of possible ways of using machine learning algorithms in manufacturing, as well as an error detection method, which can lead to increased production rate and avoid critical assembly errors. Measurements of the crankshafts turning torque of internal combustion engines and inspection them by machine learning algorithm revealed unknown correlations that allow the foreign material to be detected on the bearings and the crankshafts at an early stage of the assembly process, thus unnecessary further work can be avoided.

**Keywords:** machine learning, artificial intelligence, neural networks, internal combustion engine, fault detection, digitalization, Big Data, Industry 4.0, manufacturing, manufacturing optimization, quality assurance

### 1 BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb hangsúly kerül a különböző gépi tanulási algoritmusokra és számítási intelligencia megoldásokra épülő eszközökre és szolgáltatásokra. Az internet széleskörű elterjedésének, a közösségi platformok népszerűségének és az egyéb online szolgáltatásoknak hála rengeteg adat áll a rendelkezésünkre, melyek a mesterséges intelligencia algoritmusok fejlesztéséhez és tanításához elengedhetetlen. Ennek következtében elsősorban az online világban, valamint a szórakoztató és fogyasztói elektronikai eszközökben terjednek ezek a megoldások a leggyorsabban. Az Ipar 4.0 terjedésének köszönhetően azonban egyre nagyobb lehetőségek tárulnak fel a mesterséges intelligencia (MI) ipari felhasználására is. A terepi szinttől a vállalatirányítási rendszerekig egyre több és több eszköz kapcsolódik vállalati hálózatokhoz. Az IoT (*Internet of Things, a dolgok internete*) eszközök, különböző mérőberendezések és szenzorok a nap huszonnégy órájában generálják az adatokat, és az így létrejövő adathalmaz, egy úgy nevezett *Data Lake* kiváló alapot kínál az MI módszerekkel való kísérletezésre.

A belső égésű motorok és különböző alkotó elemeinek gyártása, valamint összeszerelése során rengeteg mérési adat keletkezik. A mérési eredmények kiértékelése és

ellenőrzése elengedhetetlen a szigorú gyártási és minőségi előírások betartásához. Az autógyártásban a sorozatgyártás természete miatt, valamint a törvényi előírásoknak köszönhetően több évre visszamenőleg, hatalmas mennyiségben állnak rendelkezésre a különféle mérési és egyéb adatok, feljegyzések.

A munkámban a gyártási folyamat során keletkezett nagy adathalmazra épülő, az iparban lehetségesen használható módszerek felkutatására és gyakorlati alkalmazására összpontosítottam, különös tekintettel a főtengelyek átforgatási nyomatékok és a csapágykarral járó motorhibák közötti lehetséges összefüggések feltárására. A cikkben tehát az adott kérdéskörben alkalmazott módszerek, illetve eredmények kerülnek bemutatásra.

## 2 ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben a felhasznált adatok, az adatok előfeldolgozása, a fejlesztői környezet és az alkalmazott gépi tanulási módszerek kerülnek bemutatásra, mint a **K-átlag**, **főkomponens analízis (PCA)**, **lineáris diszkriminancia-analízis (LDA)**, **DBSCAN** és az **LSTM neurális hálózatok**. A k-átlag, a PCA, az LDA és a DBSCAN a felügyelet nélküli gépi tanulási módszerek közé tartozik, melyeket elsősorban adatbányászatra használnak, az LSTM pedig használható felügyelet és felügyelet nélküli tanulásra is.

A felsorolt módszerek, eredményeik és egymásra épülésük a 3. fejezetben kerülnek bemutatásra.

### 2.1 A fejlesztői környezet

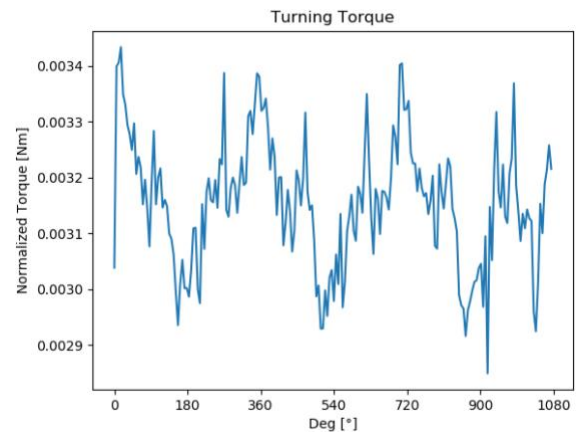
Az adatok előfeldolgozására és az algoritmusok implementálására egyaránt a gépi tanulásban egyre nagyobb népszerűséget örvendő programnyelvet, a Python 3.6.6-os verzióját használtam. Az adatok formázására, előfeldolgozására és megjelenítésére a numpy [1], a pandas [2] és a matplotlib.pyplot [3] modulokat, illetve a gépi tanulásra és a klaszterezésre a scikit-learn 0.20.0 [4] és a TensorFlow 1.12 [5] csomagokat hívtam segítségül.

### 2.2 A felhasznált adatok

Munkám során egy motorszerelde terepi méréseit és egyéb reklamációs, valamint minőségbiztosítási feljegyzéseit elemeztem és értékeltem ki a gépi tanulási módszerek segítségével.

A gyártási folyamat egy szakaszában a motorblokkba beépítésre kerülnek a főtengelycsapágyak, a főtengely, a hatókarok, hajtókarcsapágyak, dugattyúk és egyéb alkatrészek, tömitések. A szerelési folyamat végétől egy automata mérőberendezés száz százalékban megméri az elkészült motorokban a főtengelyek átforgatási nyomatékát. A mérés során a berendezés rákapcsolódik a főtengelyre és egy villamos motor segítségével megforgatja azt. Forgatás közben a villamos motor áramfelvételéből kiszámítja az egyes szöghelyzetekhez tartozó nyomatékértékeket. A mérés közben három teljes körbefordulás során, 5,4 fokként, összesen kétszáz ponton kerülnek az adatok tárolásra. A mérőberendezés csak azt vizsgálja, hogy a nyomaték a mérés során egy minimum-maximum toleranciaablakon belül maradjon, a görbe lefutásából, jellegéből nem von le következtetést. A mérés során a szöghelyzet-nyomaték párokon túl tárolásra kerül a motor egyedi azonosítószáma, a mérés időpontja, a mérőprogram száma, a mérésre vonatkozó diagnosztikai adatok és a mérés kimenetelének eredménye.

A kutatáshoz a 2016-os és, egy adott motortípushoz tartozó mérési eredményeit használtam fel. Az előfeldolgozás után összesen **141 351 mérés** került kiértékelésre. Egy tipikus átforgatási nyomaték mérés eredménye az 1. ábrán látható.



1. ábra: Tipikus átforgatási nyomaték görbe

### 2.3 Az adatok előfeldolgozása

Az adatok előfeldolgozása során szükség volt az ismétlődő adatok, a hiányos és hibás bejegyzések eltávolítására, valamint a táblázatok megfelelő formára hozására [6]. Az adatok vizsgálata során csak a „jó” eredményű mérésekkel folytattam a munkát, tehát a mérések azon halmazát vizsgáltam, mely tartalmazza ellenőrzésen potenciálisan túljutó hibás motorokat.

Az előfeldolgozás során az adatok normalizálására [7][8] is kerültek. A 200 dimenziós bemeneti vektorokat egyenként egységnyi normájúvá skáláztam a scikit-learn és az L2-norma segítségével.

### 2.4 K-átlag

Az adatokban fellelhető mintázatok, csoportok felderítésére a K-átlag algoritmust egy továbbfejlesztett változatát, a k-átlag++ algoritmust használtam [9]. A k-átlag úgy osztályozza a mintákat, hogy azokat C különálló csoportba sorolja úgy, hogy a klaszteren belüli távolságok négyzetösszegét, az úgynevezett tehetetlenséget minimalizálja:

$$\sum_{i=0}^n \min_{\mu_j \in C} (\|x_i - \mu_j\|^2) \quad (1)$$

Minden klasztert az átlagos  $\mu_j$  jellemezi, melyet centroidnak hívnak. A tehetetlenség, melyet szokás inercianak is nevezni, egy nem normalizált mérték: csak azt tudjuk, hogy az alacsonyabb értékek jobbák és a nulla az optimális. Ezt kihasználva határoztam meg az adatokban fellelhető és elkülöníthető csoportok ideális számát. Iteratív módon növeltem a feltételezett csoportközéppontok számát, majd minden egyes lépésben az algoritmus kiszámolta a teljes mintára vonatkozó inerciát. Addig növeltem a csoportok számát, míg az inercia nem teljesítette azt a kritériumot, hogy egy újabb csoport hozzáadása esetén számottevően már nem csökken az inercia értéke.

Fontos megjegyezni, hogy nagyon magas dimenziójú terekben az euklideszi távolságok inkább felfűjődnek (ez az úgynevezett „dimenziós átok”). Egy dimenziócsökkentő algoritmus, például a PCA futtatása a k-átlag algoritmus

előtt enyhítheti ezt a problémát, valamint felgyorsíthatja az algoritmus futását.

### 2.5 PCA

A gépi tanulásban és adatbányászatban a dimenziócsökkentés és információ kinyerés egyik lehetséges módja a PCA (Principal Component Analysis).

A PCA vagy főkomponens analízis [10] egy többváltozós statisztikai eljárás. A PCA lényege, hogy egy nagy adathalmazt, melynek változói kölcsönös kapcsolatban állnak egymással, dimenzióit lecsökkente, miközben az adathalmaz varianciáját a lehető legjobban megtartja. A dimenziócsökkentést úgy hajtja végre, hogy egy ortogonális transzformáció segítségével az adathalmaz lehetségesen korreláltható változóit lineárisan korrelálatlan változók értékészletévé alakítja át. Ezeket a komponenseket főkomponenseknek nevezünk. A főkomponensek száma kisebb vagy egyenlő az eredeti változók számával.

Az adatok gyorsabb feldolgozásához és egyszerű ábrázolásához a PCA-t alkalmaztam, mint dimenziócsökkentő eljárás. A 200 dimenziós vektorokból 2 dimenziós vektorokat készítettem úgy, hogy a két legnagyobb varianciájú főkomponenst tartottam meg. Ezeket az adatpárokat aztán egy pontdiagramon ábrázoltam, illetve segítségükkel meghatároztam a klaszterek ideális számát.

A pontdiagramon egyes egyedek jellegzetes eltérést mutattak az átlagos mintákhoz képest. Ezek a pontok a csoportjaik középpontjától távol, szórta helyezkednek el.

### 2.6 Lineáris diszkriminancia-analízis

A PCA egyik alternatívája, a vele közeli rokonságban álló lineáris diszkriminancia-analízis (LDA) [11]. Az LDA a független változók olyan lineáris kombinációját képes megtalálni, amely a függő változó alapján kialakított csoportokat a lehető legjobban megkülönbözteti.

Az LDA a diszkriminálásnak köszönhetően a térben jobban elkülöníti az egyes pontokat, ezért az adatok ábrázolásánál az alkalmazása célszerűbb lehet, mint a PCA használata. A módszer segítségével pontosabban sikerült feltárni az egyes csoportokban rejlő szélsőséges egyedeket, melyek a későbbi vizsgálatok alapját képezik.

Az LDA első lépése a diszkrimináló függvény(ek) kiszámítása. A függvények száma úgy számítható ki, hogy a függő változó lehetséges kimeneteleinek száma -1 és a független változók számának a minimumát vesszük. A diszkrimináló függvény általános:

$$D_j = d_0 + d_{1j}x_1 + d_{2j}x_2 + \dots + D_{kj}x_k \quad (2)$$

ahol  $j$  az adott függvény sorszáma, az  $x_i$ -k a mért független változók,  $d_0$  konstans, a  $d_{ij}$  a  $x_i$  mért változók  $j$ -edik diszkrimináló függvényhez tartozó együtthatója. A függvény akkor optimális, ha a függő változó által meghatározott csoportok közötti külső négyzetösszeg és a csoportokon belüli négyzetösszeg hányadosa maximális. Az algoritmus hátránya, hogy szükséges megadni, hány csoportba kívánjuk az adataikat sorolni, ezért alkalmazása előtt szükséges felderíteni a mintában rejlő csoportokat, például a  $k$ -átlag és a könyök módszer segítségével.

Az LDA algoritmus a PCA-val együtt a scikit-learn csomagban került megvalósításra.

### 2.7 Szélsőséges egyedek vizsgálata

Az adatokban feltárt szélsőségek elemzése során arra lettem figyelmes, hogy a nyomatógörbék lefutása bizonyos esetekben jellegzetes képet mutat.

Mivel nagymennyiségű adattal dolgoztam a szélsőséges egyedek manuális szelektálása és vizsgálata rendkívül időigényes feladat lett volna, ezért szükségem volt egy megoldásra, amely segítségével automatikusan kiválogathattam a feltűnő egyedeket.

Az adatok gépi felcímkézésére a DBSCAN algoritmust választottam, a hibás egyedek detektálására pedig az LSTM neurális hálózatokat.

### 2.8 DBSCAN

A  $k$ -átlag, a PCA és az LDA algoritmusok eredményeinek a további vizsgálatához a gépi tanulásban az egyik legelterjedtebb klaszterező algoritmust, a DBSCAN-t használtam fel.

A DBSCAN, azaz a Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise [12] egy sűrűség alapú klaszterezési eljárás. A térbeli pontthalmazt a pontok egymáshoz viszonyított elhelyezkedésük (térbeli sűrűségük) alapján csoportosítja. A térben sűrűn elhelyezkedő, egymáshoz közeli pontokat egy klaszterbe sorolja, míg a térben ritkábban, a sokaságtól távol elhelyezkedő pontokat zajként osztályozza az algoritmus. Az eljárás egyik előnye, hogy nem szükséges megadni a keresett csoportok számát, csupán azt az epszilon távolság határértéket, mely az egyes csoportokon belül a pontok egymáshoz viszonyított maximális távolságát adja meg. Az epszilon megfelelő megválasztásával automatikusan zajként osztályozhatóak az anomáliát tartalmazó egyedek, melyek az osztályuk középpontjától távol, ritkábban helyezkednek el.

A  $k$ -átlag és az LDA algoritmusok által feltárt csoportokat egyenként vizsgáltam a DBSCAN segítségével. Az eljárás a scikit-learn csomagban implementálásra került, működésének részletes leírása Martin et. al [12] munkájában olvasható.

### 2.9 Long Short-Term Memory (LSTM) hálózat

A munkám során vizsgált adatoknak kevesebb, mint 2%-a tartalmaz jellegzetes anomáliát, ezért klasszikus neurális háló alapú osztályozáshoz nem áll rendelkezésre elegendő „rossz” példa. A hálózat, ha az összes rossz egyedet jónak osztályozná, akkor is 98%-os pontosságot érne el.

A dimenziócsökkentő és klaszterező eljárásokkal feltárt anomáliákat egy többretegű LSTM alapú idősor előrejelzéssel detektáltam [13]. A hálózatot csak a jó mintákkal tanítottam, így ha a bemenetere egy jó mintához tartozó idősort kapcsolunk, azt az algoritmus relatíve kis hibával, időben eltolva rekonstruálja azt kimenetén. A rossz mintákhoz tartozó idősorok esetén a rekonstrukciós hiba nagy lesz, így az eredeti és a rekonstruált minta közötti hibát kiszámítva a rossz egyedek detektálhatóak.

Az LSTM [14] vagy Long Short-Term Memory hálózat a rekurrens neurális hálózatok (RNN) egy típusa. Az LSTM hálózatok idősorok osztályozására, előrejelzésére és autoenkodernek használják.

Az LSTM elemi egysége valójában önmaga is egy többretegű neurális hálózat, egy továbbfejlesztett RNN. A módosítások elsődleges célja, hogy orvosolja az RNN-ek esetében fennálló, úgynevezett „eltűnő”, illetve „felrobbanó gradiens” problémát [15], mely a hálózatok

rekurrens jellegéből adódik. Az RNN hálózatok tanításakor a visszatérített hiba a belső visszacsatolások miatt exponenciálisan csökkenhet, illetve nőhet, ezért a hálózatok tanítása rendkívül időigényes lehet, bizonyos esetekben pedig nem is konvergál. Az RNN esetében szintén probléma, hogy a hosszabb távú függőségeket a hálózat nem tudja kezelni.

A probléma megoldására az LSTM egységekben bevezetésre került egy memória egység, mely szekvenciális tanuláskor a múltbéli események eltárolása miatt képes a hosszú távú függőségek megtanulására, illetve segítségével kezelhetővé vált a gradienssel kapcsolatos említett tanítási problémák is. A memóriaegység a bemeneti kapuja segítségével képes eldönteni, hogy a visszacsatolt információt hasznos-e és megtartsa, vagy törölje azt.

Az LSTM hálózatoknak az 1997-es bemutatása óta több továbbfejlesztett változata készült, munkám során viszont a TensorFlow-ban implementált eredeti hálózatot használtam. A hálózat működésének részletes leírása Sepp Hochreiter és Jürgen Schmidhuber munkájában [14] olvasható.

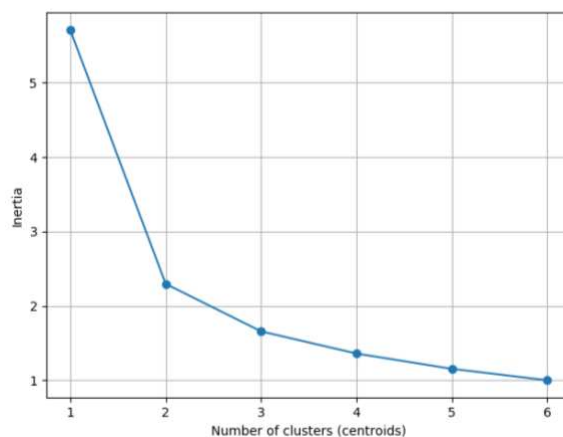
### 3 EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A harmadik fejezetben az általam felhasznált módszerek eredményei és értékelésük lépésről lépésre kerülnek bemutatásra. A nyers adatok csoportosításától, az anomáliák felfedezésén át jutunk el a hibás mérések detektálásáig. Az adatok tisztítására részletesen nem térek ki, az alkalmazott metodika a hivatkozott irodalomban [6] olvasható.

#### 3.1 Klaszterek számának meghatározása a PCA és a k-átlag algoritmus segítségével

A klaszterek számának meghatározása a 2.4 fejezetben bemutatott k-átlag algoritmussal és az úgynevezett könyök módszerrel történt. Az iteratív eljárás során az algoritmus az minden iterációs lépésben növelte a centroidok számát és a (1) kifejezést minimalizálta. A kifejezés értékének alakulása a klaszterszám függvényében 2. ábrán, értékei pedig az 1. táblázatban láthatóak.

Az 2. ábráról és az 1. táblázatból is leolvasható, hogy a harmadik centroid hozzáadása után a görbe meredeksége csökkenő tendenciát mutat. Ugyan az inercia egy mértékegység nélküli metrika, de az elmondható róla, hogy a nullához közeli értékek jobbakké. Célunk tehát minél jobban közelíteni a nulla értéket. Fontos viszont megjegyezni, hogy nem minden esetben célravezető a nulla körüli tehetetlenség elérése. Ha a minta nagy szórással rendelkezik (mint esetünkben), további centroidok hozzáadásával az inercia csökkenthető, ám a valóságban az történik, hogy minden egyes kilógó, szélsőséges egyedhez egy saját csoportot illesztünk.



2. ábra: Az inercia a centroidok függvényében

1. táblázat: a centroid-inercia értékpárok

Centroidok száma	1	2	3	4	5	6
Inercia	5.7099	2.2981	1.6593	1.3609	1.1554	1.0023

Gyakorlati alkalmazásokban tehát célszerű azt a klaszterszámot választani, mely felett az inercia csökkenésének mértéke már erőteljes lassulást mutat.

Az algoritmus gyorsabb futása és az adatok könnyebb ábrázolása érdekében a 2.5 fejezetben bemutatott PCA algoritmust használtam. A klaszterezés eredménye a 3. ábrán látható.

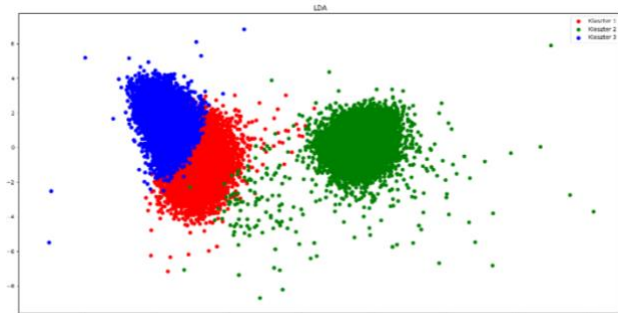


3. ábra: a PCA dimenziócsökkentés és a k-átlag klaszterezés eredménye

Az ábrázolás során a kétdimenziósra csökkentett minta értékpárjait jelenítettem meg. Az x tengelyen az első főkomponens, az y tengelyen pedig a második főkomponens került ábrázolásra, a koordináták dimenzió nélküliek. A 3. ábrából már sejthető, hogy az egyes csoportok szórása elég nagy is lehet, ezért a csoportok radikálisabb szétválasztásához az LDA eljárást alkalmaztam.

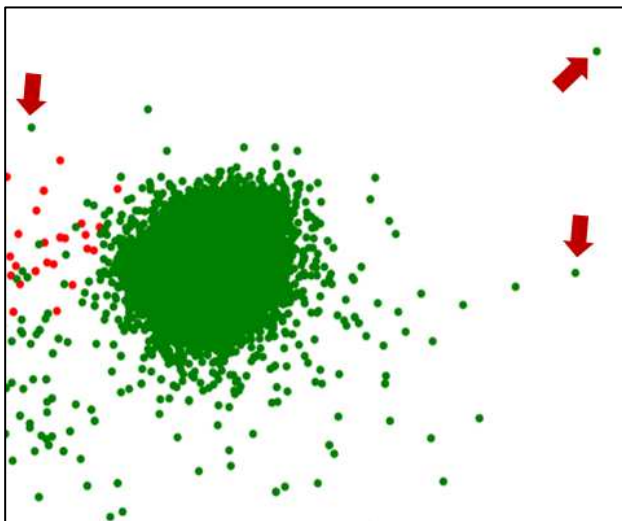
### 3.2 Klaszterek további vizsgálata LDA segítségével

Az LDA algoritmus egyik bemeneti paramétere a diszkriminálendő csoportok száma. Az előző fejezetben bemutatott alapján ezt a paramétert a mintában jelenlévő klaszterek száma alapján háromnak választottam. A lineáris diszkriminancia-analízis eredménye a 4. ábrán látható.



4. ábra: az LDA eredménye

Az LDA eredményének ábrázolása után az egyes csoportok szórása még szembetűnőbb. A csoportok vizsgálata során megállapítottam, hogy az adott motortípuson belüli három különálló csoport az azonos, de különböző beszállítók által gyártott, úgynevezett helyettesítő alkatrészeknek köszönhető. Ezen alkatrészek paraméterei minimálisan eltérőek lehetnek. A továbbiakban az a csoportjaik középpontjától távolabb elhelyezkedő egyedek (5. ábra) vizsgálatával folytattam a munkát.



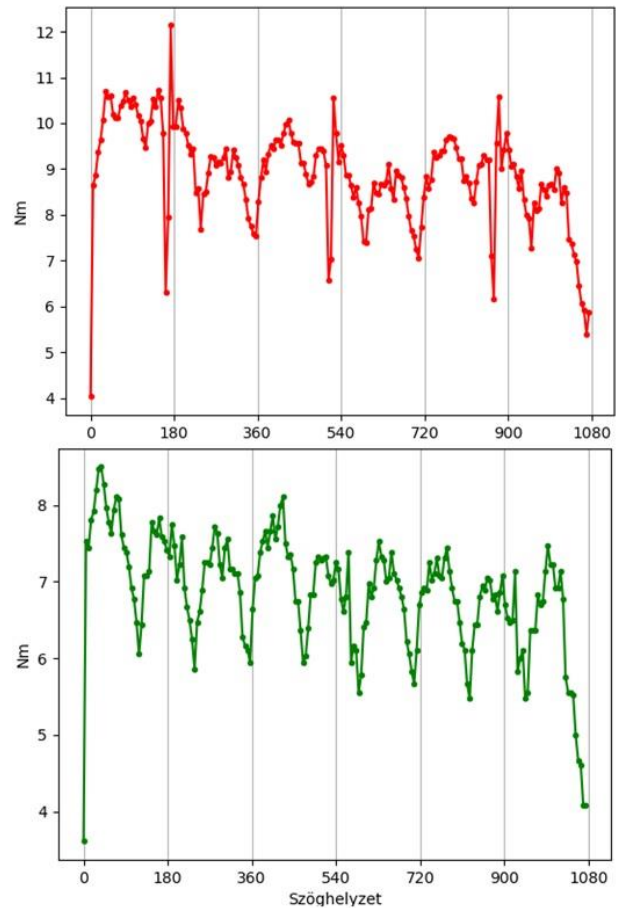
5. ábra: szélsőséges egyedek a mintában (piros nyílal jelölve a példák)

### 3.3 A szélsőséges egyedek vizsgálata

A szélsőséges egyedek vizsgálata során ábrázoltam az eredeti, dimenziócsökkentés előtti mérési értékeket, majd ezeket összevettem a csoportok közepéből származó, átlagos egyedekkel.

Az ábrázolás során feltűnt, hogy míg az átlagos mérések nyomatógömbjének lefutása a kezdeti megindítási nyomatógömbtől eltérően egyenes, periodikusan csökkenő jellegű, addig a szélsőséges egyedekhez tartozó mérések esetén az adott példány átlagos mérési értékeihez képest

extrém nagy, impulzusszerű ugrásokat, kilengéseket tartalmaz a mérési görbe. Az átlagos és a feltűnő egyedek méréseinek összehasonlítása a 6. ábrán látható.



6. ábra: Egy feltűnő (piros) és egy átlagos (zöld) nyomatógömb összehasonlítása

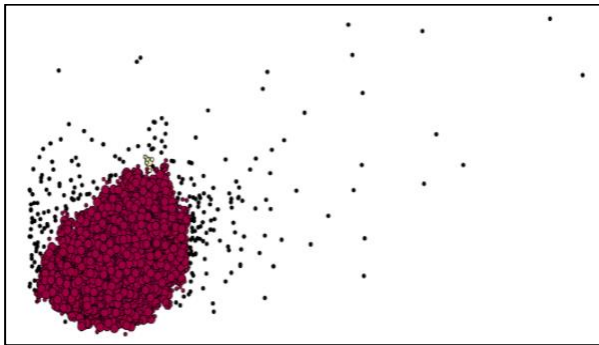
A munkát a szélsőséges egyedek beazonosításával és további vizsgálatával folytattam.

### 3.4 Feltűnő egyedek vizsgálata

A beazonosítás után megvizsgáltam a feltűnő példányok egyéb méréseit és amennyiben volt, utómunka jegyzőkönyveit. A mérési jegyzőkönyvek vizsgálata során kiderült, hogy a következő munkalépésben végrehajtott mérés, a főtengely axiális irányú játéknak mérése az esetek nagy részében nem megfelelő, túrésen kívüli eredménnyel zárult. A rossz főtengely axiális irányú játékkal rendelkező motorokat minden esetben javításra kerülnek, mely során az esetleges feltűnőségeket, észlelt hibákat jegyzőkönyvbe veszik. A jegyzőkönyvek elemzése során kiderült, hogy a jellegzetes nyomatógömbjével és nem megfelelő főtengely axiális irányú játékkal rendelkező motorok egy részében idegen anyagot, forgácsot vagy egyéb szennyeződést találtak a főtengely, illetve a hajtókarcsapágyakban vagy csapágyhelyeken.

### 3.5 A feltűnő egyedek szelektálása DBSCAN eljárással

A feltűnő egyedek manuális szelektálása rendkívül időigényes és aprólékos feladat lenne, ezért szükséges a folyamat automatizálása, melyhez a DBSCAN algoritmust használtam.



7. ábra: a DBSCAN eredménye, az átlagos mérések pirossal, a rossz mérések feketével ábrázolva

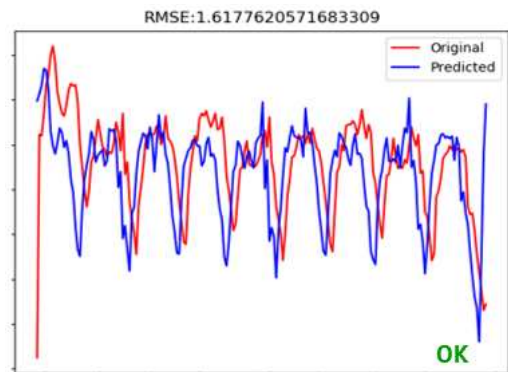
A paraméterek megválasztása tapasztalati úton történt, majd az egyes csoportokat külön-külön elemezve szétválasztottam az átlagos és a jó méréseket. Az eljárás során kihasználtam a DBSCAN azt a tulajdonságát, hogy a ritkábban elhelyezkedő egyedeket egységesen zajként osztályozza, így tehát két csoportra tudtam bontani a mérési eredményeket. Az algoritmus szemléltetése a 7. ábrán látható.

A minták osztályozása után már lehetővé vált a hibadetektáló neurális hálózat tanítása.

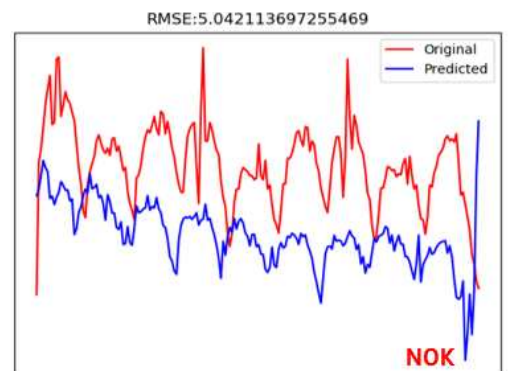
### 3.6 Hibadetektálás LSTM neurális hálózattal

A neurális hálózatok felügyelt tanításához szükséges a tanító adatok felcímkézése. Az adatok osztályozása is a felügyelt tanítás egy ágazata, azonban esetünkben a megkülönböztetni kívánt osztályok elemszáma nagymértékben eltér. A teljes minta csupán 2%-át teszik ki a DBSCAN algoritmus által rossznak osztályozott mérések, ezért a 2.9 fejezetben bemutatott LSTM idősor előrejelzés segítségével azonosítottam a hibás egyedeket [13].

A többrétegű LSTM neurális hálózat tanításakor a csak a jó mérési eredményeket használtam fel. Az eredeti mintákból öt időlépéses eltolással új tanítómintákat hoztam létre. Az így kapott  $5 * 200$  dimenziós egyedekkel feltanított hálózat kellően nagy pontossággal tudja rekonstruálni a bemenetére érkező jel időbeli eltolját a kimenetén. Mivel a hálózat a hibás egyedekkel nem találkozott a tanítás során, ezért a bemenetére érkező hibás méréseket csak nagy hibával tudja rekonstruálni a kimenetén. A be- és kimeneti jeleket egymáshoz igazítva szembevetve az eltérés. A potenciálisan idegen anyagot tartalmazó motorok azonosításához így elegendő kiszámolni a rekonstrukciós hibát, például az átlagos négyzetes hibát. A LSTM rekonstrukció eredménye, illetve a számított átlagos négyzetes hiba (RMSE) a 8., illetve a 9. ábrán látható.



8. ábra: jó mérési (piros) görbe és rekonstruáltja (kék), RMSE: 1.6178



9. ábra: rossz mérési (piros) görbe és rekonstruáltja (kék), RMSE: 5.0421

## 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A fent bemutatott módszerek és eredményeik alapján kijelenthető, hogy már a legegyszerűbb gépi tanulási módszerek is sikerrel alkalmazhatóak az iparban. A mérési eredményekben rejlő mintázatok és nem ismert összefüggéseik feltárására segítségével a gyártási folyamat optimalizálható, a költségek csökkenthetőek.

A klaszterező eljárások segítségével feltárt csoportok rávilágítottak az elméletben azonos, ám a gyakorlatban különböző paraméterekkel rendelkező, helyettesítő alkatrészek közötti különbségekre. Ezek az eredmények remek kiindulási lehetőséget jelentek a későbbi termék- és gyártásoptimalizáláshoz.

Az adatok csoportosítása és ábrázolása felismerhetővé tette, hogy ugyan az egyes mérések értékei a toleranciasávon belül mozognak, ám bizonyos egyedeknél a nyomatékgörbe lefutásának jellege jelentősen eltérhet az átlagos mérési eredményekétől. Ezek a szélsőséges egyedek, illetve mérési eredményeik indikátorai lehetnek egy későbbi hibás mérésnek vagy akár a motor meghibásodásának. Az eredmények kiértékelésének optimalizálásával csökkenthető a selejtarány, az utómunka okozta idővesztés és az egyéb költségek.

A szélsőséges egyedek automatikus szelektálására kiváló lehetőséget nyújt a DBSCAN algoritmus. Használata egyszerű, nem igényel előzetes ismeretet az adathalmazról. Alkalmazása segítségével az adatok könnyen felcímkézhetőek, ezáltal a felügyelt tanulás első lépéseként kiválóan alkalmazható szabálytalan, többdimenziós adatok esetén.

A feltárt és szelektált szélsőséges egyedekkel kapcsolatos adatok feldolgozásának egyik lehetséges buktatója az emberi tényező. A jegyzőkönyvek és

hibaleírások hanyag, illetve hiányos kitöltése rendkívüli módon megnehezítheti az adatok kiértékelését és az összefüggések feltárását. Az emberi adatgyűjtés tehát szabályozott kereteket, illetve rendkívüli fegyelmet és odafigyelést igényel. A standardok kialakítása és betartása fontos az adatrögzítésnél is.

Az LSTM hálózatok egy lehetséges alkalmazási lehetősége az idősorok előrejelzésére és osztályozására. Ha viszonylag kevés minta áll rendelkezésre egy adott csoportból, a fent bemutatott módszer segítségével könnyen osztályozhatjuk az egyes méréseket. A potenciálisan gyanús mérések korai észlelése segít az idegen anyag okozta csapágykáros motor kiesések elkerülésében, így minőségi javulás és költségcsökkenés érhető el.

A gépi tanulási módszerek tehát hatalmas potenciállal rendelkeznek az autóipar és az egyéb ipari szektorok területén is. A fent bemutatott és további számítási intelligencia módszerek alkalmazási területei és lehetőségei további kutatásokat igényelnek a témában.

## 5 ÖSSZEGZÉS

Munkám során egy belső égésű motorokat gyártó szereldei gyártósor mérései eredményeit elemeztem gépi tanulási módszerekkel. A kutatás célja a főtengely átforgatási nyomatékának mérése és a csapágykarral járó motorhibák közötti összefüggések feltárása volt. A kutatásban csak a jónak értékelt mérési eredményeket használtam fel.

Az adatok mesterséges intelligenciával történő elemzéséhez az elsődleges feladat az adatok szelektálása és rendezése volt. Ez a gépi tanulási módszerek egy sarkalatos pontja. Az előfeldolgozás további lépéseiben szükséges volt az adatok normalizálása és a dimenziócsökkentés is, melyek segítségével a mesterséges intelligencia algoritmusok teljesítménye és pontossága javítható, tanítási sebessége gyorsítható.

Az adatok szűrése és előfeldolgozása után a mintát különböző klaszterező eljárásokkal vizsgálva meghatároztam a mintában fellelhető, az adott motortípuson belüli különböző csoportok számát. Az egy típuson belüli alcsoportok, melyek a különböző helyettesítő alkatrészekkel szerelt motorokat reprezentálják, megállapítottam, hogy a csoportjaiktól távol eső, szélsőséges egyedek mérési görbéi eltérést mutatnak az átlagostól.

Az egyes egyedeket azonosítottam és a nyomatékgörbéket a reklamációs és utómunka jegyzőkönyvekkel, valamint egyéb mérésekkel összehasonlítva megállapítottam, hogy az esetek nagy részében a főtengely axiális irányú játékának mérése nem megfelelő, illetve a motorok utómunkája során a főtengely, vagy a hajtókarcsapágyakban idegen anyagot találtak. A feltárt jelenség ismeretében megtanítottam egy LSTM neurális hálózatot a jó mérési görbék pontos rekonstrukciójára. A hálózat a rossz mérési görbéket viszont nagy hibával rekonstruálja, így a rekonstrukciós hiba kiszámításának a segítségével a hibás mérések valós időben, automatizált módon detektálhatóvá váltak.

A feltárt összefüggések és módszerek segítségével tehát az idegen anyag jelenléte a belső égésű motorok főtengely- és hajtókarcsapágyaiban előre jelezhető, így jelentős minőségjavulás és költségcsökkentés érhető el, épp ezért a

mesterséges intelligencia további ipari alkalmazásai és a módszerek tökéletesítése további kutatásokat igényel.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Travis E, Oliphant. (2006), A guide to NumPy, USA: Trelgol Publishing, <http://web.mit.edu/dvp/Public/numpybook.pdf>
- [2] Wes Mckinney (2011), pandas: a Foundational Python Library for Data Analysis and Statistics, <https://www.scribd.com/doc/71048089/pandas-a-Foundational-Python-Library-for-Data-Analysis-and-Statistics>
- [3] Hunter et al (2007), Matplotlib: A 2D graphics environment, *Computing in Science & Engineering, Volume 9, Number 3*, 90-95, <https://ieeexplore.ieee.org/document/4160265>
- [4] Pedregosa et al. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python, *JMLR* 12, pp. 2825-2830, <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1953048.2078195>
- [5] Martín et al. (2015), TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems, <https://arxiv.org/abs/1603.04467>
- [6] Hadley Wickham (2014). Tidy Data, *Journal of Statistical Software*, Volume 59, Issue 10., <https://www.jstatsoft.org/article/view/v59i10/v59i10.pdf>
- [7] Vafaei, Nazanin & Ribeiro, Rita & Camarinha-Matos, Luis. (2015). Importance of Data Normalization in Decision Making: case study with TOPSIS method., [https://www.researchgate.net/publication/304539326\\_Importance\\_of\\_Data\\_Normalization\\_in\\_Decision\\_Making\\_case\\_study\\_with\\_TOPSIS\\_method](https://www.researchgate.net/publication/304539326_Importance_of_Data_Normalization_in_Decision_Making_case_study_with_TOPSIS_method)
- [8] S. B. Kotsiantis, D. Kanellopoulos and P. E. Pintelas (2006), Data Preprocessing for Supervised Learning, *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE VOLUME 1 NUMBER 1 2006* ISSN 1306-4428, [https://www.researchgate.net/publication/228084519\\_Data\\_Preprocessing\\_for\\_Supervised\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/228084519_Data_Preprocessing_for_Supervised_Learning)
- [9] David Arthur, Sergei Vassilvitskii (2007), k-means++: The Advantages of Careful Seeding, Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, Society for Industrial and Applied Mathematics, <https://theory.stanford.edu/~sergei/papers/kMeansPP-soda.pdf>
- [10] Pearson, K. (1901). „On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space” . *Philosophical Magazine* 2 (11), 559–572. , <http://pca.narod.ru/pearson1901.pdf>
- [11] McLachlan, G. J. (2004). Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition. *Wiley Interscience*. ISBN 0-471-69115-1. MR 1190469., <https://pdfs.semanticscholar.org/20ce/95262aa2781c2c3127ca77f18afce3c8f69.pdf>
- [12] Ester, Martin; Kriegel, Hans-Peter; Sander, Jörg; Xu, Xiaowei (1996). Simoudis, Evangelos; Han, Jiawei; Fayyad, Usama M., eds. *A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*. AAAI Press. pp. 226–231. <https://www.aaai.org/Papers/KDD/1996/KDD96-037.pdf>
- [13] P Malhotra, L Vig, G Shroff, P Agarwal (2015), Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series, *ESANN 2015 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning. Bruges (Belgium), 22-24 April 2015, i6doc.com publ., ISBN 978-287587014-8. Available from http://www.i6doc.com/en/*
- [14] Sepp Hochreiter; Jürgen Schmidhuber (1997). "Long short-term memory". *Neural Computation*. 9 (8): 1735–1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735. PMID 9377276, <http://europepmc.org/abstract/MED/9377276>
- [15] Bengio, Y., Simard, P., and Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(2), 157–166., <http://ai.dinfo.unifi.it/paolo/ps/tnn-94-gradient.pdf>



# Effect of Interrupted Cutting of Variable Loading on Cutting Tool

Ozden Isbilir\*, Ibrahim Etem Saklakoglu\*\*

\* Department of Mechanical Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey

\*\* Department of Mechanical Engineering, Ege University, Izmir, Turkey

ozdenisbilir@karabuk.edu.tr, i.e.saklakoglu@ege.edu.tr

**Abstract** — Cutting tools are used in various processes at very different conditions including material behaviors, machining parameters, geometry, and tribological characteristics. For an efficient machining, a cutting tool requires high hardness, high chemical stability, and high wear resistance. Machining can be more challenging in the interrupted cutting due to the alteration in mechanical and thermal loads. When interrupted surfaces are machined, the tool also requires sufficient impact and fatigue resistances. The main goal of this work to investigate the effect of interrupted cutting of variable loading when turning AISI 4140. Based on the experimental results, the main conclusion of this work was the tool life was shorter in the interrupted turning experiments. Although lower tangential cutting forces were measured in the interrupted cutting tests, the intervals deteriorated the tool life. The trends of the tangential cutting forces were observed as expected in the continuous turning at dynamic loading whereas the trends were different and not as expected in the interrupted turning. In both continuous and interrupted turning at dynamic loading, abrasive wear was the major mechanism on the flank surface.

**Keywords:** interrupted cutting, variable loading, tool wear, tangential cutting force

## 1 INTRODUCTION

The importance of cutting parameters has been well recognized in machining operations, particularly turning process [1-4]. It has been clearly noticed that the amount of wear and tool life are greatly dependent on cutting parameters such as the cutting speed, the feed rate and the depth of cutting. The cutting speed is one of the major factors in machining and affects the tool life and cutting forces as well. Due to its importance in the quality of the machined surfaces and the rate of production, it has become the main limitation in the selection of process parameters. The cutting speed is closely related with the plastic deformation during machining, thus induced heat is also dependent on the selection of cutting speed. Furthermore, mechanical stresses on cutting edges and high cutting temperatures due to plastic deformation and friction cause fatigue and wear on cutting tools.

Dimla [1] focused on the effects of cutting conditions on cutting forces in turning. Tests showed that there was a modest rise in the cutting forces as the cutting speed was increased with the use of a new tool. However, there was a nonlinear effect between cutting force and cutting speed when a worn tool was used in the tests. Cutting forces rose when the feed rate and the depth of cut were increased for both worn and unworn inserts utilized in the tests. The results also presented that the effects of the cutting speed and the feed rate were more complex the depth of cut did.

Saglam et. al. [2] investigated the effects of geometry and feed rate on the cutting forces in turning of hardened AISI 1040. They performed a series of experimental tests and compared the experimental results with the results of the mathematical model based on Kienzle approach. The study depicted when the feed rate was increased, the cutting forces increased, but the temperature decreased. Korkut and Donertas [5] investigated the influences of the feed rate and cutting speed on cutting forces in the milling of AISI 1020 and AISI 1040 experimentally. According to the findings, the built-up-edge formation was observed on the cutting tools during experiments. This extra geometry on the cutting tool caused to severe damages on tool life owing to increased cutting forces and cutting temperatures. It was noted that the extent of built-up-edge tended to decrease when the cutting speed rose, however, its structure became less stable. Due to BUE formation, there was limited contact with the workpiece at lower cutting speeds, thus lower cutting forces occurred in the milling of both materials at these cutting speed ranges. Authors also noted that cutting forces increased significantly with the rise in feed rate and depth of cut.

Diniz et. al. [6] carried out research on continuous, semi interrupted and interrupted turning of hardened steel. In the experiments, two grades, low and high CBN content tools were used to find out more suitable tool for the interrupted machining process. There is a high demand for resistance against wear and shock since there is dynamic loading in interrupted cutting. Authors found that tool life was longer in continuous cutting compared to interrupted cutting. Tool life decreased substantially with the increasing cutting speed due to wear, chipping or breakage of the cutting edge in interrupted cutting tests. Chandrasekaran and Thoors [7] compared tribological characteristics of continuous and interrupted turning. The results showed that the amount of wear developed rapidly in interrupted cutting, thus tool life was found longer in continuous cutting compared to interrupted cutting. The decline of tool life in interrupted cutting varied between 10 and 95% due to workpiece material, cutting parameters and durations. It was also noted that tool life increased at high removal rates in interrupted cutting. Authors noted that interruption durations could likely have a coolant effect on cutting tools.

The vast majority of the researches have carried out research activities on continuous cutting whereas few of them have focused on interrupted cutting [7-14]. However, all these researches have performed their investigations at stable cutting speeds. Nevertheless, almost all cutting tools are used with different cutting speeds in various industries. Not only cutting tools are utilized at different cutting speeds within in a cutting process, but they can be also used in

various conditions such as continuous or interrupted cutting. Hence, the cutting process can be more complex due to the alteration in the cutting speed and the characteristic of the metal removal. That is why a better understanding of cutting under variable loading conditions is necessary for the further improvement of cutting tools and machining operations. Thus, an experimental approach has been developed to investigate the effect of the interrupted turning with variable loading.

2 MATERIALS AND METHODOLOGY

The workpiece material used in the tests was AISI 4140 steel, which has a chemical composition of 0.40% carbon, 0.75-1% manganese, 0.80-1.1% chromium, 0.15-0.30 silicon, and 0.15-0.25% molybdenum typically. Solid cylindrical turning workpieces have dimensions of  $\phi 90$  and 300 mm length.

The cutting tool used in the study was ISCAR uncoated carbide cutting insert with an ISO code of SCMT 09T308-19. The carbide inserts were mounted on an ISCAR right-hand tool holder with an ISO code of SSBCR 1616H-09. The tool has  $0^\circ$  rake angle,  $7^\circ$  clearance angle,  $75^\circ$  approach angle, and  $0^\circ$  inclination angle.

The turning experiments were conducted using a DAEWOO Puma 400 CNC lathe which has a maximum power of 22 kW and a maximum spindle speed of 3000 rpm.



Figure 1 Experimental Setup

The experimental set up utilized in this study consisted of a load cell, a data acquisition system and a computer (Figure 1). The load cell had a capacity of 10 kN. The load cell was used to collect the signals of the tangential cutting force during turning. The analog signals were collected, amplified and then transformed into digital format. These digital signals were transmitted to the computer and stored by the software.

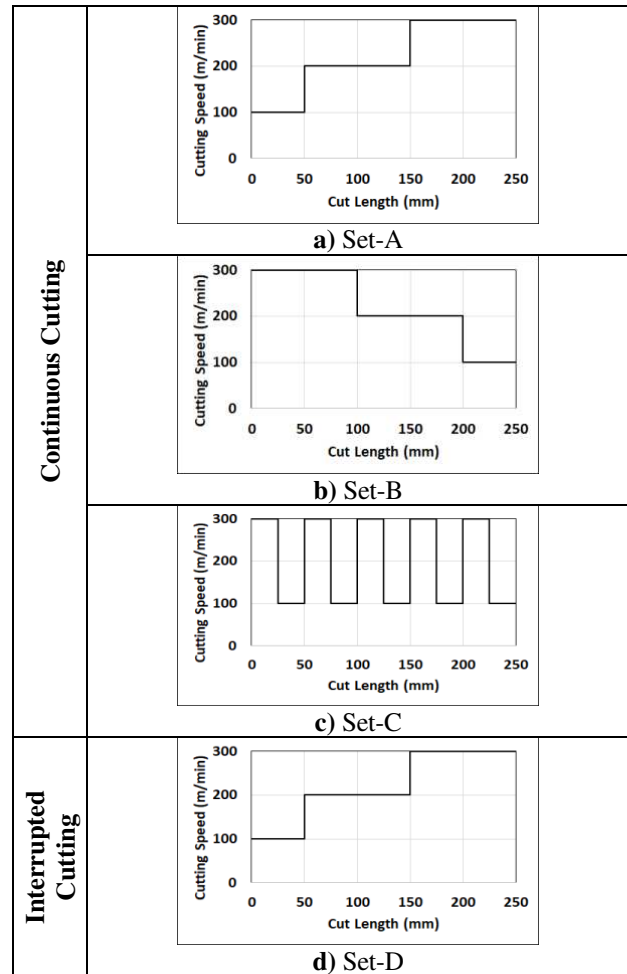
A metal microscope (Metkon brand, IMM-901 model) was used to determine tool life. The flank wear on the cutting edge was observed after each pass and images of the worn region were taken carefully to measure the extent of the wear ( $VB_B$  and  $VB_B$  max). Cutting inserts were assumed worn and the tests were terminated when  $VB_B$  has reached 0.3 mm or  $VB_B$  max reached 0.5 mm.

The experiments were carried out at variable loading conditions in both continuous and interrupted turning

approaches. Different combinations of cutting speeds were investigated in this study and led to a total of 6 tests. Other machining parameters (feed rate, depth of cut) were kept constant in all tests. Each test was performed in a dry condition. The interruptions were not ensured by a discontinuity in the workpiece geometry. In interrupted tests, the cutting process has been paused for two seconds at each interval, cutting speed was changed then the cutting process continued. However, there was no discontinuity in the cutting process when the cutting speed changed in continuous tests. The test parameters and loading condition are given in Table 1 and Figure 1, respectively.

Table 1. Test Parameters

Test	Condition Type	Cutting Speed Vc (m/min)	Feed Rate f (mm/rev)	Depth of Cut $a_p$ (mm)
A	Continuous	(100-200-300)	0.2	2
B		(300-200-100)		
C		(300-100)		
D	Interrupted	(100-200-300)		
E		(300-200-100)		
F		(200-300)		



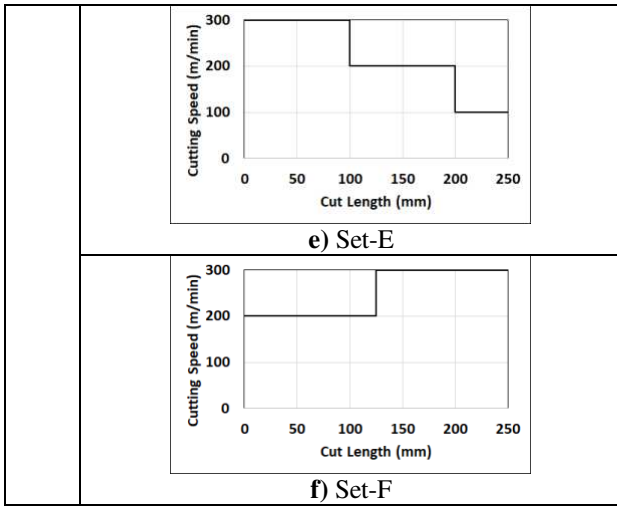


Figure 2. Loading Condition (a, b, c: Continuous cutting; d, e, f: Interrupted Cutting)

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The aim of the study was to determine the influence of interrupted cutting on tool life and cutting force at variable loading condition. Table 2 illustrates the summary of the experimental results in turning. Force data collected from the dynamometer has been averaged and is presented here. The average values have been calculated after all turning passes.

Table 2. Summary of the Experimental Results

Test	Condition Type	Average Cutting Speed (m/min)	Tool Life (min)	Average Tangential Force (N)	Maximum Tangential Force (N)
A	Continuous	184.62	13.07	827	1187
B		184.62	11.43	797	1089
C		150	12.09	894	1207
D	Interrupted	184.62	10.85	514	662
E		184.62	10.85	603	765
F		240	8.27	498	677

#### 3.1 Tangential Cutting Force

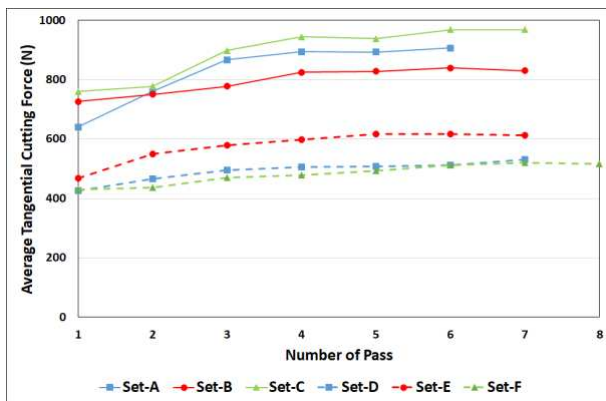
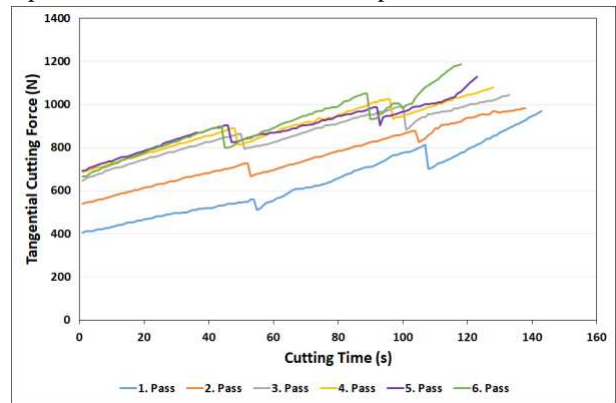


Figure 3. Evolution of the Average Tangential Cutting Force

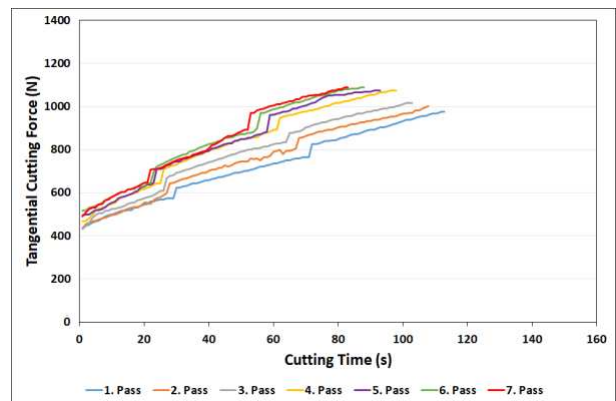
Figure 3 represents the evolution of the tangential cutting force component throughout the cutting process in both continuous and interrupted turning at variable loading. As

it can be noticed obviously, a higher amount of tangential cutting forces were measured in the continuous cutting tests compared to interrupted cutting tests. The intervals of the cutting process in the interrupted experiments affected the tangential cutting force.

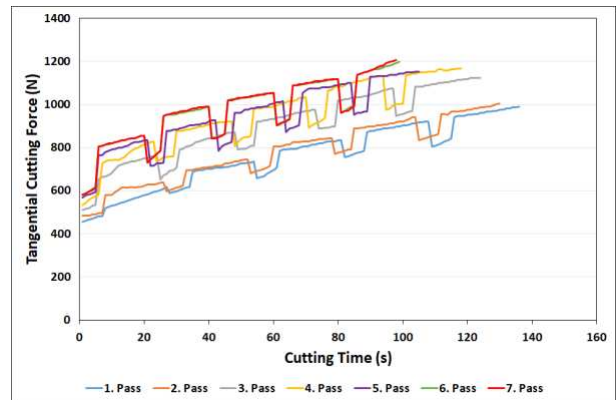
Figure 4 (a,b,c) shows the induced tangential forces at continuous turning process where there was no pause during cutting speed change. As can be seen in the images, there were sudden changes with the expected trends when the cutting speed shifted. However, the effect of cutting speed cannot be digitized since the influence of tool wear could not be isolated. The highest average tangential force and the highest maximum tangential force were measured in the Set-C. The amount of cutting speed variation was the highest and the average cutting speed was the lowest in all experiments, thus this result was expected at Set-C.



Set-A



Set-B



Set-C

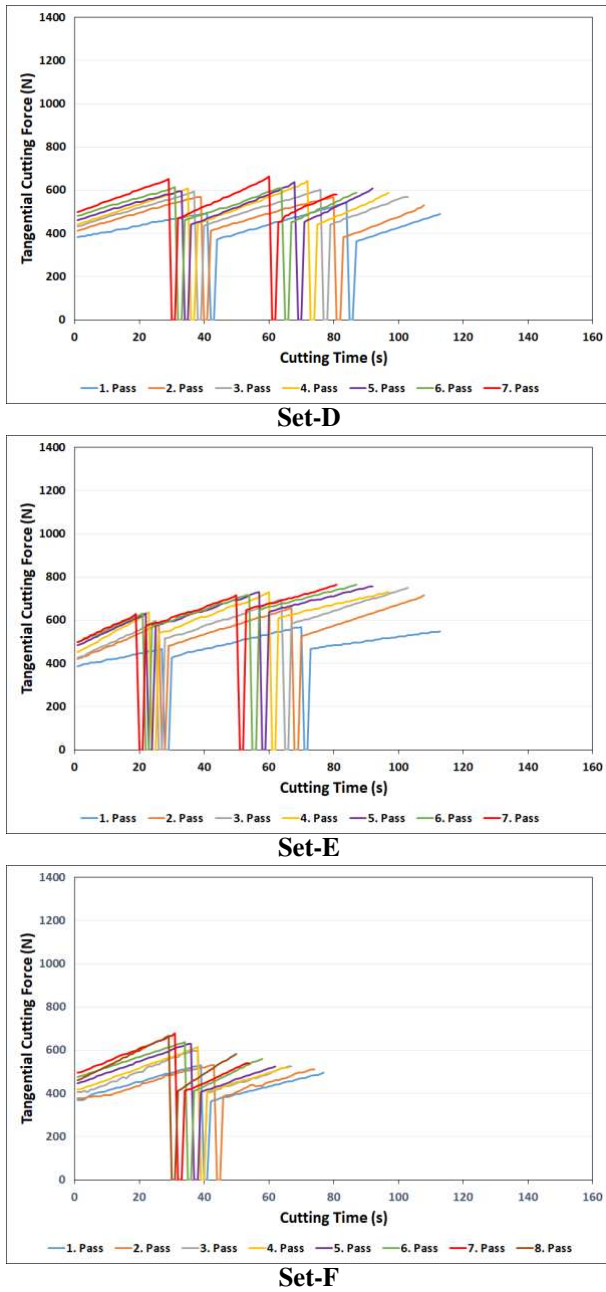
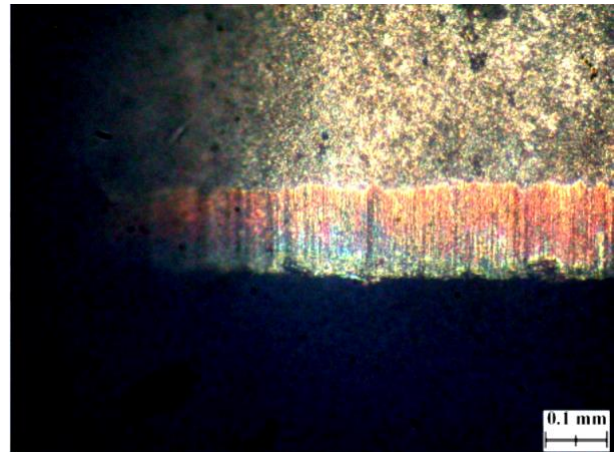


Figure 4. Evolution of the Tangential Cutting Force

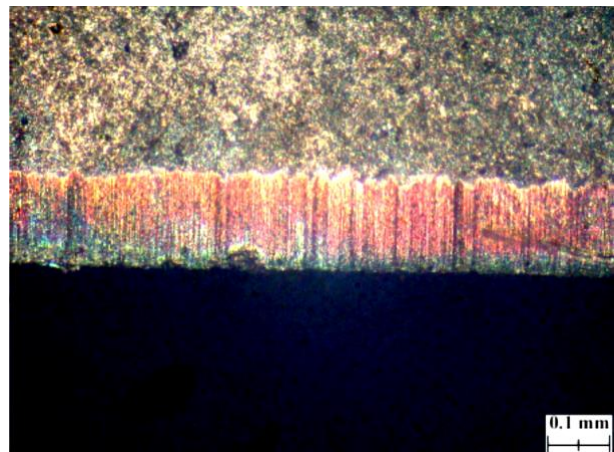
Figure 4 (d,e,f) displays the induced tangential forces at interrupted turning process where there were idling times during cutting speed change. As can be seen in the images, tangential forces dropped to zero in forces since there was no cutting action in the idling times. Then the force started surprisingly from lower levels comparing to the values just before the pauses in all interrupted turning experiments. Dynamic condition and a possible cooling in idling time could lead to a relaxation in the workpiece stresses. Due to these, average and maximum tangential forces were measured much lower compared to continuous turning experiments. However, the effect of cutting speed cannot be expressed clearly due to the relaxation process and the influence of tool wear. The highest average tangential force and the highest maximum tangential force were measured in the Set-E.

### 3.2 Wear and Tool Life

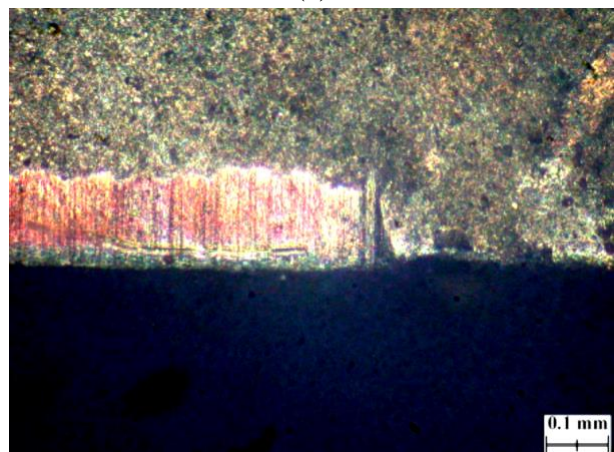
Indirect measurements of wear were carried out using an optical microscope by magnifying the cutting edge 100X. The flank wear images were taken after each pass as shown in Figure 5. The maximum width of the flank wear land  $VB_B$  max and the average width of the flank wear land  $VB_B$  were measured and compared with the appropriate criteria until they reached any of them as the standard required [15]. In all cutting experiments,  $VB_B$  reached the tool wear criterion first, so it was considered that all tools are worn regularly.



(a)



(b)

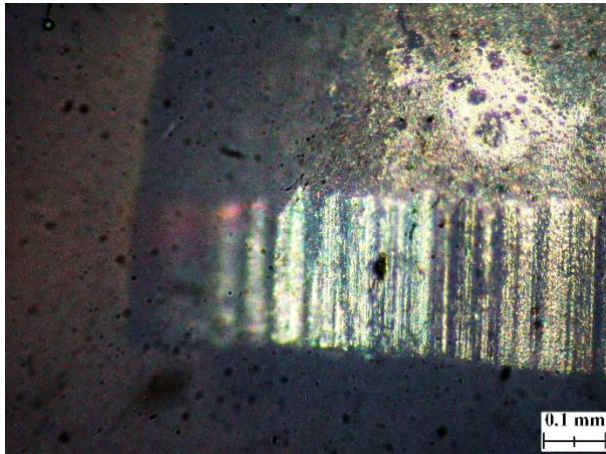


(c)

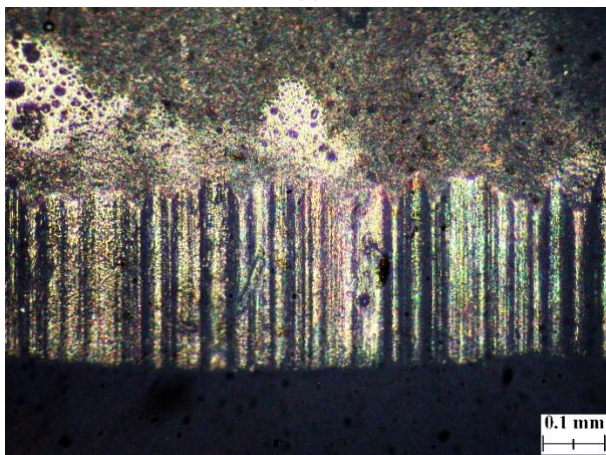
Figure 5. Measurement of Flank Wear, AISI 4140 at Set A after 1<sup>st</sup> Pass a) Zone C b) Zone B c) Zone A + N

As can be noticed in Figure 5 and Figure 6, abrasive scratches were visible on the worn flank faces. According to Trent and Wright [16], these scratches are typical of abrasive wear. Abrasion may be occurred due to friction with hard particles from the workpiece. It can be happened by hard particles from cutting tool after removal of the binder of the cutting tool material due to friction with the workpiece. These hard particles could create three body effect and rub against the tool and consequently damages the resistance and causing wear.

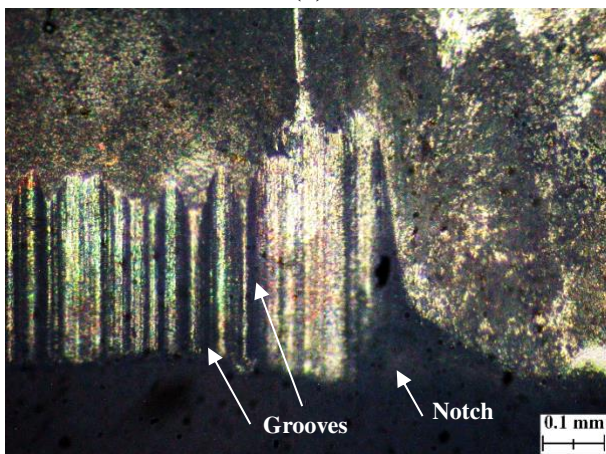
Some minor chipping was observed on the cutting edges at the beginning stages of turning. As can be seen in Figure 6, plastic deformation and notch formation observed on the flank face of the cutting tools, which was the end of tool-workpiece contact as stated by Grzesik [8]. These defects can be associated with a strong cutting force and stress gradients on the flank face. On the left side of the notched region (Figure 6-c), cutting was performed with the maximum chip thickness hence the maximum cutting force acting on the cutting tool. Whereas on the right side of the notch region, there was no contact between the cutting tool and workpiece hence no force was exerted on this region. Notch formation was found higher in the continuous cutting experiments possibly due to the higher amount of cutting forces.



(a)

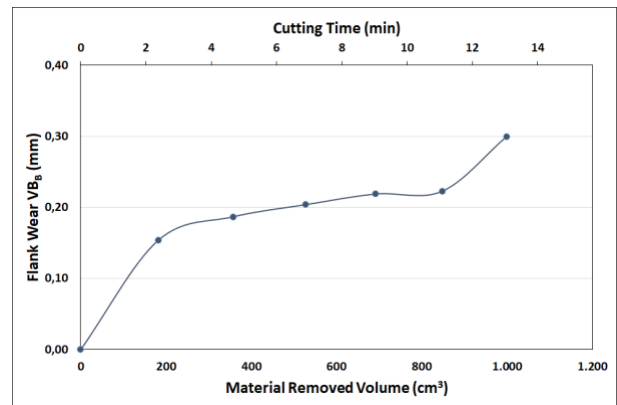


(b)

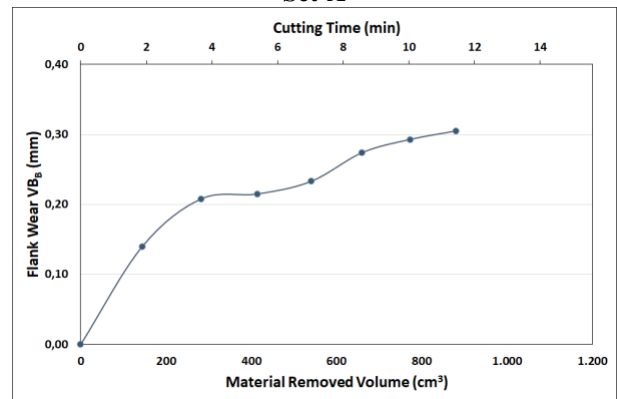


(c)

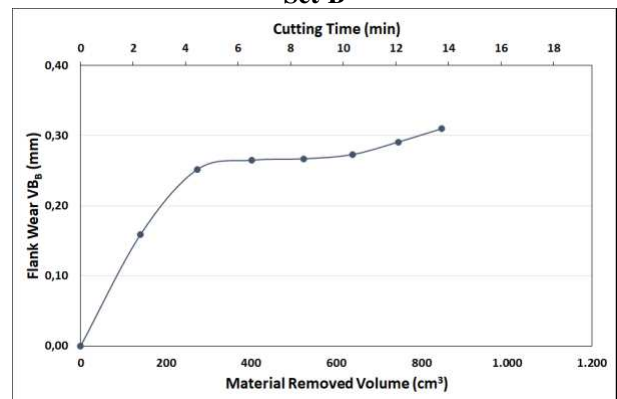
Figure 6. Flank Wear, AISI 4140 at Set F after 8<sup>th</sup> Pass a) Zone C b) Zone B c) Zone A + N



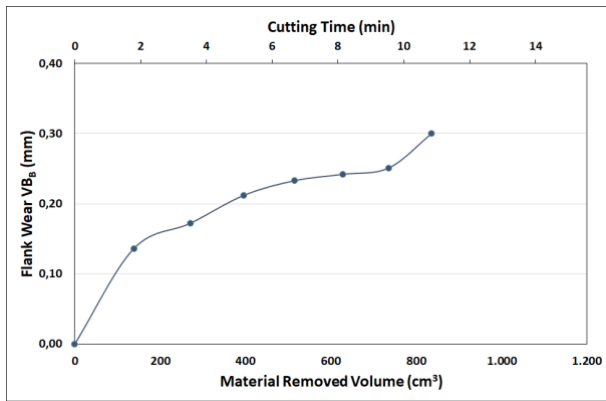
Set-A



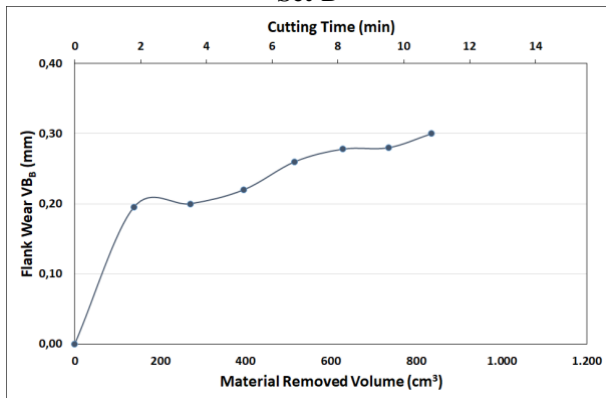
Set-B



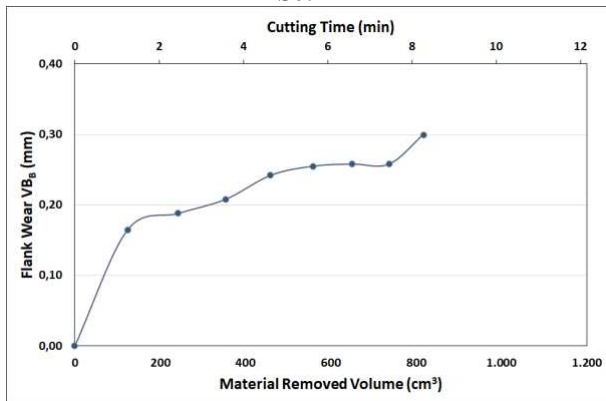
Set-C



Set-D



Set-E



Set-F

Figure 7. Evolution of the tool life for continuous and interrupted with variable loading

Figure 7 displays the curves of tool flank wear with regard to material removed volume and cutting time as well, to present the progress of wear and performances of cutting tools on continuous and interrupted cutting at variable loading. It can be seen in these figures, volumes of removed material were less at interrupted cutting experiments than continuous cutting ones even though all experiments performed at variable cutting speeds. The differences in the extent of cut material were between 4 and 16%. As seen in these images, the flank wear curves grew steeper in the interrupted cutting experiments.

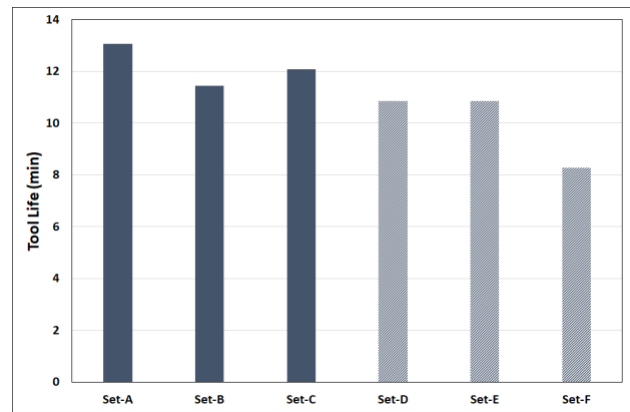


Figure 8. Tool lives

Figure 8 represents the experimental results of tool life in all the tests. Based on the experimental findings, it can be stated that interrupted cutting influenced tool life even there was not any discontinuity in the workpiece geometry. Even though both continuous and interrupted cutting approaches were carried out at variable cutting speeds, the results indicated that interrupted cutting caused to shorter tool lives between 5 and 32% compared to continuous cutting. Although the fact that the continuous cutting involves higher tangential cutting forces and possibly higher cutting temperatures, the interrupted cutting approach stimulated wear mechanisms. Pauses during cutting speed change in interrupted cutting could hinder the heat propagation through the workpiece and cutting tool since the rotation of the workpiece can generate air cooling. Diniz and Oliveira [9] also stated this for interrupted cutting where there are discontinuities in the geometry such as grooves in the workpiece. During the idling times, there was no cutting action hence there were no cutting forces as can be seen in Figure 4(d,e,f). For these reasons, the shorter tool life in interrupted turning could be attributed to cyclic thermal and mechanical stresses.

## CONCLUSIONS

The paper presents the effect of the interrupted cutting on cutting tools at variable loading in turning. The results highlighted in this paper were determined from the analysis of an experimental work concentrated on the tangential cutting force components, tool wear, and life in continuous and interrupted turning of AISI 4140. It can be concluded that:

- A higher amount of tangential cutting force occurred in all the continuous turning experiments compared to the interrupted turning. The intervals of the cutting process in the interrupted experiments affected the tangential cutting force.
- The trends of the tangential cutting forces were observed as expected in the continuous turning at dynamic loading whereas the trends were different in the interrupted turning.
- In both continuous and interrupted turning at dynamic loading, abrasive wear was the major mechanism on the flank surface. Minor chipping and noticeable notch formation were also observed in the experiments.
- Although the tangential cutting force was lower in the interrupted turning experiments at dynamic loading, cutting tools worn quicker than the ones in continuous

turning experiments. Thus, tool life was shorter in the interrupted cutting experiments.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Ege University Scientific Research Projects Coordination for its financial support in the research project (No. 2006-MUH-033).

#### REFERENCES

- [1] Dimla Sr, D. E. (2004). The impact of cutting conditions on cutting forces and vibration signals in turning with plane face geometry inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, 1708-1715.
- [2] Saglam, H., Unsacar, F., Yaldiz, S. (2006). Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(2), 132-141.
- [3] Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ., Şeker, U. (2004). Investigation of the effect of rake angle on main cutting force. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(9), 953-959.
- [4] Senthil Kumar, A., Raja Durai, A., Sornakumar, T. (2006). The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(2), 151-156.
- [5] Korkut, I., Donertas, M.A. (2007). The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool-chip contact length during face milling. *Materials & Design*, 28(1), 308-312.
- [6] Diniz, A.E., Gomes, D.M., Braghini Jr, A. (2005). Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, 159(2), 240-248.
- [7] Chandrasekaran, H., Thoors, H. (1994). Tribology in interrupted machining: role of interruption cycle and work material. *Wear*, 179(1-2), 83-88.
- [8] Grzesik, W. (2008). Influence of tool wear on surface roughness in hard turning using differently shaped ceramic tools. *Wear*, 265, 327-335.
- [9] Diniz, A.E., Oliveira, A.J., (2008). Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 195, 275-281.
- [10] A. de Godoy, V. A., Diniz, A.E. (2011). Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 1014-1025
- [11] José de Oliveira, A., Diniz, A.E., Ursolino, D.J. (2009). Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 5262-5270.
- [12] Chou, Y.K. Evans, C.J. (1999). Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting. *Wear*, 225-229, 234-245
- [13] Pavel, R. Marinescu, I. Deis, M., Pillar, J. (2005). Effect of tool wear on surface finish for a case of continuous and interrupted hard turning. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 341-349
- [14] Sayit, E., Aslantas, K., Çiçek, Ç. (2009). Tool Wear Mechanism in Interrupted Cutting Conditions. *Materials and Manufacturing Processes*, 24(4), 476-483
- [15] International Organization for Standardization, (1993). *Tool-life testing with single-point turning tools*, ISO 3685
- [16] Trent, E.M., Wright, P.K., (2000). *Metal Cutting, fourth ed.* Butterworth-Heinemann, Oxford.

# Szélenergia telepítéshez előterelő vizsgálat lakótelepi környezetben

## Investigation of guide baffles for wind turbine installations in an urban region

Hetyei Csaba\*, Dr. Szlivka Ferenc\*\*

\* Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország

\*\* Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország  
hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu; szlivka.ferenc@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás** — Napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt, mindinkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások és hasznosításuk. Cikkünkben kisteljesítményű szélkerekek típusait és hasznosításukat tekintjük át épített környezetünkben. Majd egy 10 emeletes épület tetején kialakuló áramlási képet vizsgálunk meg, végestérfogat alapú áramlási szimulációs módszerrel. Ezt követően előterelővel az áramlási képet úgy módosítjuk, hogy az optimálisabb legyen a szélenergia telepítéshez.

**Kulcsszavak:** Szélenergia, szélenergia, szimuláció, CFD, BAWT

**Abstract** — Due to increasing energy demands, the renewable energy sources and their utilization are more and more emphasized. In this article, we review the wind energy utilization, especially for a small size wind turbines for BAWT (Building Augmented Wind Turbine). After this review we will present a flow simulation around a 10 floor building's roof. After this analysis, we will increase the fluid velocity with guide baffle and we will choose an optimal configuration for wind turbine installation.

**Keywords:** Wind energy, wind turbine, simulation, CFD, BAWT

### 1 BEVEZETÉS

Napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt, mindinkább előtérbe kerülnek a decentralizált okos hálózatba integrálható megoldások. Ilyenek a biomasszát, geotermikus-, nap-, víz- és a szélenergiát hasznosító eszközök.

A megújuló energiaforrások piacát nézve növekvő trend figyelhető meg, minden évben egyre több új erőművet telepítenek. 2017-ben az új megújuló erőforrásokra összesen 280,2 milliárd USD-t fordítottak, melyből napenergiára 161 milliárd, a szélenergiára 107 milliárd USD-t költöttek [1].

Cikkünkben a szélenergia hasznosításával, azon belül is a kis teljesítményű szélenergiaforgókkal foglalkozunk. Személyes indokunk, hogy a jelenleg elérhető szakirodalom nem, vagy csak nehezen reprodukálható, így bemeneti feltételnek a későbbi kutatásainkhoz nem tudtuk felhasználni őket. Például Y. Ozmen és szerzőtársai [2] egy nyeregteret vizsgáltak néhány nevezetes dőlésszöggel. I. Abohela és szerzőtársai [3] és L. Ledo és szerzőtársai [4] egy beépített kisvárosi környezetben pár tetőszerkezetet és

azok különböző konfigurációit vizsgálták az épületek és a szél irányának függvényében.

### 2 SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁS ÁTTEKINTÉSE

A szélenergia hasznosításáról általánosságban elmondható, hogy az első elektromos áramot termelő szélenergiaerőművet 1887-ben Skóciában James Blyth építette, de elterjedésük csak az 1980-as olajválság idején kezdődött igazán. Azóta telepítésük növekvő tendenciát mutat, ami jól látszódik a telepített szélenergiaerőmű teljesítményeken. 2000-ben 17,4 GW, 2010-ben 197,9 GW, 2015-ben 432,4 GW, míg 2017-ben 539 GW összteljesítményű szélenergiaerőmű áll rendelkezésre a világon [5].

A WindEurope (régi nevén European Wind Energy Association - Európai Szélenergia Szövetség) 2014-es becslésében három scenáriót dolgoztak ki. E szerint 2020-ra az európai energiaerőművelés minimum 12,8%-át szélenergia biztosítja 165,6 GW telepített teljesítménnyel. A második eshetőség szerint, az energiaerőművelés 14,9%-át, 192,5 GW telepített teljesítménnyel, az optimális esetben 17%-át, 217 GW telepített teljesítménnyel fogja biztosítani a szélenergia [6]. Egy 2017-ben kiadott, 2030-ra szóló becslés szerint, az európai energiaerőművelésben a szélenergia részesedése legrosszabb esetben 21,6% (256 GW), közepes esetben 29,6% (323 GW) és a legjobb esetben 37,6% (397 GW) lesz [7].

A szélenergia hasznosítás növekvő igénye Európán kívül is megfigyelhető. Egy 2008-as előrejelzés szerint 2030-ban, az Amerikai Egyesült Államokban az energiafelhasználás 20%-át, 300 GW telepített teljesítményű szélenergiaerőművel fedezik [8].

Kína 2020-ra energiafelhasználásának 6%-át (200 GW), 2030-ra 8,5%-át (400 GW) és 2050-re 17%-át (1000 GW) szélenergiából szeretné kitermelni [9].

Világviszonylatban 2010-ben a telepített szélenergiaerőművek 0,23%-át (443,3 MW), 2015-ben 0,22%-át (948,9 MW) kis teljesítményű szélenergiaforgókat biztosították. Ezt a részesedést 2010-ben körülbelül 656 ezer, 2015-ben 991 ezer darab kis erőmű biztosította. Előrejelzések szerint 2020-ra 1,9 GW telepített kisteljesítményű szélenergiaerőmű lesz világszerte [10 p.3]. Százalékos megoszlását tekintve jelenleg elhanyagolhatónak tűnik ezeknek a szélenergiaforgóknak az energiapiacra mutatott részesedése, de a jövőben kialakulóban lévő okos energiához tartozó (smart grid)



valamint az energiahálózattól távoli területek energiaigényének a kiszolgálásában fontos szerepet foglalhatnak el.

### 3 SZÉLTURBINÁK CSOPORTOSÍTÁSA

A szélturbínák többféleképpen csoportosíthatók. Két lehetséges csoportosítási mód a teljesítményük szerinti vagy a forgási tengelyük állása szerinti csoportosítás.

Teljesítmény szerinti csoportosítás esetén többféle szabvány és előírás létezik, így a kialakított csoportok országanként különfélék lehetnek.

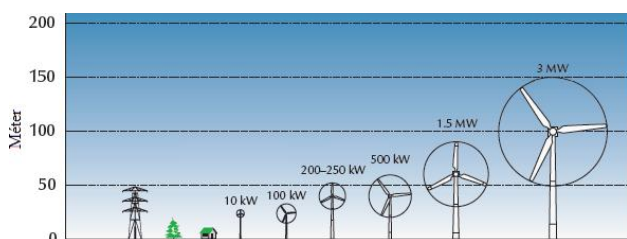
A forgási tengely állása szerint vízszintes - (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) és a függőleges tengelyű (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) szélturbínákat különböztetünk meg.

#### 3.1 Mi a kisteljesítményű szélturbina?

Országanként eltérően többféle definíció és megnevezés létezik a kisteljesítményű szélturbínákra. Azokban az országokban, ahol az IEC 61400-2-es szabvány szerinti definíciót használják, kisteljesítményű szélturbínának azokat a turbinákat nevezik, amelyek lapátjai által súrolt terület 200 m<sup>2</sup>-nél kisebb és az előállított feszültség egyenáram esetén 1000 V, váltóáram esetén 1500 V-nál kevesebb [10 p.10].

Azokban az országokban, ahol nem a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (International Electrotechnical Commission – IEC) által meghatározott definíciót használják, ott az országok saját maguk dönthetnek arról, hogy mit értenek kisteljesítményű szélturbina alatt. Ilyen ország például Kanada, ahol a teljesítményük és tartóoszlop magasságuk alapján csoportosítják a szélturbínákat. A Kanadai Szélenergia Szervezet (Canadian Wind Energy Association - CanWEA) megfogalmazása szerint az 1 kW-nál kisebb teljesítményű szélturbínák a mini- vagy mikro szélturbínák. 1-30 kW között beszélnek kisméretű szélturbínákról, a 30-300 kW közötti teljesítményű turbinák a közepes méretű szélturbínák [11].

A következő ábra a (HAWT) szélturbínák méret és jellemző teljesítményértékeit szemlélteti.



1. ábra. Szélturbina méretek és a hozzájuk tartozó jellemző teljesítmény [12]

#### 3.2 Vízszintes tengelyű szélturbínákról

A vízszintes tengelyű szélturbínák elődei a szélmalomok voltak, melyek a 12. század környékén jelentek meg Európában. 1887-ben készítették el az első elektromos áramot termelő szélturbínát.

A jelenleg használatos turbinák három forgó lapáttal rendelkeznek, melyek egy vízszintesen forgó tengelyt hajtanak. Nagyobb hatásfokkal rendelkeznek, mint a függőleges tengelyű szélturbínák és elterjedtebbek is. [13]

#### 3.3 Függőleges tengelyű szélturbínákról

A függőleges tengelyű szélturbínákat két nagy csoportba szokták osztani, attól függően, hogy a felhajtó- vagy az ellenálláserőn alapul a kerék mozgása. Az egyik legismertebb ellenálláserőt hasznosító szélturbina a Savonius-, a felhajtóerőt hasznosító pedig a Darrieus szélturbina.

Mindkettőt feltalálójáról nevezték el. Előbbit 1922-ben a finn Sigurd Johannes Savonius [14], utóbbit a francia származású Georges Jean Marie Darrieus [15] találta fel.

A függőleges tengelyű szélturbínák előnyei:

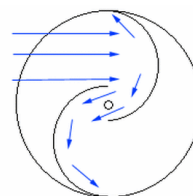
- a szél bármilyen irányból érkezik, nincs szükség szélbe állító mechanizmusra (Yaw mechanism),
- a felszín közelébe telepítik, így könnyebb a karbantartásuk,
- a felszín közeli telepítés másik előnye, hogy az urbanizált régióban bárhova telepíthetők (épületek tetejére, kéményekre stb.),
- alacsonyabb szélsebességnél indulnak el.

A függőleges tengelyű szélturbínák hátrányai:

- kisebb a teljesítményük a lapátokon ébredő ellenálláserő miatt,
- a felszín közeli telepítés hátránya, hogy a felszín közelében kisebb a szél sebessége.

##### 3.3.1 Savonius szélturbina

A Savonius szélturbina egy egyszerű szerkezet, mely a test áramlásba helyezett ellenállását hasznosítja. Jellemzően két vagy három félhengert építenek egybe. A következő képen a szélturbina elvi ábrája látható.



2. ábra. Savonius szélturbina elvi vázlata [16]

A kerékre érkező szél miatt a félhengereken eltérő nagyságú ellenálláserő ébred, ami mozgásba hozza a szélkereket. Ennek az erőnek az értékét a következő formulával lehet kiszámítani:

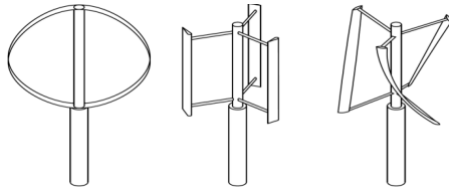
$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_D \cdot A \cdot v^2 \quad (1)$$

Az egyenletben  $F_D$ , az ellenálláserő,  $\rho$ , az áramló közeg sűrűsége,  $c_D$ , az ellenállás-tényező,  $A$ , a test keresztmetszete  $v$ , a szélsebesség.

Az egyenletben az ellenállás-tényező a beesési szög függvényében eltérő. Amennyiben a szél merőlegesen érkezik a két félkörre, akkor  $c_D$  értéke homorú felületen 1,33, domború felületen 0,34 [17].

##### 3.3.2 Darrieus szélturbina

A felhajtóerőt hasznosító függőleges tengelyű szélturbínák közül a legismertebb a Darrieus szélturbina, ami többféle kialakítással rendelkezik. A három leggyakoribb változata a következő ábrán látható.



3. ábra. Ívelt lapátos Darrius, H-rotor és Gorlov kerék [18]

A Darrius kerék a felhajtóerőt hasznosítja, így jobb a hatásfoka, mint az ellenállásérőt hasznosító szélturbináknak. Ehhez a nagyobb teljesítményhez azonban nagyobb indítónyomatékra van szükség, ezért az utóbbi időben egy külső indítómotorral szokták felszerelni őket. Ilyen indítómotor lehet egy elektromotor vagy egy Savonius kerék.

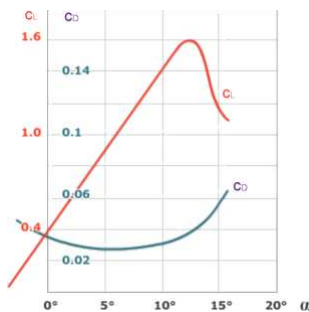
A „klasszikus” Darrius turbina (3. ábra) lapátozása egyenlő ívhosszú csavarodás nélküli szárnyprofilból készül. NACA profilokból a 0012 és 0018-as keresztmetszeteket szokták használni. Általánosságban elmondható, hogy minél vékonyabb a kiválasztott profil, annál kevésbé felel meg szilárdságtanilag. Minél vastagabb a profil, annál jobb az önindító képessége, mivel az ellenállás-tényezője is nagyobb. Ennek következménye, hogy nagyobb gyorsítási tényezők esetén rosszabb teljesítménnyel rendelkeznek, mint a vékonyabb profilból készült turbinák. Batista és társai szerint [19] NACA profilok esetén a 0020 keresztmetszet az a szélsőérték, melynek a használata még energetikailag indokolt lehet.

Ennél a típusú szélerőknél is a mozgás fő hajtóereje, a lapátokon ébredő erők. A felhajtóerő kiszámítható a következő formulával:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_L \cdot A \cdot v^2 \quad (2)$$

Az egyenletben,  $F_L$ , a felhajtóerő,  $c_L$ , a felhajtóerő-tényezője.

Szárnyprofilokon ébredő  $c_L$  és  $c_D$  értékeinek az összehasonlítása a következő ábrán látható.



4. ábra. Szárnyprofilon ébredő ellenállásérő és felhajtóerő jelleggörbéje [17]

A két skálán megfigyelhető, hogy a felhajtóerő-tényezője az ellenállásérő tényezőjénél közel egy nagyságrenddel nagyobb.

### 3.4 Szélturbinákkal kiegészített épületekről

A szakirodalom szerint a szélturbinával kiegészített épületeknek (BAWT - Building Augmented Wind Turbines) három típusa létezik. Az egyik, amikor a szélturbinát az épület valamely pontjára telepítik (épület fala, tető), a másik, amikor a turbinát két épület közé

telepítik. A harmadik esetben, amikor a szélturbina köré építik az épületet.

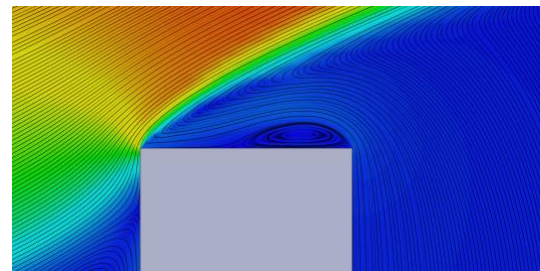
A három megoldás mindegyike kedvező, mert az épületek környezetében a szél számára elérhető áramlási tér lecsökken, így a kontinuitás törvény értelmében a szél sebességének gyorsulnia kell.

A következő ábrán az épület tetejére telepített szélturbinák láthatók.



5. ábra. Szélkerékkel kiegészített épület [20]

E telepítési módnál külön érdemes figyelni, arra, hogy ha a tetőn vannak műtárgyak (légkondicionáló egységek, oszlopok, kábelek, liftházak), kitarthatják a szelet a turbina előtt. Olyan áramlási képet is létrehozhatnak, hogy örvények és visszaáramlások keletkeznek, illetve a fal mellett kialakuló határreteg leválás miatt alacsonyabb szélsősebesség és közel szélcsend is kialakulhat. Egy saroknál keletkező határreteg leválás látható a következő ábrán.

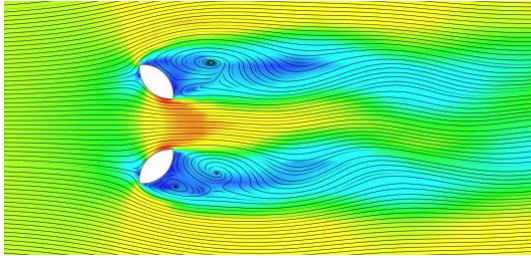


6. ábra. Határreteg leválás és egy visszaáramló örvény

A két épület közé telepített turbinára példa a bahreini Világkereskedelmi Központ, mely a következő ábrán látható. Ennél a típusnál a két épületet tölcsérszerűen vagy konfüzorként célszerű elképzelni. A beérkező szelet összegyűjtik és a két épület közötti résen átáramolva hajtják meg a közéjük szerelt szélturbinákat.



7. ábra. bahreini Világkereskedelmi Központ [21]



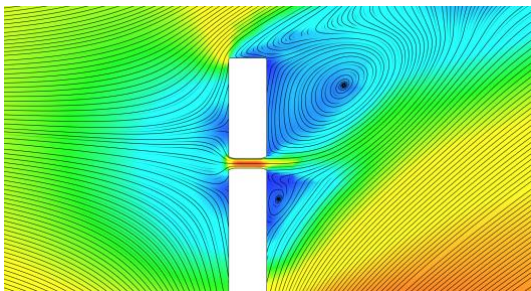
8. ábra. Két épület között kialakuló áramlási kép

Az ilyen épületek tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a felszerelt szélturbinák jellemzően nem rendelkeznek széllel szembeforgató mechanizmussal, így csak akkor gazdaságos szélturbinát telepíteni, ha az adott térség rendelkezik egy jellemző széliránnyal.

A harmadik esetben épületbe telepítik a szélturbinákat, valamelyik emelet helyére. Erre a típusra a Guangzhouban található Pearl River torony példa, mely a 9. ábrán látható. Ezeket az épületeket úgy alakítják ki, hogy a lehető legnagyobb beesési szögben össze tudják gyűjteni a szelet, és azt a turbinához tereljék. Ennek a típusnak az áramlási képe a 10. ábrán látható.



9. ábra. Pearl River torony és a benne lévő szélturbina [22, 23]



10. ábra. Épület közepén kihagyott résben kialakuló áramlás képe

#### 4 ÁRAMLÁSTANI SZIMULÁCIÓKRÓL

A numerikus áramlástani szimulációs szoftverek közül a SOLIDWORKS Flow Simulationt választottuk, ami egy véges térfogat módszerre (VTM) épülő hő- és áramlástani szimulációs szoftver a SOLIDWORKS CAD rendszerébe integrálva.

##### 4.1 Véges térfogat módszerrel általánosságban

A VTM alapú szimulációs szoftver a rendelkezésre álló teret véges térfogatú cellákra bontja, és az így kapott térrészekre a megmaradási tételek segítségével kiszámolja a nyomás, a sebesség és a hőmérséklet mezőket. Ez a számítás jellemzően a következő transzport egyenletre épül:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V U dV + \oint_A \underline{F} d\underline{A} - \int_V S_V dV + \oint_A \underline{S}_A d\underline{A} = 0 \quad (4)$$

Az egyenletben  $\frac{\partial}{\partial t}$  az időfüggő tag (állandósult állapotban értéke 0),  $U$ , egy maradó mennyiség térfogati sűrűsége,  $F$ , az adott jellemző fluxusa,  $S_V$ , térfogati forrás az adott  $F$  fluxusra,  $S_A$ , felületi forrás az adott  $F$  fluxusra,  $V$ , ellenőrző térfogat,  $A$ , az ellenőrző térfogat felülete.

A szoftver a tér diskretizált részeire egy kiindulási értékkel elvégzi a számításokat. Az így kapott eredményekkel újabb iterációkat végez, míg a szimuláció el nem éri az előírt leállítási kritériumot. Jellemzően ez a leállítási kritérium az egyenlet jobb oldalán lévő 0 érték közelítése egy elhanyagolható nagyságú hibával [24].

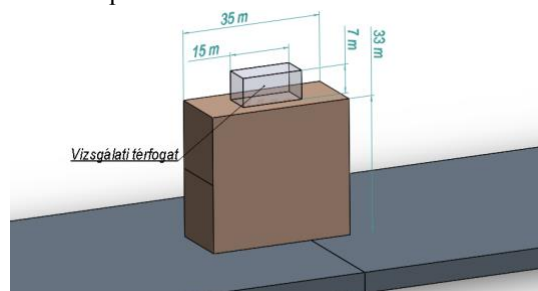
#### 5 VIZSGÁLT ESETEK

Szimulációinkban egy, a következő képen is látható 10 emeletes épületet vizsgáltuk meg, mely Budapest nagyobb lakóparkjaiban található.



11. ábra. 10 emeletes épületek egy budapesti lakóparkban

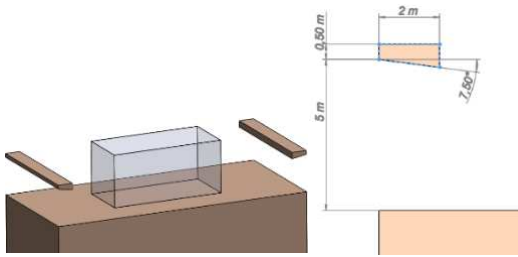
Vizsgálatunkhoz a geometriai méreteket egy térképszolgáltatató műholdképének segítségével lemértük, majd a liftház elhanyagolásával a következő ábrán látható geometriát kaptuk.



12. ábra. Vizsgált épület és közvetlen környezete

Ennek az épületnek a tetejét vizsgáltuk a lakópark többi épülete nélkül, 2D-s áramlástani szimulációval. Szimulációink célja az volt, hogy a lehető legnagyobb szélsősebességet érjük el a vizsgálati térfogatban.

Első ötletünk a belépőél módosítása volt letöréssel vagy lekerekítéssel. Ezt a módszert elvetettük, mivel a belépőél a már megépített épületek esetén nem, vagy csak nehezen módosítható. Így előterelőkkel felszerelve a sarokkezelés nélküli esetet vizsgáltunk. Előterelőnek a lehető legegyszerűbbet választottuk, melynek alapkonfigurációja a következő képen látható.

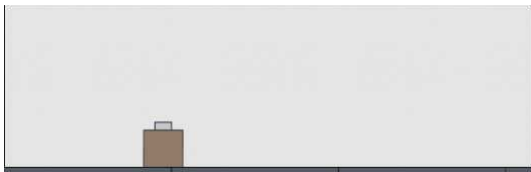


13. ábra. Kiindulási előterelő méretei

A kiindulási előterelő geometriát változtatva végestérfogat alapú szimulációs módszerrel megvizsgáltuk azt az esetet, mikor az előterelő hossza, dőlésszöge illetve függőleges és vízszintes helyzete változik.

### 5.1 Permfeltételek

Szimulációinkhoz síkáramlást feltételeztünk, mely estében a vizsgált keresztmetszetre merőlegesen nincs semmilyen változás. Az így kapott áramlási sík 475 x 150 méteres téglalap volt, melyben az épület elhelyezkedése a következő képen látható.

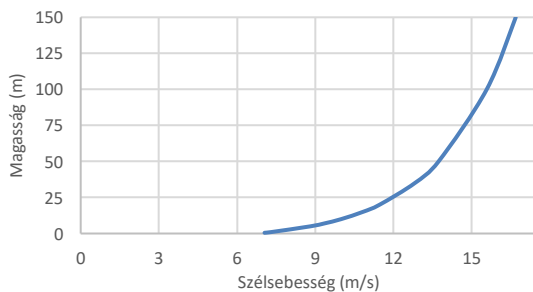


14. ábra. Áramlási tér

Az áramlási térbe belépő szélességet 10 méteres magasságban  $10 \frac{m}{s}$ -nak feltételeztük. Más magasságokban a WMO (World Meteorological Organization - Meteorológiai Világszervezet) által javasolt összefüggést használtuk [25] a szélesség becsléséhez. Az így kialakuló sebességprofil a következő képlettel számítható, és értéke az általunk vizsgált esetekben a következő ábrán látható.

$$v_h = v_{10} \cdot (0,233 + 0,656 \cdot \lg(h + 4,75)) \quad (5)$$

Az egyenletben,  $v_h$ , a vizsgált magasságban a szél becsült sebessége,  $v_{10}$ , a 10 méter magasságban mért szélesség,  $h$ , a vizsgált magasság.



15. ábra.  $v_{10} = 10 \frac{m}{s}$  esetén a szélesség profilja 0 és 150 méter magasság között

Az áramlási térben a turbulencia leírásához k-ε modellt használtunk.

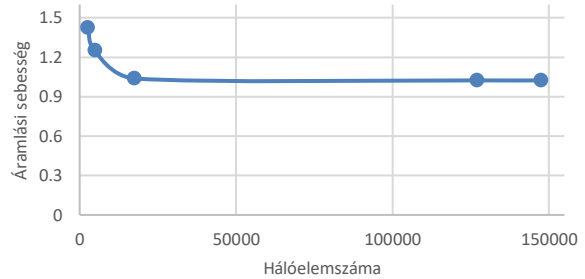
Az áramlási térben minden felületet ideálisnak tekintettünk, így sem felületi érdességgel, sem felületi egyenetlenséggel nem rendelkeztek. Az áramlási térben az áramlást semmilyen épített és élő környezeti elem nem befolyásolta.

### 5.2 Hálózás

A VTM az áramlási teret a nevében is szereplő módon, véges térfogatú elemekre bontja. Az általunk választott szoftver blokkstrukturált hálózást hoz létre, ami azt jelenti, hogy az áramlási tér felbontására csak téglatest elemeket használ, melyeket hálósűrítés esetén oldalfelezéssel oszt fel.

#### 5.2.1 Hálófüggetlenség

Az eredmények megbízhatóságának érdekében a végestérfogat hálónkat hálófüggetlenségi vizsgálatnak vetettük alá a kiindulási geometriával, melynek eredményei a következő ábrán láthatók.

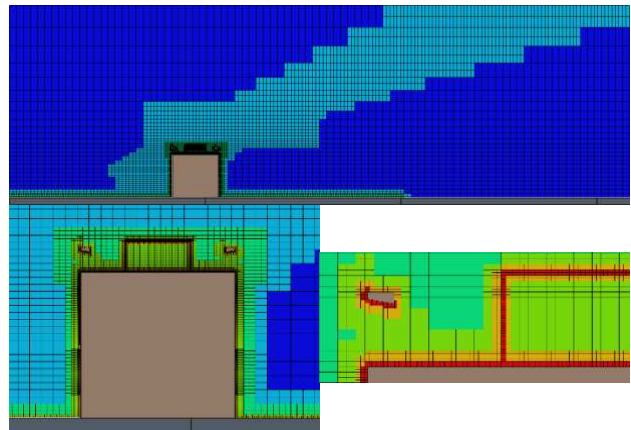


16. ábra. Vizsgált régió átlagos szélességének változása a hálózás függvényében

### 5.3 VT háló és egyéb feltételek

A vizsgált esetekben a hálózás elemszáma a tető kialakításától függően változott, kb. 220 000 és 225 000 darab között.

A következő ábrán az egyik előterelő esetében a hálózás látható. Kék színnel azokat a cellákat jelöltük, amelyek nem lettek oldalfelezéssel sűrítve. A piros szín felé haladva az oldalfelezések darabszámára tudunk következtetni (a piros szín öt darab oldalfelezést jelent).

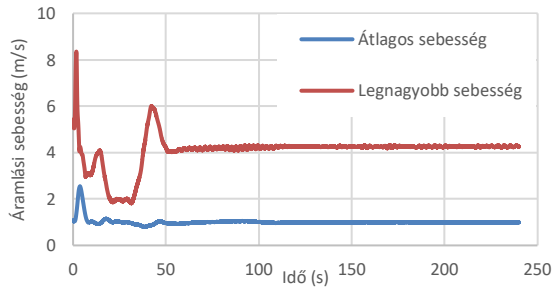


17. ábra. VT háló a kiindulási előterelő esetében

A szimulációkat állandósult állapotban futtattuk 200 iterációig, majd időfüggő szimulációként folytattuk 240 másodpercig, automata időlépéssel.

### 5.4 Vizsgált esetek

Az előzetesen említett vizsgálati térfogatban az áramlási sebesség átlagát folyamatosan figyeltük és a szimulációkat lefuttatva megállapítottuk, hogy az eredmények jellege a vártaknak megfelel. A következő ábrán a vizsgálati térfogatban az átlagos és a legnagyobb áramlási sebességek láthatók az idő függvényében.

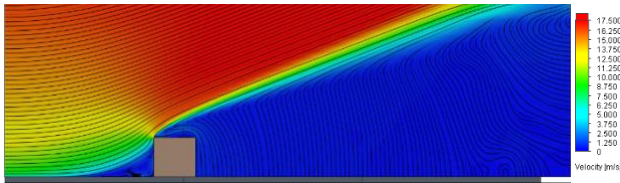


18. ábra. Az egyik előterelő eset, az áramlási sebességek maximuma és átlaga a vizsgálati térfogatban (az idő függvényében)

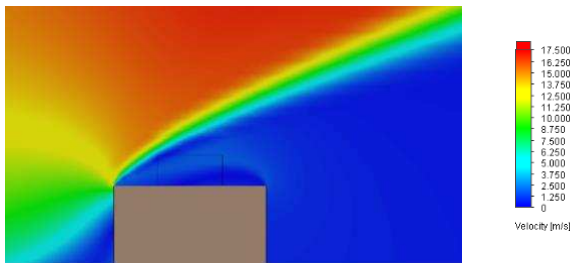
Kiértékelés során, az idősorok összehasonlítása helyett minden esetben az utolsó egy másodperc értékeinek átlagát vettük.

### 5.5 Szimulációk eredményei

Alap esetben, azaz előterelő nélkül a következő áramképet kaptuk az épület környezetében.



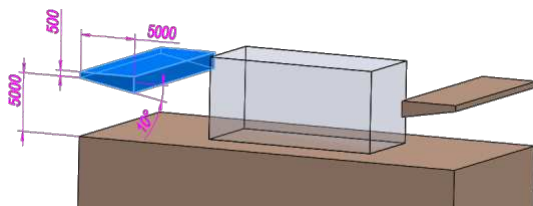
19. ábra. Előterelő nélküli épület környezetében az áramlási kép



20. ábra. Előterelő nélküli épület környezetében az áramlási kép (nagyított ábra)

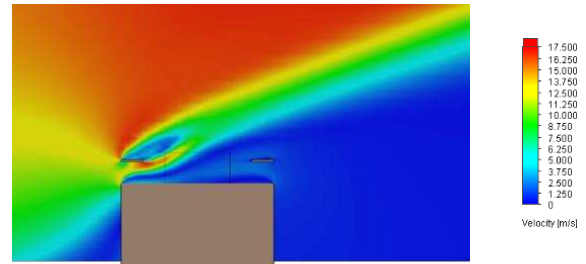
Előterelő nélküli esetben az átlagos szélesebbesség értéke az utolsó egy másodpercben a vizsgálati térfogatban  $1,023009617 \frac{m}{s}$  volt, míg a legnagyobb szélesebbesség  $1,731143327 \frac{m}{s}$ .

Következő lépésben az alábbi ábrán látható méretekkel futtattunk szimulációkat, úgy, hogy a dőlési szöget változtattuk 5-40°-ig.

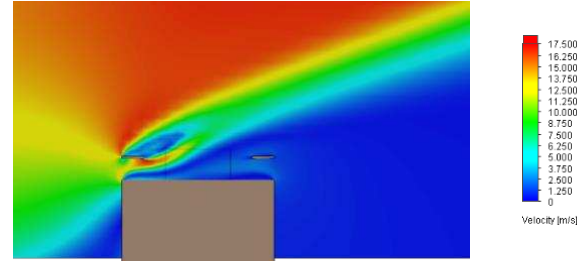


21. ábra. Dőlésszög optimalizáláshoz használt méretek

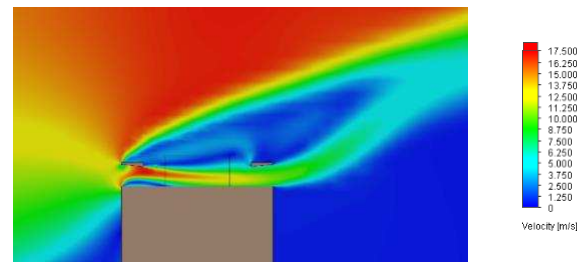
Szimulációink közül néhány eset sebességeloszlása a következő ábrákon látható.



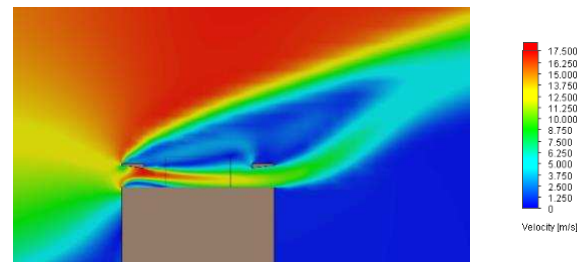
22. ábra. 5°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



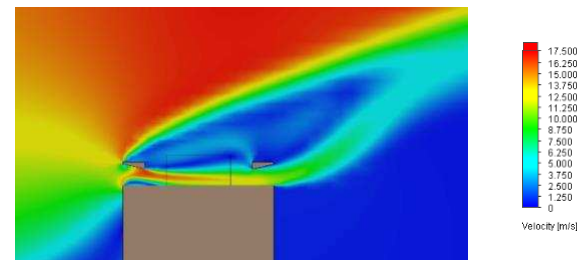
23. ábra. 10°-os dőlésszög áramlási kép az áramlási térben



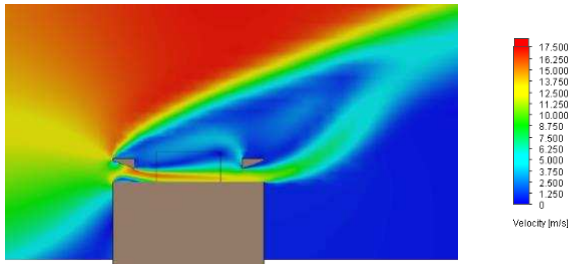
24. ábra. 15°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



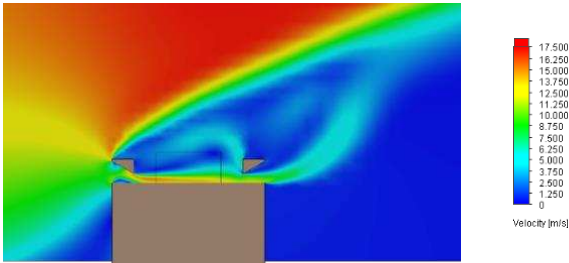
25. ábra. 20°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



26. ábra. 25°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

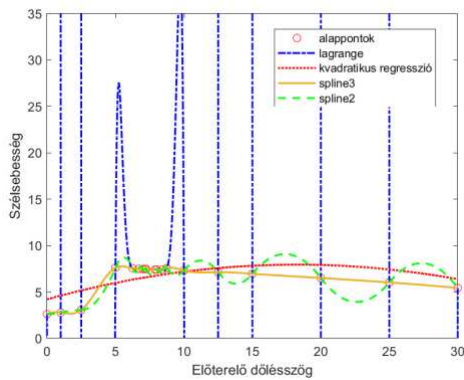


27. ábra. 30°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



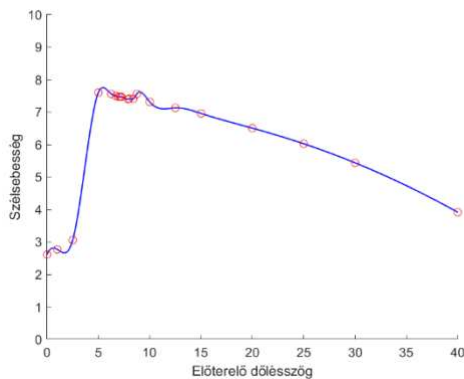
28. ábra. 40°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

A kapott eredményeket többféle közelítő eljárással vizsgáltuk, melyek a következő ábrán láthatók.



29. ábra. Vizsgálathoz használt interpolációs függvények

A 29-es ábrán látható interpolációs függvények közül a alábbi ábrán látható harmadfokú szplájn függvényt választottuk ki.

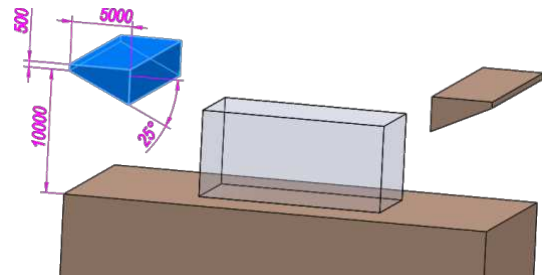


30. ábra. Vizsgálati esetek harmadfokú szplájn interpolációval összekötve

20 vizsgált dőlésszög esetén a függvényillesztés szerint a legnagyobb áramlási sebesség ( $7,7552 \frac{m}{s}$ )  $5,4439^\circ$ -os dőlésszöghöz tartozik.

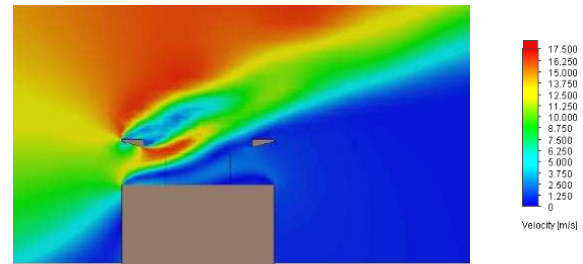
Még megállapítható, hogy a dőlésszög növelésével az áramlási sebesség legnagyobb értéke nőtt folyamatosan, mely az alacsony függőleges tengelyű szélturbináknak (VAWT) kedvez.

Ezt követően az eső jelleget vizsgáltuk, hogy az megjelenik-e a magasság változtatásával. Ehhez az 5 m-es magasságot 10 m-re növeltük. A vizsgálatot jóval kevesebb esetben futtattuk le  $15^\circ$  és  $45^\circ$  közötti tartományban.

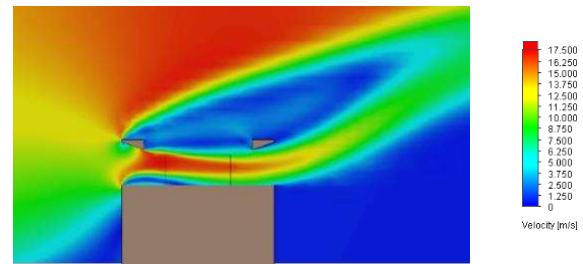


31. ábra. Magasított előterelő kiindulási geometriája

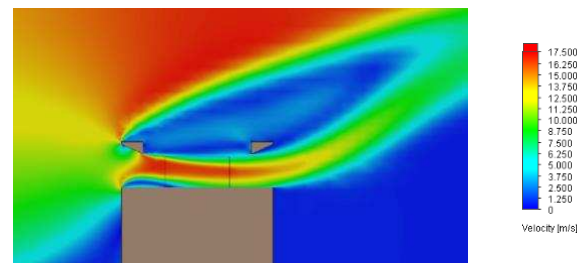
Az így lefutott esetekben a következő áramlási képeket kaptuk.



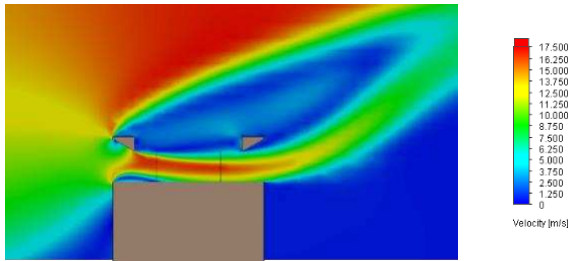
32. ábra. 15°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



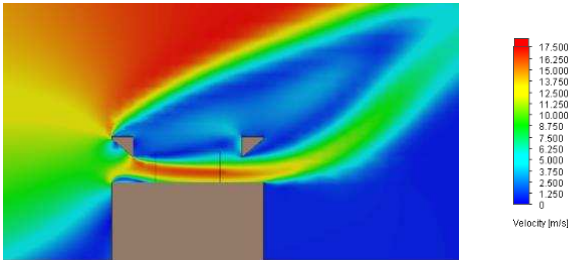
33. ábra. 20°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



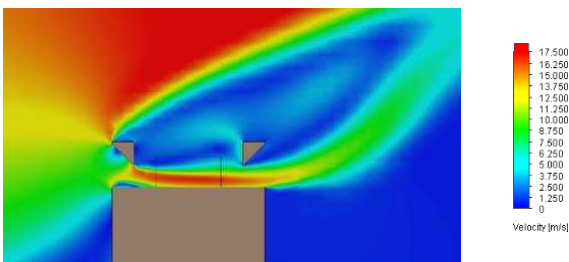
34. ábra. 25°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



35. ábra. 30°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

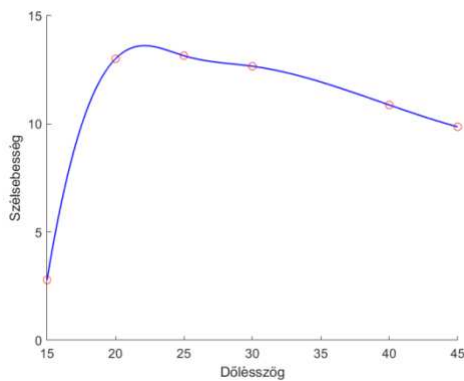


36. ábra. 40°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben



37. ábra. 45°-os dőlésszög esetén az áramlási kép az áramlási térben

A vizsgált esetekben az ellenőrző térfogatban kapott átlagos áramlási sebességek alakulása a következő ábrán látható.

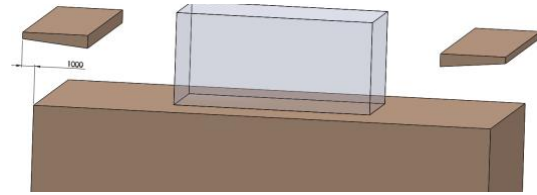


38. ábra. Magasított esetekben kapott átlagos áramlási sebességek harmadfokú szplájn interpolációval összekötve

Néhány ponton lefuttatva a szimulációkat megállapítottuk, hogy ugyanúgy létezik egy optimális dőlésszög, mint 5 méter magas előterelővel. Ennél a magasságnál a legnagyobb átlagsebesség ( $13,6138 \frac{m}{s}$ ) nagyobb dőlésszög esetén ( $22,0909^\circ$ ) volt megfigyelhető.

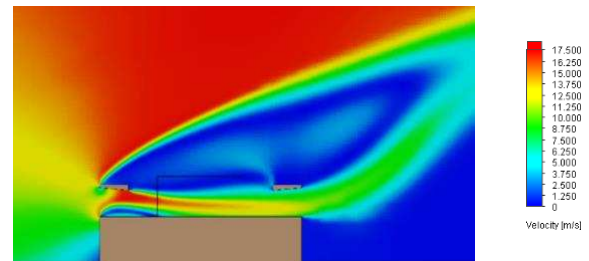
Ezen felül megállapítható, hogy a dőlésszög növelésével a vizsgálati térfogatba beteret levegő a térfogat alja felé tart.

Következő lépésként az előterelőt az épület síkfala elé kitöltük, ehhez egy magyarázó ábra látható a következő képen.

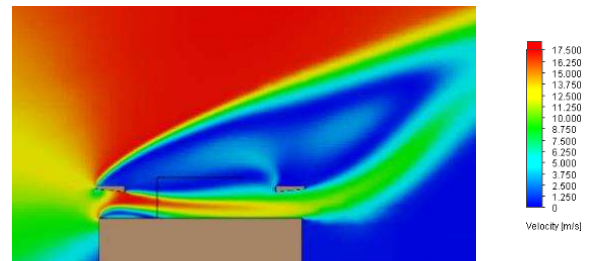


39. ábra. Az előretolás iránya és azt vezérlő méret

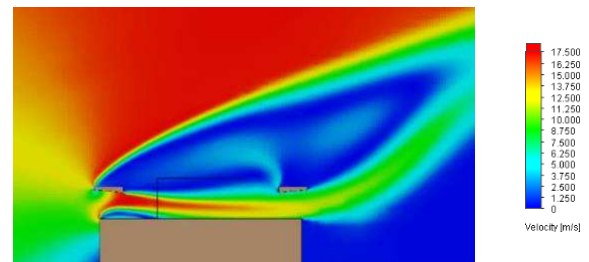
A szimulációkat 0 és 4 méter közötti tartományban futtattuk le. Az így kapott áramlási képek a következő ábrákon láthatók.



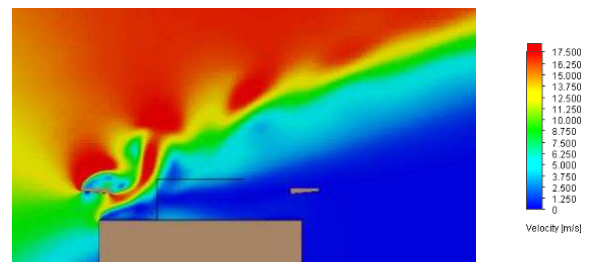
40. ábra. Áramkép a kiindulási állapot (0 m) esetén



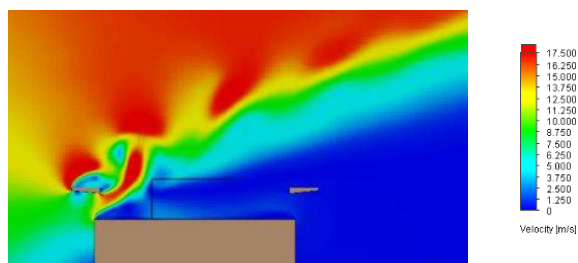
41. ábra. Áramkép a 0,5 méteres előtolás esetén



42. ábra. Áramkép a 1 méteres előtolás esetén

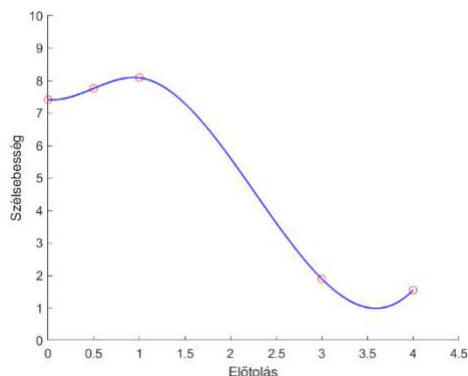


43. ábra. Áramkép a 3 méteres előtolás esetén



44. ábra. Áramkép a 4 méteres előtolás esetén

Az eredmények feldolgozását az előző kiértékelési módszer szerint végeztük és a következő ábrán látható.



45. ábra. Előterelő hatása a szélsébségre

Megállapítottuk, hogy 5,4439°-os dőlésszögű 5 méter hosszú előterelő a legnagyobb szélsébséget ( $8,0983 \frac{m}{s}$ ) 0,9394 méteres előtolás esetén tudja előállítani.

Ezekon a szimulációkon kívül még vizsgáltuk azokat az eseteket is, amikor az előterelő hossza változik. Ekkor azt tapasztaltuk, hogy az átlagos áramlási sebesség nem nő, de a legnagyobb sebesség igen. Viszont az is csak az ellenőrző térfogat alsó régiójában, amerre az előterelő terelte a szelet.

### 5.6 Eredmények kiértékelése

Szimulációs eredményeinket összegezve megállapítottuk, hogy az előterelő nélküli esethez képest előterelővel közel nyolcszoros szélsébséget lehet előállítani.

Kiindulási esetünkben az épület tetején a határreteg leválása miatt átlagosan  $1,023 \frac{m}{s}$  szélsébség volt tapasztalható a vizsgálati térfogatban. Előterelővel és annak megfelelő mértékű szűkítésével és előterelővel  $8,098 \frac{m}{s}$  átlagos szélsébséget tudunk előállítani.

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk kiindulópontja az volt, hogy forráselemzésünk során nem találtunk reprodukálhatóan dokumentált esetet az adott témában. Ezért egy budapesti lakóparkban lévő épület geometriáját kiegészítettük egy előterelővel, melynek méretét egy végésterfogat szimulációs szoftver segítségével optimalizáltuk. A kiindulási szélsébséghez képest nyolcszoros sebességnövekedést tudunk elérni a vizsgálati térfogatban.

Kapott eredményeinket a későbbiek során fel tudjuk használni 2,5D-s és 3D-s szimulációkhoz, mely során a telepíteni kívánt szélturbina geometriáját is vizsgálhatjuk. Ezt a munkát folytatva egy intelligens, önbeállító előterelő rendszer szabályzásához előállítható egy adathalmaz, mely

a szélsébség függvényében tartalmazza az optimális széltermeléshez szükséges magasság-, dőlésszög- és előtolás értékeket.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA ÚNKP-18-3-I-OE-87 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Frankfurt School – UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance (2018). Global trends in renewable energy investment 2018, <https://europa.eu/capacity4dev/file/71900/download?token=57xpTJ4W> p. 15. (2018.09.30.)
- [2] Y. Ozmen, E. Baydar, J.P.A.J. van Beeck (2016). Wind flow over the low-rise building models with gabled roofs having different pitch angles, *Building and Environment*, 95, p.63-74, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.09.014>
- [3] Islam Abohela, Neveen Hamza, Steven Dudek (2013). Effect of roof shape, wind direction, building height and urban configuration on the energy yield and positioning of roof mounted wind turbines, *Renewable Energy*, 50, p. 1106-1118, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.068>
- [4] L. Ledo, P.B. Kosasih, P. Cooper (2011). Roof mounting site analysis for micro-wind turbines, *Renewable Energy*, 36, p.1379-1391, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.030>
- [5] Wind energy, [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power) (2018.09.30.)
- [6] European Wind Energy Association (2014). Wind energy scenarios for 2020, p.4. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/scenarios/EWEA-Wind-energy-scenarios-2020.pdf> (2018.09.29.)
- [7] WindEurope (2017) Wind energy in Europe: Scenarios for 2030 p.17-18. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-Europe-Scenarios-for-2030.pdf> (2018.09.29.)
- [8] U.S. Department of Energy (2008). 20% Wind Energy by 2030, p.2. <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf> (2018.09.29.)
- [9] International Energy Agency (2011) Technology Roadmap - China Wind Energy Development Roadmap 2050 p. 23-25 [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/china\\_wind.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/china_wind.pdf) (2018.09.29.)
- [10] World Wind Energy Association (2017). 2017 Small Wind World Report [https://www.windea.org/wp-content/uploads/filebase/small\\_wind\\_SWWR2017-SUMMARY.pdf](https://www.windea.org/wp-content/uploads/filebase/small_wind_SWWR2017-SUMMARY.pdf) (2018.09.29.)
- [11] Canadian Wind Energy Association (2006). Small Wind Siting And Zoning - Study Development Of Siting Guidelines And A Model Zoning By-Law For Small Wind Turbines (Under 300 kW) p. 3. [http://www.toolkit.bc.ca/sites/default/files/Small\\_Wind\\_Siting\\_By\\_law%20and%20Guidelines.pdf](http://www.toolkit.bc.ca/sites/default/files/Small_Wind_Siting_By_law%20and%20Guidelines.pdf) (2018.09.30.)
- [12] Szélturbina méretek és a hozzájuk tartozó jellemző magasság <https://electrical-engineering-portal.com/wp-content/uploads/wind-turbine-sizes.gif> (2018.10.07.)
- [13] Wind turbine [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine) (2018.12.27.)
- [14] Savonius wind turbine [https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius\\_wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine) (2018.10.03.)
- [15] Georges Jean Marie Darrieus [https://en.wikipedia.org/wiki/Georges\\_Jean\\_Marie\\_Darrieus](https://en.wikipedia.org/wiki/Georges_Jean_Marie_Darrieus) (2018.10.03.)
- [16] Savonius turbine elvi vázlata <http://www.savonius.net/uploads/7/2/7/6/7276038/2989902.gif> (2018.10.01.)
- [17] Szlvika Ferenc, Molnár Ildikó (2012). Víz- és szélenergia hasznosítás, *Eduus Főiskola Kiadó*, [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017\\_10\\_viz\\_es\\_szelenergia/ch03s06.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_10_viz_es_szelenergia/ch03s06.html) (2017.04.07.)



- [18] Casini, M (2016). Small Vertical Axis Wind Turbines for Energy Efficiency of Buildings. *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(1), p.56-65.
- [19] Nelson C. Batista, Rui Melicio, Victor M.F. Mendes (2018). *Darrieus vertical axis wind turbines: methodology to study the self-start capabilities considering symmetric and asymmetric airfoils*. Research on Engineering Structures and Materials, 4(3), 189-217. DOI: <http://dx.doi.org/10.17515/resm2017.39ds0108>
- [20] Szélturbinával kiegészített épület  
[https://inhabitat.com/files/swift\\_commercial.jpg](https://inhabitat.com/files/swift_commercial.jpg) (2018.10.07.)
- [21] Bahreini Világkereskedelmi Központ  
[http://lh3.googleusercontent.com/-KK\\_pVixjmX4/VlaSjOBN\\_9I/AAAAAAAAABI-E/JmGCwdnQGrS/bahrain-world-trade-center-9%25255B6%25255D.jpg](http://lh3.googleusercontent.com/-KK_pVixjmX4/VlaSjOBN_9I/AAAAAAAAABI-E/JmGCwdnQGrS/bahrain-world-trade-center-9%25255B6%25255D.jpg) (2018.10.07.)
- [22] Pearl River torony  
[http://smithgill.com/media/images/project\\_images/534/pearl\\_5.jpg](http://smithgill.com/media/images/project_images/534/pearl_5.jpg) (2010.10.07.)
- [23] Szélturbina a Pearl River toronyban  
[https://www.som.com/FILE/17902/pearlriver\\_sustainable\\_700x800\\_som\\_07.jpg](https://www.som.com/FILE/17902/pearlriver_sustainable_700x800_som_07.jpg) (2018.10.07.)
- [24] Hetyei Cs., Dr. Szlvika F. (2018). Lapátszög-szabályzás hatása a nyomatékra. *Bánki Közlemények*, 1(1) p. 83-88.
- [25] Tóth Gábor (2005). Energia célú szélmérés, p. 91.  
[http://phd.szie.hu/JaDoX\\_Portlets/documents/document\\_3450\\_section\\_4085.pdf](http://phd.szie.hu/JaDoX_Portlets/documents/document_3450_section_4085.pdf) (2018.10.18.)

# Munkaszimulátorok alkalmazása sérülékeny munkavállalók munkahelyi biztonsága és egészségvédelme érdekében

## Applying worksimulators for health protection and safety of vulnerable employees

Jókai Erika PhD

Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország  
jokai.erika@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás** — Hazánkban az alacsony születésszám munkaerőpiaci hiányhoz vezet, ezt jelenleg tetézi az aktív korú népesség külföldre vándorlása, és az idősödő társadalmakra jellemző általános gazdasági problémák. A munkaerőpiac „rejtett tartalékai” az alacsonyan képzett vagy szakképesítés nélküli személyek, illetve a megváltozott munkaképességű és fogyatékos emberek. Ahhoz, hogy ők a számukra is megfelelő, biztonságos és az egészséget nem veszélyeztető munkaköröket és munkakörülményeket elérhessék, a munkavállalóknak ismerniük kell egyéni képességeiket és korlátaikat; a munkaadóknak pedig tisztában kell lenniük a speciális szükségletekhez igazítható munkahelykialakítás és munkaszervezés szempontjaival. Kutatásunkban sérülékeny és nem sérülékeny munkavállalók munkavégzéssel kapcsolatos kompetenciáit hasonlítottuk össze munkaszimulátorok és más munkapszichológiai képességvizsgáló műszerek segítségével. Kidolgoztunk egy értékelési módszert, amellyel az egyéni munkavégzéshez kapcsolódó funkcionális képességek objektíven mérhetővé és statisztikailag összehasonlíthatóvá válnak, valamint a szakmai és munkaköri elvárások szintjéhez viszonyíthatók, ezzel pedig a munkáltatói kiválasztási folyamatot is segítheti.

**Kulcsszavak:** munkaképesség, munkaszimulátorok, sérülékeny munkavállalók

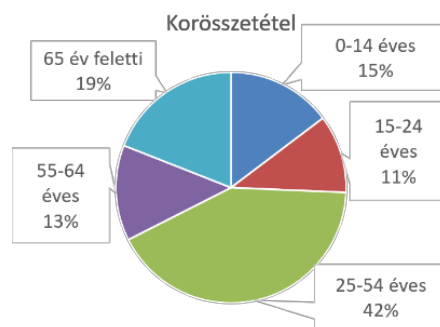
**Abstract** — In Hungary, low birth rate leads to labor market shortages, and this is currently exacerbated by the fact, that the active age population migrates abroad, furthermore the economic problems specific to aging societies. The „hidden reserves” of the labor market are the low-skilled or unskilled persons, and disabled workers. In order to they have access to safe and healthy jobs and working conditions, employees need to know their individual work abilities and limitations; and on the other hand, employers should be aware of the specific needs of their employees concerning the workplace design and organization. In our research, we compared the competencies of vulnerable and non-vulnerable workers by using worksimulators and other psychological skill assessment instruments. We have developed an evaluation method which enables the work competencies to be objectively measurable and statistically comparable on the level of professional expectations and it can also help the job selection process.

**Keywords:** work aptitude, worksimulators, vulnerable employees

### 1 BEVEZETÉS

Magyarország Alaptörvénye kimondja, hogy „minden munkavállalónak joga van az egészségét, biztonságát és méltóságát tiszteletben tartó munkafeltételekhez”. [1] A Munkavédelmi törvény értelmében a sérülékeny munkavállalói körbe azon személyek sorolhatók, akiknél testi, lelki adottságaik, állapotuk következtében a munkavégzéssel összefüggő kockázatok fokozottan fenyegetnek, illetve akik maguk is fokozott kockázatot jelentenek a munkavégzésük során. Ide tartoznak a fiatalkorúak, szoptató anyák, idősödő munkavállalók és a megváltozott munkaképességű személyek. [2]

Hazánk népességének korösszetétele (1. ábra) igazolja, hogy az aktív életkori tartományban az idősödő korosztály (40 év feletti munkavállalók) aránya magasabb és a jövőben sem várható alacsonyabb életkori átlag. (forrás: Index Mundi, 2019)



1. ábra: Magyarország lakosságának korösszetétele, 2019 (saját ábra)

Magyarországon a KSH adatai szerint 2014-ben a 65 éven felüliek közel 7,4%-a (170 000 fő) volt aktív kereső. [6] Habár a bejelentett foglalkozási megbetegedések száma folyamatosan csökkenő tendenciát mutat, évente 200-250 esetből az 50 év feletti dolgozók átlagosan az esetek felében érintettek. A vezetett foglalkozás-egészségügyi adatok szerint 2016-ban a foglalkozási megbetegedések statisztikáját a bányászat, a feldolgozóipar és a humán egészségügyi ellátásban dolgozók vezetik. A megbetegedések elsősorban a rossz munkakörülmények miatt kialakuló légúti és vázizom-rendszeri megbetegedések, bőrbetegségek, fertőzések és sugárzások. [7]

A KSH 2016-os adatai alapján közel öt-hatszáz ezer fogyatékossgal élő lakosból foglalkoztatott csupán 65 ezer fő volt. [6] A hazai munkaerőpiaci esélyegyenlőséget elősegítendő, törvényi előírás, hogy a 25 fő alkalmazotti létszámot elérő vállalatoknál a létszám minimum 5 %-ban kötelező megváltozott munkaképességű dolgozót foglalkoztatni. Aki nem tesz eleget ennek a kvótának, a betöltetlen álláshelyek után évente az aktuálisan megállapított alaphér kötelező legkisebb összegének kilencszeresét kell betöltetlen álláshelyenként rehabilitációs hozzájárulás címén az államkasszába fizetni. [8] Évente közel 60-70 ezer betöltetlen álláshely után érkezik befizetés, holott munkaerő rendelkezésre állna.

Nem csak negatív, hanem pozitív ösztönzőket is alkalmaz a kormány. Azon vállalkozások, amelyek vállalják, hogy a dolgozók negyede tartósan a megváltozott munkaképességű személyekből áll, ott a dolgozók esetleges átképzésére, munkabér támogatásra, illetve adófizetési kedvezményekre, valamint a munkahelyek ésszerű akadálymentesítésére, a munkába járás és mentorálás költségeire is pályázati támogatást igényelhetnek. [9]

MSZ EN 1005-4:2005+A1:2009 harmonizált szabvány az ember fizikai teljesítménye, valamint a munkavégzés közben felvett, az egészséget nem károsító testtartásokat és mozgásokat is definiálja, ezzel segítséget nyújt a biztonságos és egészségre nem ártalmas munkahelyek kialakításában. [10]

Általánosságban elmondható, hogy a sérülékeny munkavállalók foglalkoztatása a munkáltató számára nagyobb kockázatot és körütekintőbb munkaszervezést jelent. Csökkenteni szükséges a fizikai kóros tényezőket (zaj, vibráció, kellemetlen klímahatások), a fizikai munka nehézségét (statikus, repetitív terhelés), az időkényszert, a munkaidő hosszát (rövidebb vagy rugalmas munkaidővel, több szünettel), a túlmunkát és a műszakos munkavégzést. Ezzel nem csak a sérülékeny csoportba tartozó munkavállalók, hanem minden (még) nem érintett dolgozó egészségének fokozottabb védelme és munkakörülményeinek javulása valósul meg.

Mindezek mellett a fogyatékossgal élő és megváltozott munkaképességű emberek foglalkoztatásának egyik legegységesebb gátló tényezője az, hogy nem áll a munkáltatók rendelkezésére hiteles információ vagy jó gyakorlat, amely alapján mernének sérülékeny munkavállalókat nagyobb létszámban foglalkoztatni. Kutatásunkban a munkaszimulátorok és más objektív adatokat eredményező munkapszichológiai mérőműszerek munkaköri alkalmasság vizsgálatában való alkalmazásának jelentőségét és az egészségvédelemben betöltött szerepét kívántuk igazolni.

### 1.1 A kutatás előzményei

2018 január-december között kutatócsoportunk részt vett a KILÁTÓ Piarista Pályaorientációs és Munkaerőpiaci Fejlesztő Központ (továbbiakban: Kilátó Központ) intézményi szakmai protokolljának kidolgozásában, ezen belül a műszeres munkadiagnosztikai felmérések módszertanának megalkotásában.

A Kilátó projekt legfőbb célkitűzései között szerepel az, hogy egyenlő esélyű támogatást biztosítson mind az életpálya-tanácsadás, mind a továbbképzés és mind a munkaerő-piaci szolgáltatások területén a fogyatékossgal élő és NEET (sem szakképzésben, sem

munkaerőpiacon meg nem jelenő), elsősorban 16-30 év közötti fiatalok számára.

A műszeres munkadiagnosztikai felmérések a pályaválasztás vagy pályamódosítás folyamatát segíthetik. Jelenleg a fiatalok számára a Nemzeti Pályaorientációs Portál információi nyújtanak tájékoztatást a szakmákról és a betöltésükhöz szükséges követelményekről. Az általános és a középiskola/gimnázium végzős tanulóit a pedagógusok is segítik pályaorientációs tanácsadással és pályaválasztási programokkal (pl. gyárlátogatások). Az iskolákban a fiataloknak meg kell jelölniük, hogy milyen szakmát választanának, illetve milyen iskolában szeretnének továbbtanulni, és ennek megfelelően orvosi pályalkalmassági vizsgálaton kell részt venniük. Ez a felmérés a fiatalok általános egészségi állapotáról, fizikai, mentális és érzékszervi képességeiről, terhelhetőségéről ad információt. A választott iskola vagy képzési hely ennek ismeretében dönt a felvételtől. Amikor a fiatal nem tudja eldönteni, milyen szakmát válasszon, vagy nincs tisztában a képességeivel, lehetősége van pályaválasztási mentor segítségét kérni.

A munka világában a munkaalkalmassági vizsgálat általában interjú és néhány gyakorlati feladat végrehajtását jelenti, amely az adott munkakörnyezetben gyakran előforduló feladattípusokból áll.

Mindkét felmérés sok szubjektív értékelési elemet tartalmaz, és ezért gyakran előfordul, hogy a fiatalok nem a képességeiknek megfelelő szakmát vagy pályát választják.

A Kilátó Központ által indított kutatás éppen a pályalkalmassági felméréseket objektívvá tevő vizsgálati módszeregyüttes létrehozását tűzte ki célul. A kutatás során az ErgoScope munkaszimulátorral, valamint a szintén hazai fejlesztésű, a Struktúra Instruments Kft által gyártott hordozható munkapszichológiai rész-képesség-vizsgáló műszerekkel dolgoztunk. A pilot felmérések eredményeit és a módszertani kézikönyveket a Kilátó Központ számára részletesen dokumentáltuk. [3] [4]

A felmérés tapasztalatai azonban rámutattak arra, hogy nem elegendő csupán a kutatás célcsoportját adó - a munkaerőpiacon majdan a sérülékeny munkavállalói körbe tartozó - fiatalok munkavégzési kompetenciájának feltérképezése a sikeres pályaválasztás és elhelyezkedés érdekében. A munkáltatók számára a konkrét munkakörök és szakmák műveléséhez szükséges képességek, korlátozó vagy kizáró okok objektív igazolására és a sérülékeny munkavállalók biztonságát és egészségvédelmét szolgáló beavatkozási pontok meghatározására is igény mutatkozik. A nagyobb munkáltatók a munkaköri kiválasztási folyamatban általában szakmai és orvosi alkalmasság-vizsgálatokat végeztenek. Ezért felülvizsgáltuk az érvényben lévő foglalkozás-egészségügyi alkalmasság értékelési rendszerét és javaslatokat fogalmaztunk meg a műszeres munkadiagnosztikai vizsgálatok bevezetésére.

Ennek megalapozására igazolni kívántuk a műszeres képességfelmérés és képességfejlesztés szerepét a munkaköri kompetencia értékelés folyamatában.

### 1.2 Munkadiagnosztikai felmérések típusai

A munkadiagnosztikai felmérés támogathatja az egyéni képességeknek, érdeklődésnek megfelelő szakmakeresést, konkrét szakmai elképzelés esetén pedig az alkalmasság megállapítását. A köznyelvben a képességvizsgálat és az alkalmasság-vizsgálat időnként szinonimaként használatos,

mi azonban lényegesnek tartjuk megkülönböztetni a két, egymástól különböző, de mégis összetartozó eljárást.

Az alkalmassághoz, mint munkaköri követelményhez a munkavállaló képességei, tapasztalatai, ismeretei, motivációi, attitűdjei tartoznak. Annak az elbírálása, hogy valaki alkalmas-e az adott munkakör betöltésére, különböző szintű követelményeknek kell megfelelni. Ezek egy része adott, mint például a jogi, szakmai és képzettségi követelmény. Másrészt bármilyen munkakör betöltéséhez minden esetben szükséges a foglalkozás-egészségügyi vizsgálat. A munkapszichológiai alkalmassági vizsgálat nem elvárás a munkáltatók részéről, de az azon való megfelelés esetén nagyobb esélye van a munkavállalónak arra, hogy beválik az adott munkakörben. Ezek a vizsgálatok általában a mentális és kognitív, a pszichomotoros képességeket, egyes releváns személyiségjellemzőket és a munkával kapcsolatos motivációkat, attitűdöket tárják fel. Tehát az alkalmasság-vizsgálatok szintén mérnek bizonyos részképességeket, a vizsgálat céljában van csak eltérés: az alkalmassági vizsgálatnál a valamire való megfelelés igazolása, míg a képességvizsgálatoknál az adott képességek felmérése a cél. [4]

### 1.3 Felmérés és fejlesztés munkaszimulátorokkal

A munkaalkalmassági és munkaköri kiválasztás során a munkáltatók a leendő munkavállalók szakmai tudását, képességeinek szintjét, készségeit, fejleszhetőségét mérik fel. A munkadiagnosztikai műszerekkel végzett egyszeri felméréssel egy adott pillanat, szituáció teljesítménye rögzíthető. Az egyszeri mérések (különösképpen, ha a mérőeszközök köre megfelelően széles) általánosan képet adnak az egyéni képességek szintjéről a pályaorientáció vagy a pályamódosítás támogatásához.

A többször, ismételten elvégzett mérések kiküszöbölhetik egy rossz nap, betegség vagy egyéb aktuális külső tényező hatását a mérés eredményére (pl. zavaró zajok vagy más személyek jelenléte, izgatottság vagy félelem stb.). A tudatosan tervezett ismételt mérések lehetővé teszik, hogy a mérések eredményeinek elemzésével a részképességek változásait nyomon kövessük.

A mérőműszerek többszintű nehézségi fokozatú feladatsorokat biztosítanak, ezáltal a felmérések egyénre szabhatók, illetve az egyéni részképesség-fejlesztés programja kidolgozható. [5]

## 2 MÓDSZEREK

A pilot felmérésekhez vizsgálati és értékelési protokollt dolgoztunk ki a vizsgálóeszközök tapasztalt szakértőinek bevonásával. A felmérések során a vizsgálati személyek részképességeinek általános felmérését végeztük el. A felmérések adatait statisztikai módszerekkel elemeztük, és létrehoztunk egy automatikus értékelési eljárást. Az itt kapott eredményeket a pálya- vagy munkaorientációs tanácsadásban lehet felhasználni.

Másik célunk az volt, hogy a próbamérések alkalmával tapasztalatot szerezzünk arról, hogy milyen típusú fogyatékossgal élő személyek melyik szimulátorelemekkel és műszerekkel tudnak hatékonyan dolgozni, milyen programokat lehet adaptálni a sérültségükhöz és mely vizsgálóprogramok alkalmatlanok az adott részképesség vizsgálatára a jelenleg rendelkezésünkre álló diagnosztikai mérőműszerekkel és azok felhasználói felületeivel.

### 2.1 Az alkalmazott diagnosztikai eszközök bemutatása

A felmérések során magyar fejlesztésű munkaszimulátort és munkapszichológiai mérőműszereket használtunk.

Általános célú, komplex munkaszimulátor: 3 paneles ErgoScope munkaszimulátor, 36 munkaszituációban 203 paraméter rögzíthető. Ezek a statikus és dinamikus erőmérések; fogási, tapintási funkciók, billentyűzetkezelés, kéz és csukló erőkifejtése; forgató- és nyomógombok, kapcsolók kezelése, összetett munkabírás és monotóniaturés vizsgálati helyzetekhez kapcsolódnak. [3]

Hordozható munkapszichológiai képességvizsgáló műszerek: a komplex munkaszimulátor kiegészítőjeként ezekkel az eszközökkel az egyes munkatevékenységek szempontjából releváns kognitív, pszichomotoros és percepció (érzékszervi) képességeket mérhettük fel. [4] (1. táblázat)

1. táblázat: Munkapszichológiai képességvizsgáló műszereink

[1] Mérési cél	[2] Vizsgálóeszközök
Kognitív képességek felmérése (figyelem, emlékezet, gondolkodás, tanulási képesség)	Figyelemképesség vizsgáló
	Komplex szenzomotoros vizsgáló műszer
	Tachisztozkóp
	Tanulás és emlékezet vizsgáló
Pszichomotoros képességek felmérése (kéz- és ujjgyűesség, egyensúlyérzék, állásstabilitás)	Ricossay-féle kéz- és ujjgyűesség vizsgáló
	Bonnardel-féle kéz- és ujjgyűesség vizsgáló
	Crawford-féle munkapróba
Érzékszervi modalitások, közeli és távoli objektumok látásának észlelése	Mélységlátás vizsgáló készülék

A figyelem, emlékezet, gondolkodás, tanulási képesség olyan részképességek, amelyek egyike sem önálló lelki jelenség, hanem egymással szorosan összefüggenek, egymásra hatással vannak. Ezért a különböző eszközökkel mért teljesítmény-mutatók értékelése is összevontan végezhető.

A pszichomotoros képességek felmérésére választott mérőeszközök mindegyike a kéz- és ujjgyűességet, finommotoros funkciókat méri és mindhárom eljárásnál valós tárgyakkal, munkaeszközökkel kell dolgozni. E feladatok teljesítéséhez is szükséges bizonyos mentális képesség (figyelem, emlékezet, gondolkodás, tanulási képesség), de fő szempont a mozgásgyűesség és a munkamód jellemzőinek megfigyelése és a munkateljesítménnyel összefüggő adatok rögzítése. Az értékelés főbb szempontjai voltak: tempó, ritmus, reakcióidő, mozgékonyág, önállóság, koordináció, precizitás, megfigyelés, finomság, észszerűség, óvatosság, gondosság, magatartás az anyaggal, magatartás az eszközzel, munkakedv, kitartás, fáradékonyág, oppozíció, ellenállás a monotóniával szemben, gyakoroltság, célszerűség. A Stabilométer a testtartás stabilitásának, a vizsgálati személy saját egyensúlyának az észlelésére, az állásbiztonságának mérésére szolgál. Olyan munkaköröknél, ahol fontos az állásstabilitás, a járásbiztonság, mint például a magasban dolgozó építőipari munkások, távvezeték szerelők, a mozgó járműveken

dolgozó jegyvizsgálók, légiutas-kísérők, stb. A rehabilitáció területén is egyre nagyobb teret hódít az alkalmazása – traumás koponyasérülést követően létrejövő egyensúlyzavar fejlesztésére, mozgássérültek koordinációjának vizsgálatára és fejlesztésére egyaránt használható.

A mélyéglátás vizsgáló eszközzel a termélység érzékelésének minőségét mérjük. A termélység érzékelése azoknak a fizikai, fiziológiai és pszichofizikai jelenségeknek az összessége, amelyek segítségével a normál, felnőtt ember a tőle különböző távolságokra elhelyezkedő tárgyak pontos lokalizációjára, távolságuk pontos becslésére képes. Több szakma korlátozó vagy kizáró tényezői között szerepel a csökkent termélység-érzékelési képesség (pl. darukezelő, árumozgató, járművezető, forgalomirányító, manikűrös, villamos feszültség alatt végzett munka stb.)

## 2.2 A vizsgálati minta bemutatása

A pilot vizsgálatok első felében teljeskörű (nem célzott) munkadiagnosztikai felmérést és adatgyűjtést folytattunk SNI és fogyatékossgal élő fiatalok részvételével (n=100) a 3 paneles ErgoScope munkaszimulátor használatával és 9 darab asztali képességvizsgáló eszköz használatával (n=50). A mintánkban 13-30 éves (általános és középiskolás, speciális és integrált intézmények pályaválasztás előtt álló tanulói, aktív és álláskereső, fogyatékos, SNI és néhány fő ép) fiatal volt. A 100 fős mintában 46 fő tanuló, 16 fő álláskereső, 30 munkaerőpiacon aktív fogyatékos személy, 8 ép személy (3 tanuló, 5 aktív munkavállaló) volt. A mintában a fogyatékossgai típusok szerinti megoszlás a következő volt: 3 fő beszéd fogyatékos, 6 fő nagyothalló, 5 fő gyengén látó, 3 fő vak, 11 fő autizmussal élő, 13 fő középsúlyos értelmileg akadályozott, 19 fő enyhe értelmi fogyatékos, 14 fő mozgásfogyatékos, 18 fő tanulásban akadályozott (figyelemzavaros) fiatal volt.

Az asztali képességvizsgáló eszközökkel folytatott felmérés 50 fős mintájában 5 fő vak, 1 fő gyengén látó, 1 fő nagyothalló, 4 fő mozgássérült (CP), 1 fő középsúlyos, 3 fő enyhe értelmi fogyatékos, 18 fő SNI, 17 fő ép fiatal személy vett részt.

## 2.3 Adatelemzési módszerek

Az adatfeldolgozás a komplex munkaszimulátorral felvett értékek esetében IBM SPSS Statistics 23 programcsomag segítségével történt. Az adatok elemzésére két módszert alkalmaztunk.

Elsőként az egyesített mintán (n=100) belüli összehasonlító elemzéseket végeztünk annak megállapítására, hogy a mintát alkotó fogyatékos/SNI tanulók és megváltozott munkaképességű fiatal felnőttek körében azonosított egyes fogyatékossg-kategóriák szerint mely paraméterek térnek el jelentősen egymástól, vagyis azonosíthatók-e fogyatékossg-specifikus teljesítmény eltérések.

A fogyatékossg kategória jellemző szerint képzett részmintákon belül csak akkor végeztünk statisztikai elemzést, amennyiben a csoport elemszáma  $n \geq 5$  volt. Amennyiben az ép személyek adataiból készített referencia-adatbázisban (n=297) valamely tevékenység eredményei függenek a vizsgálati személy nemétől, úgy a fogyatékossgai kategórián belül is nemek szerinti bontásban vizsgáltuk az eltéréseket. Ezzel azonban sajnos tovább csökkent az értékelhető elemszámú részminták

száma. A Kruskal-Wallis próbával sorra megvizsgáltuk, hogy az egyes konkrét paraméterek fogyatékossgai csoportok szerinti részmintái között vannak-e egyáltalán egymástól szignifikánsan különbözőek. Amennyiben ilyenek voltak, akkor Mann-Whitney próbával páronként megvizsgáltuk, hogy konkrétan mely fogyatékossgai csoport-párok részmintái között különböznek ezek a paraméterek és a különbségük milyen irányú. Mivel a halmazott páronkénti elemzéseknél fennáll az első fajta hiba inflációjának a veszélye, a szignifikanciák vizsgálatánál a Bonferroni-korrekciót alkalmaztuk (a névleges  $p=0,05$  kritérium helyett az ennél szigorúbb  $p=0,05/n$  kritériumot használtuk, ahol n a vizsgált fogyatékossg-csoportok között képezhető párok száma). Ezt követően a statisztikai elemzések eredményeit megkíséreltük szakmai alapokon is értelmezni

A másik módszer abban állt, hogy az egyes részmintákra kapott paramétereket összevetettük az ép populációra vonatkozó megfelelő referencia-értékekkel is (n=297). Egymintás t-próbával vizsgáltuk meg, hogy a fogyatékossgai kategóriák szerinti részminták átlagértékei szignifikánsan különböznek-e az ép személyekre vonatkozó megfelelő átlagértékektől (amennyiben a vizsgált paraméter függött a nemektől, úgy mindkét nemi csoportra elvégeztük a vizsgálatot). Mivel az egymintás t-próba alkalmazása – egyéb, esetünkben teljesülő feltételek mellett – feltételezi a változó (paraméter) legalább közelítőleg normális eloszlását (ami viszont ilyen kis elemszámok mellett gyakorlatilag nem tesztelhető), a biztonság kedvéért a szokásos névleges  $p=0,05$  kritérium helyett az ennél szigorúbb  $p=0,01$  kritériumot használtuk (az elemzésekhez itt is az egyes fogyatékossgai kategóriák minimálisan öt elemből álló rész-mintáit követeltük meg). A statisztikai elemzések eredményeit ebben az esetben is megkíséreltük szakmai alapokon értelmezni.

Hangsúlyozandó, hogy a fogyatékossgal élő személyek teljesítményének az ép populációéhoz való viszonyítása alapvető jelentőségű, mivel a foglalkozási rehabilitáció sikeres támogatását a személyek megőrzött (intakt) képességeinek ismeretében, az ép populációra vonatkozó referencia-értékekhez történő viszonyítással valószínűsíthetjük meg. Miután a cél a személyek felkészítése a nyílt munkaerőpiacon való helytállásra, a referencia-értékeknek is a nyílt munkaerőpiacon működő tipikus – azaz ép – munkavállalók jellemzőit kell választanunk. [4]

A munkapszichológiai képességvizsgáló-eszközökkel mért adatok digitalizálása és adatelemzése jelenleg még folyamatban van. Eredmények

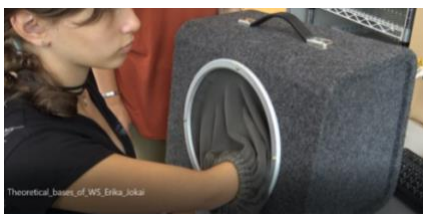
## 2.4 Adatok értékelésének eredményei

A mintánkban szereplő fiatalokat fogyatékossgai besorolásuk alapján 7 kategóriába sorolhattuk: enyhe értelmi fogyatékos, figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, középsúlyos értelmi fogyatékos, autista, látássérült, hallássérült. A statisztikai elemzés fogyatékossgai csoportok közötti szignifikáns eltéréseire vonatkozó eredményei közül terjedelmi okok miatt csupán néhányat emelünk ki.

Összességében elmondható, hogy a legjobb eredményeket a figyelemzavaros, autista és hallássérült fiatalok produkálták, ezt követően általában a mozgássérült és bizonyos feladatokban a látássérült személyek teljesítettek, míg az enyhe értelmi fogyatékos fiatalok gyengén, a középsúlyos értelmi fogyatékos fiatalok pedig nagyon gyengén. Ez alól kivétel volt a legegyszerűbb és

legrövidebb feladat, a „nyomógombok kezelése”, amelyben a helyes találatok számát alapul véve még a közép súlyos értelmi fogyatékos személyek csoportja is igen jó átlageredményt produkált (19/20 találat).

Jelentős, de nem szignifikáns különbséget fedeztünk fel a forgatógombok és kapcsológombok kezelése feladatokban az autista és a figyelemzavaros kategóriába tartozó vizsgálati személyek és az enyhe, valamint közép súlyos értelmi fogyatékos személyek teljesítményei között. Ezen feladatok viszonylag egyszerűek és rövid időn belül teljesíthetők voltak, azonban jó finommotorikát igényeltek és a feladat végrehajtásának sikerességét a vizsgálati személyek nem tudták közvetlenül megállapítani, értékelni – vagyis nehezen tudták eldönteni, hogy jól vagy hibásan teljesítik a feladatot a tevékenység végzése közben. A tapintási feladat (2. ábra) során legjobban a látássérült, hallássérült, autista és figyelemzavaros személyek teljesítettek, de az eltérés nem volt szignifikáns. Mivel a feladat matematikai fogalmak, mértani testek ismeretét is megköveteli, ezért az ilyen ismeretekkel nem rendelkezők – esetünkben az értelmi fogyatékos csoportok tagjai – gyengén teljesítettek. Középes eredményeket produkáltak a mozgásfogyatékos személyek a mintánkban, ami azzal magyarázható, hogy az idegrendszeri sérülés hatással van a tapintási képességre és az ujjak ügyességére is.

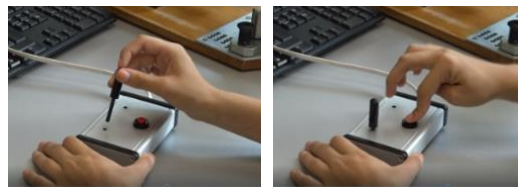


2. ábra: Tapintási feladat végrehajtása (saját fotó)

A fogási erő (marokszorítás feladat) vonatkozásában a férfi és női átlagok között volt szignifikáns eltérés, mint ahogyan a legtöbb erőkifejtést igénylő feladtnál. Ezért mindkét nemi csoportban külön vizsgáltuk az eredményeket. Mind a női, mind a férfi részmintákra igaz, hogy a figyelemzavaros fiatalok teljesítettek legjobban, leggyengébben pedig a mozgásfogyatékos személyek. Az eredmény azért nem meglepő, mert a mintánkban több központi idegrendszeri sérüléssel élő személy volt. A feladat azonban egyszerűen teljesíthető lévén a gyengébb mentális képességű személyek számára sem jelentett kihívást. A férfiak ugyanezen két csoportja (figyelemzavarosok és mozgásfogyatékosok) között viszont erősen szignifikáns eltérés mutatkozott.

Szignifikáns eltérést mértünk a forgatógomb-kezelés, nyomógomb-használat (reakcióidő átlagok), valamint a ceruzahasználat (3. ábra) és munkabírás (ciklus-átlagidők) (4. ábra) vonatkozásában a figyelemzavaros és a két értelmi fogyatékos kategória között. Általában a különféle kezelőgombok használata során a nők jobb teljesítményt nyújtottak a férfiaknál, de szignifikáns különbség volt kimutatható a nők javára a nyomógombok kezelése során a reakcióidőben.

A billentyűzetkezelés feladatban általában a látássérült fiatalok teljesítettek legjobban mindkét kéz eredményei alapján. Szignifikáns eltérést azonban csak a jobbkezes feladatokban sikerült kimutatni a látássérültek és az értelmi fogyatékosok csoportjai között.



3. ábra: „Ceruzahasználat” feladat (saját fotó)



4. ábra: „Munkabírás” összetett feladat (saját fotó)

Általánosságban az ép személyek kategóriájához viszonyítva a fogyatékosági csoportok gyengébb, vagy szignifikánsan gyengébb teljesítményt értek el. Kivéve a billentyűzetkezelés feladatban, ahol a látássérült kategóriába tartozó személyek teljesítménye az ép kategóriához képest jobb volt. Ez bizonyára abból adódik, hogy a látássérült személyek ebben a tevékenységben gyakorlottabbak, hiszen több tevékenységhez használnak számítógépet a mindennapjaik során, mint az ép látású emberek.

Erősen szignifikánsan gyengébb teljesítményt értek el a mintánkban az enyhe és közép súlyos értelmi fogyatékos férfiak részmintái az ép férfiak kategóriához viszonyítva a forgatógomb-kezelés feladatban, amely komoly figyelmet, tanulási és finommotorikus képességet is igényelt. A női mintákban ugyanakkor csak a közép súlyos értelmi fogyatékos kategória eredményei voltak szignifikánsan gyengébbek.

A komplexebb „munkabírás” feladat eredményeinek értékelésekor szembevető volt, hogy valamennyi vizsgált fogyatékosági csoport erősen szignifikánsan gyengébben (azaz lassabban) teljesített az épekhez képest. Ezeket a 2. táblázatban is összefoglaltuk.

A hordozható munkapszichológiai mérőeszközök adatelemzése még nem készült el.

A munkadiagnosztikai felmérés eredményei alapján visszajelzést adhattunk a pályaválasztás előtt álló, vagy pályamódosítást tervező (sérülékeny) munkavállalók számára arról, hogy mely funkcionális képességeik kimagaslók, átlagosak, vagy éppen fejlesztendők a vágyott szakma, karrier érdekében. Ez különösen nagy segítség a fogyatékos és SNI fiatalok és családjaik számára, hiszen munkaerőpiaci esélyeiket növelhetjük azzal, ha objektív mérési adatokkal is igazolhatjuk, hogy milyen munkakörökben, foglalkozásokban tudnak az ép fiatalokéval azonos teljesítményt nyújtani, vagy mely munkatevékenységekben igényelnek speciális támogatást.

2. táblázat: Részminták teljesítményeinek viszonyítása az ép személyekéhez

Tevékenység	Az eltérés szignifikáns	Az eltérés nem szignifikáns
Billentőzetkezelés	Középsúlyos értelmi fogyatékos, látássérült	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos
Forgatógomb kezelése (férfiak)	Enyhe és középsúlyos értelmi fogyatékos	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, autista, hallássérült
Forgatógomb kezelése (nők)	Középsúlyos értelmi fogyatékos	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, autista, hallássérült, enyhe értelmi fogyatékos
Kapcsolók használata	Enyhe és középsúlyos értelmi fogyatékos	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, autista, hallássérült
Fogási erők marokszorítás jobb kézzel (férfiak)	Autista	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos
Fogási erők marokszorítás jobb kézzel (nők)	-	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, enyhe értelmi fogyatékos
Munkabírás	Minden fogyatékosági kategória	-
Nyomógomb használata szemből (férfiak)	-	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos, enyhe értelmi fogyatékos, autista
Nyomógomb használata szemből (férfiak)	Enyhe és középsúlyos értelmi fogyatékos	Figyelemzavaros, mozgásfogyatékos
Ceruzahasználat jobb kézzel	Figyelemzavaros, autista, mozgásfogyatékos, látássérült, enyhe és középsúlyos értelmi fogyatékos	-
Statikus erőki fejtés, vízszintes húzás	-	Figyelemzavaros
Tapintás jobb kézzel (férfiak)	Figyelemzavaros, enyhe és középsúlyos értelmi fogyatékos	Hallássérült, látássérült, autista

### 2.5 Munkadiagnosztikai protokoll

A pilot felmérések a vizsgálatvezetők számára számos új tapasztalatot adtak. Fontosnak tartottunk egy vizsgálati protokollt összeállítani mind a munkaszimulátoros, mind a hordozható eszközök felméréseit levezető majdani kollégák számára, amelyben a vizsgálatvezetői instrukciókat, helyes és helytelen pozíciókat, a segítségnyújtás módját egészítettük. Tapasztalataink szerint a mérésvezetői beavatkozás hatással lehet a felmérés eredményére. Kidolgoztuk továbbá az adatkezelési folyamat lépéseit, valamint az adatok értékelésének és az eredmények visszajelzésének módszerét is.

### 2.6 Szempontrendszer a pálya- és munkaköri alkalmasság műszeres felméréséhez

A jelenlegi 9 munkapszichológiai mérőeszkővel az általunk vizsgált 58 kompetencia részképességből 32 képesség teljes vagy részleges megítéléséhez kaphatunk információkat. Az ErgoScope munkaszimulátor bevonásával 14 új (és 25 részben átfedő) részképességről kapunk információkat. A foglalkozások/munkakörök ellátásához szükséges kompetenciákat a Foglalkozások Egységes Osztályozási Rendszere (FEOR) 2005-ben 482 szakmára kidolgozta, 2006-ban továbbfejlesztette (módszer- és társas kompetenciákra bontotta). [11] Kutatásunk során ezt a megújult kompetencia-rendszert használtuk fel 30 szakma kompetenciaprofiljának elkészítésére, valamint kiegészítettük foglalkozás-egészségügyi értékelési szempontokkal (a szakma vagy tevékenységi kör ellátásához elvárható minimum képességek és részképességek szintjével, a kizáró és korlátozó tényezőkkel), és hozzárendeltük a kompetenciaelemek mérésére alkalmas munkadiagnosztikai mérőeszközöket. Ez a szempontrendszer meghatározza, hogy miként lenne célszerű a szakmai képesítések megszerzéséhez, munkakörök betöltéséhez a munkavégzési kompetenciák meglétét felmérni, a fejlesztendő részképességeket feltárni objektív diagnosztikai eszközök használatával.

A sérülékeny és ép munkavállalók biztonságos és egészséges munkavégzését is elősegítené, ha a munkahelyeken hasonló munkavállalói kompetencia-mérést, illetve munkahelyi környezet és munkaszervezés (munkatükör, tevékenységi kör) értékelést végeznének a munkáltatók. Ehhez a fentiekben bemutatott munkadiagnosztikai módszertan bevezetése mellett a vállalatok foglalkozás-egészségügyi szakorvosai és a munkahelyeket kialakító tervezők együttműködésére lenne szükség.

### 3 EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A pilot vizsgálatok eredményeinek értékelésekor az ErgoScope munkaszimulátor esetében rendelkezésünkre állt egy kezdetleges mérési referencia adatbázis, amely alapján az ép vizsgálati személyek teljesítményátlagait alapul véve 3 eredménykategóriát alkottunk (50% alatt, 50-80% között és 80% feletti teljesítmény). A munkapszichológiai mérőműszerek esetében a gyártó által kidolgozott normákat és teljesítménykategóriákat használtuk fel (V: kiváló, IV – jó, III: átlagos, II: gyenge, I: nagyon gyenge, rossz). A pilot kutatás kis létszámú (fogyatékosággal élő személyek: n=150, ép személyek: n=297) mintáján végzett felmérések eredményeire épülve készült el módszertani protokollunk és a felmérések eredményeinek értékelése, visszajelzése. Ezért bizonyosak vagyunk abban, hogy vannak hibái, amelyeket egyelőre még nem ismerünk.

Fontos, hogy minél több mérési adat keletkezzen mind az ép, mind a különböző fogyatékosági kategóriákba sorolható vizsgálati személyekről ahhoz, hogy a mérési referencia adatbázis minél pontosabbá váljon. A hordozható pszichológiai képességvizsgáló eszközök esetében is az ép képességű személyek mérési adataiból épülnek fel a normák. Probléma inkább abból adódott (legtöbb esetben a kerekesszékes és a vak fiatalok felmérésekor), hogy bizonyos részképességeik vizsgálata hiányos maradt, mert az eszközök felhasználói felülete számukra nem volt akadálymentes, vagy a vizsgált funkció

mérésére nincs alternatív lehetőség (pl. kezelőfelület, információ megjelenítése).

A vizsgálatok során nem végeztünk konkrét szakmára, tevékenységi körre szűkített, ún. „célzott” munkadiagnosztikai felmérést, hanem minden vizsgálati alannal egy általános, minden mérhető paraméter felvételét végeztük, hiszen célunk az adatgyűjtés és a részminták és azok elemszámának növelése volt.

A munkaszimulátoros felmérés egyénenként 1,5-3 órát, a munkapszichológiai képességvizsgáló eszközökkel 1,5-2 órát vett igénybe, amelyben a kutatásról és a felmérés menetéről szóló tájékoztató és a szóbeli visszajelzés, beszélgetés is beleértendő. Az adatok statisztikai értékelését követően minden vizsgálati személy írásos formában visszajelzést és értékelést kapott.

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás során használt munkadiagnosztikai mérőeszközökről elmondható, hogy azok egy részét már széles körben használják munkaköri kiválasztás céljára munkapszichológus szakemberek (hordozható képességvizsgáló eszközök), másik részét pedig egyelőre még nem használják széles körben hazánkban (általános célú munkaszimulátorok). A mérőeszközökkel ugyanakkor objektív, megbízható és érvényes méréseket végezhetünk velük, azonban nem állnak rendelkezésre még normalizált (megfelelő nagyságú populáción bemért) és standardizált referencia-mérőszámok. Jelen kutatási eredmények ezért ennek függvényében csak nagy körültekintéssel, a szakemberek megfelelő kiképzése mellett használhatók fel pályaorientációs és munkaalkalmassági tanácsadásban.

A munkadiagnosztikai labort további képességmérő műszerekkel és munkaalkalmasság vizsgálathoz alkalmazható validált (érvényesített) tesztekkel kívánjuk bővíteni. Célunk annak elérése, hogy minden szakmai kompetencia vizsgálatához több mérőeszköz is rendelkezésünkre álljon, így a speciális szükségletű vizsgálati személyekkel is teljes munkaköri és szakmai alkalmasság felmérésére vállalkozhatunk, illetve az egyéni képességfejlesztési programban változatos, több műszeren visszamérhető fejlődés-értékelést végezhetünk.

A kutatás során használt hordozható munkapszichológiai mérőeszközök szinte mindegyike többféle fix programmal rendelkezik és a legtöbbjük ki lehet egészíteni a saját igényeknek megfelelő egyéni programmal. Ez lehetőséget nyújt arra, hogy ne csak a meglévő részképességek szintét értékeljük, hanem egyéni részképesség-fejlesztésre is felhasználjuk a gépeket.

A vizsgálatban résztvevő alanyok kivétel nélkül izgalmasnak és érdekesnek találták a feladatokat. Az őket kísérő hozzátartozók, fejlesztő pedagógusok pedig hiánypótló felmérésként értékelték a fogyatékossgal élő fiatalok pályatanácsadási folyamatában.

A szakemberek (munkapszichológusok, rehabilitációs mentorok) számára a műszerek a munkaköri/szakmai alkalmassági vizsgálatokban objektív adatokat biztosítanak a megváltozott munkaképességű, fogyatékos vagy más sérülékeny csoportba tartozó munkavállalók képességeiről, terhelhetőségéről. A munkakörök részfeladatait ismerve megítélhető, hogy a részfeladatok okozta igénybevételnek mennyire tud megfelelni a vizsgált személy, leendő munkavállaló, ez a foglalkozás-egészségügyi orvosok munkáját segíthetné.

Elképzelhetőnek tartjuk, hogy a munkadiagnosztikai mérőeszközök funkcióképességet mérő adatait az FNO (Funkcióképesség, fogyatékossg és egészség Nemzetközi Osztályozási Rendszere) kódrendszerrel egészítsük ki. [12] A kódrendszer testi funkcionális képességeinek szintjét vagy fogyatékossgait az orvosi rehabilitációs ellátás során a szakemberek állapítják meg (FNO „b” és „s” kódjai). Ha a szakmák egyes tevékenységi köreit a „d” kódokkal írjuk le, valamint a munkáltatókkal a munkatükrökben elkészítjük a munkakörnyezet elemzését (vagyis az „e” kódokat) is, akkor valóban személyre szabott igényeket vagy éppen megszüntetendő akadályokat azonosíthatunk a munkakörülmények és tevékenységek vonatkozásában. Ez nem csupán a sérülékeny, hanem az ép munkavállalók rendszeres foglalkozás-egészségügyi szűrővizsgálatait is alátámaszthatja objektív adatokkal. Ezekből az idősoros adatokból nyomon követhető, hogy az egyén betegségei, csökkenő vagy növekvő munkaképessége milyen munkakörnyezeti hatások által változik meg. Hosszú távon pedig az egészségre ártalmas vagy kockázatot jelentő tényezők azonosítása, előrejelzések is megfogalmazhatók lesznek.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Magyarország Alaptörvénye, (2011): XVII. cikk, (3). bekezdés
- [2] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről
- [3] Jókai, E. (szerk.) (2018): Munkadiagnosztika – módszertani kézikönyv műszeres munkadiagnosztikai felmérésekhez, Kilitó Piarista Pályaorientációs és Munkaerőpiaci Fejlesztő Központ, p.150.
- [4] Mészáros, G. (2018): Módszertani kézikönyv az asztali mérőeszközök használatához, Kilitó Piarista Pályaorientációs és Munkaerőpiaci Fejlesztő Központ, p.39.
- [5] Jókai E. (szerk.) (2018): Mérésvezetői instrukciók az ErgoScope munkaszimulátoros mérőeszköz levezetéséhez – módszertani kézikönyv, p.96.
- [6] Központi Statisztikai Hivatal (2016): Foglalkoztatottság Táblák
- [7] Dr. Nagy, I. (2017). Idősödő munkavállalók – foglalkozási megbetegedések, előadás, Gyártásergonómiai szeminárium, ViveTech Kft., Budapest, 2017. április 26.
- [8] A megváltozott munkaképességű személyek ellátásairól és egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXCI. törvény (Mvtv.)
- [9] 327/2012. (XI.16.) Korm.rendelet: A megváltozott munkaképességű munkavállalókat foglalkoztató munkáltatók akkreditációjáról, valamint a megváltozott munkaképességű munkavállalók foglalkoztatásához nyújtható költségvetési támogatásokról
- [10] MSZ EN 1005-4:2005+A1:2009 Gépek biztonsága. Az ember fizikai teljesítménye. 4. rész: A géphez viszonyított, munka közbeni testtartások és mozgások értékelése
- [11] A Nemzeti Fejlesztési Terv (NFT) Humán erőforrás Fejlesztési Operatív Program HEFOP-3.2.1-K.-2004-09-0001/1.0 pályázat keretében elkészített munkatükrök, szakmai kompetencia táblázatok.
- [12] Harvey Abrams [et al.]: A funkcióképesség, fogyatékossg és egészség nemzetközi osztályozása (FNO). Egészségügyi Világszervezet. Budapest. 2003.



# Az idő és a biztonság

## The time and the safety

Szabó Lajos

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország

szabo.lajos@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás** — Az idő és a biztonság fogalmi talán a legvitatottabb kérdések, több tudományág képviselői igyekeznek meghatározni. Pedig még a legképzetlenebb ember is képes érzékelni az időt, csakúgy mint biztonságot. Az idő mérnöki szempontból ugyanolyan fontos mértékegység, mint a távolság. Mivel lehet mérni a biztonságot?

**Kulcsszavak:** Biztonság, idő, mérés, időmérés, távolságmérés, biztonság-mérés

**Abstract** — The definition of time and the safety are the most debated concepts, more disciplines tried to define them. Even the most unqualified man is able to perceive the time though, just as well than safety. The time from an engineering viewpoint important measure just like that, than the distance. What is it possible to measure the safety with?

**Keywords:** Safety, time, measuring, time measurement, distance measurement, safety measurement

### 1 BEVEZETÉS

Hogy mi az idő, arról fizikusok, filozófusok, matematikusok hada igyekezett az írott történelem kezdete óta fogalmakat alkotni. Legutoljára 2018. október 8.-án a BBC Earth műsorán vetítették a „Hogyan építsünk időgépet?” című, félórás ismeretterjesztő filmet, amiben a kanadai Perimeter Institute for Theoretical Physics intézet vezető tudósait kérdezték meg a film 20. percében, hogy mi is az idő?

Nem tudtak válaszolni. Megjegyzem, ugyanezen intézet meghívta Julian Barbour elméleti fizikust, aki 1999-es „Az idő vége” című könyve szerint azzal foglalkozik, hogy létezik-e egyáltalán az idő, tartson előadást náluk erről a teóriáról[1].

### 2 AZ IDŐRŐL

Az idő érzékelése alapvetően kódolt az emberi agyban, de az állatokéban is, és szinte megdöbbentő, hogy az idő és a távolság közötti kapcsolat felismerésére az állatok is képesek, vagyis pontosan képesek érzékelni a sebességet! Mindaddig nem menekülnek el a zsákmányállatok, amíg olyan távol van a ragadozó, hogy van idejük a menekülés megkezdésére, de abban a pillanatban futásnak erednek, ha a ragadozó eléri azt a távolságot, ahonnan indulva sebességi fölényt szerezve veszélyt jelent számukra. És a ragadozók is hasonlóképpen méricskélnek, a támadás optimális távolságát, a préda reakció és menekülési sebességét többé-kevésbé pontosan képesek felmérni.

Az hogy erre még a rovarok is képesek, arra bizonyítékként itt van a talán legelismertebb magyar etológus, Csányi Vilmos egyik példája:

„Elmesélek még egy állatkísérletet. Egy tóparti csónakra tányér mézet helyeztek, majd a két kilométerre lévő méhkaptárba beküldtek egy kis robotmehet, aki szárnyrezegetéssel leadta a jelet, miszerint adott irányban, adott távolságra sok-sok táplálék található. A méhek kivonultak, behordták a mézet, működött a dolog. Másnap a csónakot lehorgonyozták a tó közepén, kitétték a mézet, a kaptárba beküldték a robotot, aki leadta az amúgy helytálló jelsort, azzal a különbséggel, hogy nem két, hanem négy kilométert jelzett. A kísérlet készítői azt gondolták, hogy a méhek ismét kirepülnek, ám amikor meglátják a tavat, amiről tudják, hogy ott nincs növény, vagyis táplálék sem lehet, visszahökölnek. Na, ehhez képest mi történt? Berepültek, mert hitték a robotnak? A fenét! El se indultak a kaptárból. Mert a fejükben lévő egy milligrammos agyban ott a térkép, és tudták, hogy hülyeség a robotméh jelzése”[2].

Ha nem érzékelnék az időt és a távolságot, szinte semmilyen tevékenység végzésére sem lennének képesek, nem lennének sem ragadozók, sem zsákmányállatok, vagy ha lennének, az egy igen izgalmas hazardjáték lenne. Hogy kapnánk el egy felénk dobott labdát, ha nem érzékelnék a közelítő tárgy távolságát és sebességét észleléskor, hogy kezünkkel, időben a röppályának megadott pontjára helyezve, kellő sebességgel zárva ujjainkat, elkapjuk? Számptalan munkaórás kísérletekkel még nem sikerült olyan robotokat előállítani, mely az ember vagy az állatok ilyen képességeit elérné.

Valamiképpen – igaz némi gyakorlás árán csecsemőkorunkban - pontosan érzékeljük a távolságot, és ha valami felé nyúlunk, - hacsak valami komolyabb betegségünk nincs, ami ezt a képességet gátolná – nem nyúlunk se túl hosszút, sem túl rövidet, ellenben csak szemmértékre nem vagyunk képesek egyforma hosszú darabokat vágni tárgyakból, csak többé-kevésbé hasonló méretűeket. Képesek vagyunk egy egységes szakaszokból álló ritmust dobolni, énekelni, tudunk egyenletes tempóban menetelni, de időt „fejben” mérni nem tudunk.

A tudósokkal szemben egy átlagember – anélkül, hogy tudná mit mondott erről Arisztotelész[3] a Fizika című művében – azonnal megmagyarázná, hogy két íz között eltelté a tudoménmi, vagy még inkább két esemény között eltelté IDŐ. Valószínűleg az idő kifejezést használná, amit durván az első életévünkben már megtapasztalunk, valamikor ezt követően pedig, amikor a most, előbb, később, tegnap, holnap közös fogalmaként rögzül, halálunkig használjuk, életünk szerves része.

Annyira az, hogy nagy az emberré válás folyamata során tízezer évvel ezelőtt lejegyzték őseink a környezetükben megfigyelhető változásokat, a csillagok a hold és a nap járását megfigyelve. Ezt csontleletek és

barlangrajzok elemzése során állították meg elismert kutatók[4]. Mára már senki sem vonja kétségbe, hogy a „megalitikus”-nak nevezett kultúrák, időmérési céllal építették kőköreiket Írországból, a Brit-szigeteken, az Európai kontinens számos helyén, Szardinia, Málta szigetén. Szerencsére mára már azt sem kell bizonyítani, hogy minden ókori kultúrában kiemelt szerepe volt a naptárak gyártásának, papi privilégium volt e tudás birtoklása, ahol a látszólagos körpályákon mozgó égitestek mozgását műhorizonton elhelyezett referencia-mérőpontok elhelyezésével mérték. A mérés és számolás tudománya az idő mérésével egyidős.

Nem véletlenül mérjük órákban és hatvanad részére osztott percekben és másodpercekben az időt mind a mai napig, a sumer csillagászok osztották fel a kört 360 részre és 60-as számrendszert használtak. Vagyis a kör felosztásával meghatározott számú egyenlő hosszakat mérve voltaképpen időt mérték! Az már egy külön történet, hogy a méterig is ugyanezen az úton jutunk el.

Hogy miért kétszer 12 órát mér a mai órák egy nap alatt? A sumerek 60-as számrendszere az oka, kettős órákban mérték a napot, csak Babilon ideje alatt felezték meg ezeket.

Tudjuk, hogy létezik, érzékeljük, mérjük, használjuk és a legtöbbször fel sem merül, amit Julian Barbour feszeget.

Érdekes kettősség az, hogy egyrészt a legnagyobb gondolkodóink nem tudnak dűlőre jutni az idő mibenléte felől, másrészt az idő mérése, mindennapi használata nélkül nem tartana ott az emberiség ahol. Ha nem akarta volna az emberiség mérni az időt, ma nem lenne SI mértékrendszer, hiszen a méter létrejött az egy másodperces inga hosszának megméréseivel kezdődött, 45. szélességi fokon, tengerszinten, 0 Celsius fokon. Az erre vonatkozó előterjesztést a Francia Akadémia felé tették 1791. március 19.-én[5], ezután nem sokkal Thomas Jefferson hasonló tárgyú előterjesztése a Kongresszus felé[6]. A cél a sarki meridián kvadránsának egy milliomod része meghatározása volt, ez lett a méter. Az, hogy ezeket a számításokat sokkal a XVIII. század előtt az emberiség több civilizációja már elvégezte tény, vizsgálódásomat csak azért nem terjeszttem ki erre tovább, mert az SI rendszer szempontjából lényegtelen.

Kijelenthető tehát, hogy a távolságmérés, pontosabban az egységesített hossz-mértékegység megállapítása csak akkor lehetséges, ha rendelkezünk az idő megállapításának és mérésének képességével. Kész szerencse, hogy a gyakorlatiasabb tudósok megegyeztek egy képzetes egységben, hogy a mindennapjainkban a számolás-mérés során alkalmazhassák, és amit az elméleti fizikusok is alapul vesznek számításaik során.

Na jó, gondolhatják, ezt még el lehet fogadni, de mi köze ennek a biztonsághoz?

### 3 A BIZTONSÁGRÓL

A biztonság, mint már több helyütt leírtam, szintén valami olyan dolog, amiről mindenkinek van valamilyen elképzelése, sőt meglehetősen határozott választ ad bárki, ha megkérdezzük, hogy jelenleg biztonságban van-e vagy sem?

Igen az állatok is pontosan tudják, hiszen abban a pillanatban, hogy a távolság, a sebesség nem nyújt biztonságot, menekülnek, vagy ha éppen nyújt, támadnak,

attól függően, hogy zsákmányállatok, vagy ragadozók szerepét játsszák-e éppen.

Mind a mai napig annyi féle biztonság-meghatározás forog közközen, ahány szerzőt kutatunk fel, vagy ahány szakterületet vizsgálunk meg. Aki ismeri kutatási területeimet és publikációimat, okkal félhet, hogy most ismét publikálok azt, amit már évek óta megírtam. Most más a feladatom. Bár sok éves kutatómunka után már több éve publikáltam egy általános, mindenre alkalmazható rendszer-szemléletű, és egy kockázat-szemléletű biztonság definíciót [7], akkor még nem gondolkodtam el azon, hogy jó mérnökhoz mérten megmondjam valamiről, amelynek a paramétereit megfogalmaztam, hogy mivel mérjük?

Már maga a gondolat, hogy a biztonság – úgy általában – mérhető lehetne, előfordult, hogy meghökkenést okozott azokban a szakemberekben, akikkel a témáról beszélgettem. Hiszen mások a szempontok egy egészségügyi, egy energetikai, egy munkavédelmi, tűzvédelmi – és még folytathatnám a sort – szempontú biztonság értékelése során.

Az Országos Doktori Iskola adatlapja szerint [8] biztonságtudomány tudományterületének besorolása a műszaki tudományok körébe, tudományága a katonai műszaki tudományok körébe történt. Egy műszaki tudomány esetében, talán nem tűnik eretnekségnek az az elvárás, hogy olyan fogalmakkal operáljon, melyek valamilyen módon mérhetők, számíthatók.

Igaz, még meglehetősen fiatal tudománnyal állunk szemben, mint azt 2013-ban a Tudomány, magánbiztonság, kutatás címmel tartott előadásomban már kifejtettem, még számos olyan fogalmat alkalmazunk, amelyek nem konszenzusosak, több szerző mást ért alatta. De hát a fizikusok is így állnak az idővel szembe? Mégis alkottak egy olyan időmérési megoldást, amivel számításokat, méréseket végeznek. Ha a biztonságtudomány műszaki tudomány, akkor elvárható, hogy lépéseket tegyen egzakt mérési megoldások irányában, mindazon fogalmak tekintetében, melyeket alkalmaz.

Azt hiszem, a legtöbbszörnek gondot jelentene, hogy valamilyen paraméterhez kössük annak a valaminek a mérését, aminek még a definícióját sem mindenki értelmű. Általában a megszokott módszer az, hogy különféle kockázati mátrixok elkészítésével és azok értékelésével igyekeznek mérni, értékelni a biztonságot. Ezek kimenetei vagy a valószínűsíthető következmények súlyossága, vagy pénzben kifejezhető kár nagysága tekintetében súlyoznak.

A kockázat mértékének megállapítása sokféle szempontú és módszertanú lehet. Még az sem biztos, hogy minden esetben objektív, előfordul, hogy tág határok között lehet csak megbecsülni a következményeket.

### 4 IDŐ ÉS BIZTONSÁG

Az elmúlt években újra és újra olyan témákról publikáltam, amihez felhasználtam esetenként több évtizede már leírt gondolataimat is, és ennek során többször került elő ugyanaz a gondolatmenet, amit itt be is mutatok:

A védelmi intézkedések tekintetében – legyenek azok személyek, tárgyak, létesítmények, információk stb. – a legfontosabb az időtényező. Ha nem szeretnénk, hogy a kockázatok manifesztálódjanak, a megelőzés-megszakítás-megakadályozás klasszikus hármasából bármelyik megvalósításához időre van szükségünk.

Az az idő, ami a megkezdett támadási kísérlettől, vagy közúti balesettől, káresemény bekövetkezésétől:

- a támadó, balesetet szenvedett jármű, káresemény hatásai, különféle fizikai akadályokon való áthaladásáig,
- az észlelőrendszer észlelésétől a reagáló erők számára történő jelzésadásig,
- a reagáló erők (személyzet, élőerő) helyszínre érkezéséig, illetve tartalék védelmi akadályok aktiválásáig, valamint
- az eredményes helyszíni intézkedés lefolytatásáig (megelőzés, megszakítás, megakadályozás vagy terület, objektum kiürítése, menekítés) telik el.

Abban az esetben pedig, ha minden erőfeszítésünk ellenére a kockázat manifesztációja mégis megtörténik, a mentesítés, helyreállítás, vagy a terület végleges lezárásának összetett folyamatai végrehajtásához, megint csak időre van szükségünk.

Egy olyan végtelen következményekkel járó esemény, mint például egy atomerőmű katasztrófája szükségessé teszi annak az időnek a kiszámítását is, amíg a szennyezett terület egyes részeit le kell zárni.

Nyilvánvalónak tűnik a fentiek alapján, hogy a biztonság egyik nagyon fontos paramétere, az idő, alkalmas lehet a biztonsági szintek minősítésére, vagyis közvetve – megfelelő értelmezést biztosító képlettel - a biztonság mérésére.

A fentebb leírt állításom alátámasztására, az idő és a biztonság kapcsolata tekintetében, íme, néhány bizonyíték.

A Magyar Biztosítók Országos Szövetsége – MABISZ – különféle ajánlásai [9] során a különféle biztonságtechnikai eszközök hatékonyságát időben méri. A mechanikai eszközök esetében azok kapnak jobb minősítést, melyek a leghosszabb ideig képesek megőrizni funkcióikat. Az elektronikai érzékelő, jeltovábbító és jelző berendezések esetében fordított a helyzet, azok a hatékonyabbak, melyek a funkcióikat a legrövidebb idő alatt végzik el.

A MABISZ ajánlásai különféle szabványok alapján minősített szerkezetekre, eszközökre vonatkoznak, és a szabványok egyik legfontosabb szempontja ezekre az esetekre szintén az idő.

Horváth Tamás Elektronikus megfigyelő-, és ellenőrző rendszerek objektumorientált kialakítása különös tekintettel a biztonsági kockázatok rendszerére, című doktori értekezésének 37. oldalán található 6. sz. ábrán [10] szintén az időtényezőt veszi górcső alá. Az ábra címe, „A behatoló és a védelmi rendszer idődiagram”, ahol a behatoló tevékenységének végrehajtására rendelkezésre álló idő különféle szakaszait értékeli.

A kockázatértékelés, kockázatkezelés során szintén az egyik fontos paraméter az idő. Kockázatértékelés során adott időszakokat, elhasználódási időtartamot, baleset-káreset bekövetkezésének gyorsaságát, a beavatkozásra rendelkezésre álló időtartamot és még számtalan, az időtényezőtől függő paramétert lehet vizsgálni.

Minden mérnök ismeri megbízhatóság, meghibásodás, a működőképesség fogalmait, és a hozzájuk kapcsolódó segédfogalmakat és számítási módszertanok képleteit. Azt hiszem, nem árulok el titkot, hogy azok az időtényező nélkül értelmezhetetlenek.

Említettem az előbb a kockázatelemzés során a pénzben kifejezett paraméterekkel való súlyozás lehetőségét. A

pénzben kifejezett kár esetén minden esetben az időtartam is szerepet kap. Nem elegendő, ha csak a kár mértékét állapítjuk meg, hanem azt, hogy milyen befektetésekkel és mennyi idő alatt lehet helyreállítani a károkat, mentesíteni a területet, újraindítani a termelést.

Kockázatkezelés során az időtényező meggyőződés szerint előlép az első helyre, hiszen minden kockázatkezelési protokoll alapvető eleme, mint azt Tóthné Laufer Edit, „Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázat kiértékelő módszerek optimalizálása” című doktori értekezése 3. fejezetének címében is szerepelteti: „A számítási bonyolultság és az idő csökkentése valós idejű rendszerekben” [11]

Az eddigi fejtegetéseim remélhetően kellő alapossgal támasztották alá azt a feltevésemet, hogy az idő, mint megkerülhetetlen tényező alkalmas paraméternek tűnik a biztonság mértékének, biztonsági szintek meghatározása során.

Van számos olyan terület, ahol alkalmazzák is az idő-alapú kockázatértékelést és kockázatkezelést.

Ilyen például az egészségügy, ahol egyes betegségek, rosszulletek, sérülések esetén idővel mérik annak lehetőségét, hogy túléli-e a beteg, maradandó fogyatékossgot szenved, komplikációk állnak-e elő, hosszabb gyógy tartam vár-e rá, vagy az időben elvégzett szakszerű beavatkozás következtében felgyógyul?

Ilyen a katasztrófavédelmi intézkedések jelentős része, ahol kiürítést, menekítést, terület-zárást stb. alkalmaznak.

A különféle szolgáltatók – mint például az energetikai, informatikai, közlekedési stb. - szintén azt mérik, hogy kimaradás, zavar esetén milyen gyorsan képesek helyreállítani, vagy pótolni a szolgáltatást?

A pénzügyi befektetések esetén a megtérülés nem számítható az időtényező figyelembevétel nélkül, mint ahogy a haszon, vagy a veszteség sem!

Egy katonai, vagy rendőri művelet tervezésénél szintén alapvető fontosságú az időszámvetés, legyen az offenzív, vagy defenzív művelet.

Tudnám még folytatni a sort, de úgy gondolom felesleges szöszaporítás lenne. Itt és most ennek a dolgozatnak meggyőződés szerint csak az lehet a feladata, hogy mint lehetőséget, a szakma elé tárja a fenti gondolatokat.

Mivel a jelen konferencián a Biztonságtudományi Doktori Iskola, vezetői, oktatói, témavezetői jelen vannak, a magánbiztonsági szakma több szakmaterülete is képviselteti magát, nagyon jó lehetőségnek tűnik egy kutatás megkezdéséhez az időpont.

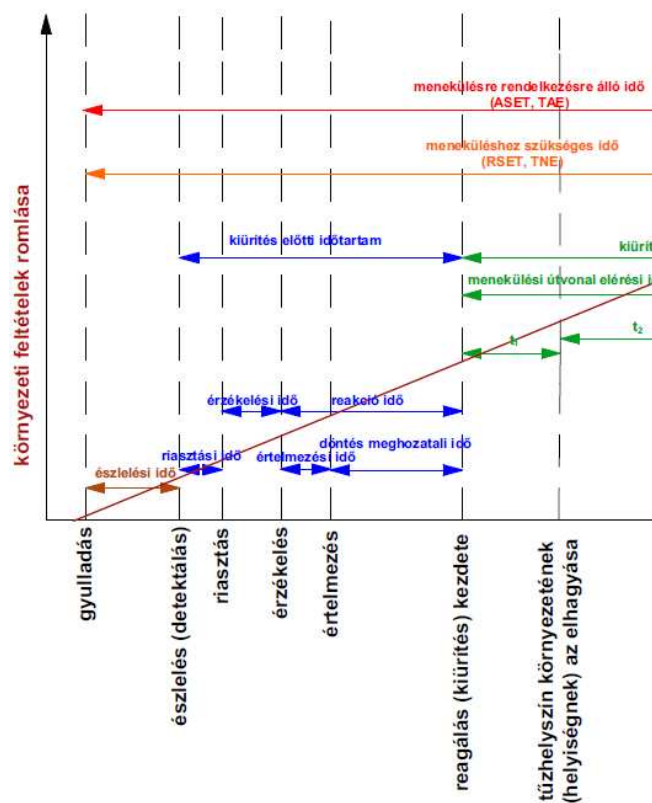
Nagy valószínűséggel nem sikerül egy „generálképlet” előállítani, ami mindenhol, mindenre alkalmas. Túlságosan szerteágazó területekkel foglalkozik a biztonságstudomány, nem hiába interdiszciplináris.

Azt azonban elképzelhetőnek tartom, hogy egy olyan kockázat-értékelési módszertant lehet kidolgozni, ami lehetővé teszi az időszámvetés alapú kockázat és biztonsági szint szerinti besorolást minden biztonsággal kapcsolatos tevékenységnél.

Ezzel egzaktabbá válhatna a kockázati besorolások megnevezése, az „elhanyagolható, kicsi, közepes, nagy” megnevezésekről - melyek lássuk be, megfoghatatlanok - valamilyen korrekt értékhez kötötté válnának. A korrekt értékek alapul szolgálhatnának egzaktsági számítások végzéséhez.

Ugyanígy a különféle területeken alkalmazott más és más tartalmú biztonsági szint-besorolások végére egy szintre hozhatók lennének, kölcsönös megfeleltetéssel, a közös paraméter, az idő mentén.

Az időszámvetést, mint már említettem, már most is több helyen alkalmazzák. A Kiürítésről szóló TvMI 2.2:2016.12.20. számú Tűzvédelmi Irányelv, annak ellenére, hogy expressis verbis ezt nem mondja ki, az alapfogalmak 2.2 alatt található 1. sz. ábrán[12] látható diagramon két paramétert vizsgál „A menekülés folyamata” című ábra leírásánál.



1.. ábra A menekülés folyamata

A vízszintes tengelyen az idő a függőleges tengelyen a környezeti feltételek romlása jelenik meg. Nem véletlenül a 2. fejezet mely a Fogalmak címet viseli, túlnyomórészt az időt jelöli meg, mint azt a paramétert, mely alapján értékel, elemez, minősít, számol!

Pontosan azt teszi, amiről eddig beszéltem, a kockázati értékeket is az idő figyelembevételével állapítja meg, legyen az a tűz terjedés, a füst-telítettség, a hőterhelés.

Miért ne lehetne ugyanezen az alapon számolni a magánbiztonság hatókörébe tartozó tevékenységek végzése során, amikor kockázateértékelési, vagy kockázatkezelési tevékenységet végzünk?

## 5 BEFEJEZÉS

Nem véletlenül lett az előadásnak a címe az, ami. A gondolat már igen régen érlelődött bennem, hogy publikáljam, és a kutatás, anyaggyűjtés során egyértelmű párhuzam látszik az elméleti és gyakorlati fizika és a biztonságstudomány elmélete és gyakorlata között. Az

elméletet még sok esetben nem fogalmaztuk meg, mert nem dolgoztuk ki a letisztult, elvonatkoztatott, általánosítható gondolatokat. A munka azonban nem várhat, és számos olyan gyakorlat van, ami ugyan nem foglalkozik teoretizálással, de alkalmazza a ki nem mondott alapelveket.

A kutatók dolga elméletek kidolgozása, a gyakorlati szakemberek, ha szükségük van rá, elméletek nélkül is kidolgoznak módszertanokat. Itt az ideje, hogy az elmélet igazodjon a gyakorlathoz használható megoldást kínálva.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Julian Barbour: Does time exist? <https://www.perimeterinstitute.ca/videos/does-time-exist>
- [2] [https://24.hu/belfold/2018/10/10/csanyi-vilmos-hulyesegben-hinni-nem-celravezeto/?fbclid=IwAR3EX8msqRrlgfMdWugSSHaqM4xaw52RtnCuZ8s5KS17\\_1zv17-TK-TBYw](https://24.hu/belfold/2018/10/10/csanyi-vilmos-hulyesegben-hinni-nem-celravezeto/?fbclid=IwAR3EX8msqRrlgfMdWugSSHaqM4xaw52RtnCuZ8s5KS17_1zv17-TK-TBYw)
- [3] „Nincs idő változás nélkül” Arisztotelész, Fizika
- [4] Pásztor Emília–Priskin Annamária: Történelem előtti csillagászok? 2012/08/21 14:14 <http://hirmagazin.sulinet.hu/hu/tudomany/oskori-csillagaszok>
- [5] Christopher Knight és Alan Butler: Supercivilizáció Goldbook kiadó 2004. ISBN 963 425 063 7, 114. oldal.
- [6] Thomas Jefferson: Plan for Establishing Uniformity in the Coinage, Weights, and Measures of the United States COMMUNICATED TO THE HOUSE OF REPRESENTATIVES JULY 13, 1790 [http://avalon.law.yale.edu/18th\\_century/jeffplan.asp](http://avalon.law.yale.edu/18th_century/jeffplan.asp)
- [7] Szabó Lajos: Mi a biztonság? PÉCSI HATÁRÖR TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK XIII. Tanulmányok „A biztonság rendészettudományi dimenziói – változások és hatások” című tudományos konferenciáról HU ISSN 1589-1674
- [8] Doktori iskola adatlap: Biztonságtudományi doktori iskola [https://doktori.hu/index.php?menuid=191&lang=HU&di\\_ID=191](https://doktori.hu/index.php?menuid=191&lang=HU&di_ID=191)
- [9] MABISZ AJÁNLÁSOK <http://pluto.hu/weboldalrol/erthetok/el>
- [10] Horváth Tamás Elektronikus megfigyelő-, és ellenőrző rendszerek objektumorientált kialakítása különös tekintettel a biztonsági kockázatok rendszerére doktori értekezés Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola 2018. [http://lib.uni-obuda.hu/files/Horvath\\_Tamas\\_ertekezés.pdf](http://lib.uni-obuda.hu/files/Horvath_Tamas_ertekezés.pdf)
- [11] Tóthné Laufer Edit, „Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázateértékelő módszerek optimalizálása. doktori értekezés Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai
- [12] Doktori Iskola 2014. [http://www.lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Laufer\\_Edit\\_PhD\\_ertekezés.pdf](http://www.lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Laufer_Edit_PhD_ertekezés.pdf)
- [13] A Kiürítésről szóló TvMI 2.2:2016.12.20. számú Tűzvédelmi Irányelv

# Elektronikus távfelügyelet a börtönökben

## Electronic remote monitoring in prisons

Kondás Katalin\*, Kovács Tibor, Berek Lajos

\*Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország

\* kondas.katalin@gmail.com

kovacs.tibor@bgk.uni-obuda.hu; berek.lajos@bgk.uni-obuda.hu

**Összefoglalás:** Az elektronikus nyomkövető eszköz gyakorlati használata 2013-ban kezdődött Magyarországon. A hatóság ezt az eszközt használja az előzetes letartóztatásban lévő személyeknél a kiszabható házi őrizet ellenőrzésére. A kisebb büncselekmény elkövetőinek lehetősége nyílik az elektronikus nyomkövető használatával, hogy a büntetésük utolsó időszakát a saját otthonukban tölthessék 2015. április 1-től. Mivel a szabályok változtak 2017. január 1-én, így a fogvatartottak még kedvezőbb feltételek mellett vehetik igénybe ezt a lehetőséget. Az elektronikus távfelügyeleti eszköz biztonsági eszközként funkcionál a börtönökben. Összefoglalom az eszköz történetét és tapasztalatait, további lehetőségeit.

**Kulcsszavak:** házi őrizet, elektronikus távfelügyelet, elektromos nyomkövető, reintegrációs őrizet

**Abstract:** The practical use of the electronic tracking device started in Hungary in 2013. The authority uses this tool to persons in pre-trial detention to verify any house arrest. The minor offense perpetrators the opportunity to use an electronic tracking device, to the last period of irrelevance in their homes to fill from 1 April 2015. Since the rules changed on 1 January 2017, so that inmates have access to more favourable terms. Electronic security device as a remote administration tool in the prisons. Let me wrap up the device history and experiences, as well as other possibilities.

**Keywords:** house arrest, electronic remote, electric tracking device, reintegration detention

### 1 BEVEZETÉS

A büntetés-végrehajtási intézetekben a biztonsági feladatokat a büntetések, az intézkedések, egyes kényszerintézkedések és a szabálysértési elzárás végrehajtásáról szóló 2013. évi CCXL. törvény (a továbbiakban: Bv. törvény), valamint a szabadságvesztés, az elzárás, az előzetes letartóztatás és a rendbírás helyébe lépő elzárás végrehajtásának részletes szabályairól szóló 16/2014. (XII. 19.) IM rendelet szellemiségének megfelelően, a reintegrációs célok elősegítésének figyelembe vételével, az egyéni differenciálás elve szerint kell tervezni, szervezni és végrehajtani. [1]

A rendelet hatálya:

- a szabadságvesztés,
- az elzárás,
- a közérdekű munka helyébe lépő szabadságvesztés,

- a pénzbüntetés helyébe lépő szabadságvesztés,
- az előzetes letartóztatás, és
- a rendbírás helyébe lépő elzárás végrehajtására terjed ki. [2]

A büntetés-végrehajtási szervezet - az igazságszolgáltatás rendszerébe tartozó, sajátos feladatokat ellátó, állami, fegyveres rendvédelmi szervezet - a feladatai ellátása során az egyik legfontosabb alapjogot, a személyi szabadsághoz való jogot korlátozza.

Magyarországon először 1896-ban rendelkeztek a házi őrizetről, mely megengedte, hogy a terheltet (személy, akire az eszközt felhelyezték) az előzetes letartóztatásnak, vagy a vizsgálati fogságnak egy része, vagy egész tartama alatt lakásán őrizzék. Ennek az őrizésnek a költségeit a terhelt köteles volt megellelni és kifizetni.

1994-ben a házi őrizetet az előzetes letartóztatás alternatívájaként említették. Két évvel később a házi őrizet megjelent a törvényjavaslatban, olyan formában, hogy a terhelt csak meghatározott személy kíséretében hagyhatja el a kijelölt lakást vagy az ahhoz tartozó bekerített helyet. 1999-ben felmerül a technikai eszköz segítségével történő ellenőrzés lehetősége is. Végül a házi őrizetet az 1999. évi CX. törvénnyel vezették be.

A büntetőeljárásról szóló 1998. évi XIX. törvény az előzetes letartóztatást helyettesítő kényszerintézkedések körében, a lakhelyelhagyási tilalom, az óvadék és a távortartás mellett rendelkezik a házi őrizetről. A nyomkövető eszközzel történő ellenőrzés nem kötelező, a bíróság dönt annak elrendeléséről. [3]

A Bv. törvény előkészítése során felmerült az elektronikus távfelügyelet alkalmazásának gondolata. Ezzel egyidejűleg megvizsgálták a magyar Rendőrség házi őrizeti rendszerét, hiszen a Rendőrség már 2013 májusától használt ellenőrzésre elektronikus eszközt.

A Büntetés-végrehajtás Országos Parancsnoksága közösen az Országos Rendőr-főkapitánysággal (a továbbiakban: ORFK), az Országos Bírói Hivatallal, és a Legfőbb Ügyészséggel tanulmányozta az elektronikus eszköz alkalmazásának jogi környezetét, működtetését és a folyamatos egyeztetések során sikerült megismernie a házi őrizet ellenőrzésére alkalmazott eszközrendszert és a működést biztosító informatikai rendszert is. A folyamat során lehetőség nyílt a Rendőrség által működtetett rendszert is megismerni, sőt az eszközöket gyártók képviselőivel, illetve a rendszert üzemeltetővel is megtörtént a kapcsolatfelvétel, illetve az egyeztetés. Elsődleges cél volt a Bv. törvény bevezetésével tervezett reintegrációs őrizet elektronikus felügyeletének

megvalósítása ugyanúgy, mint a fogvatartottak külső helyszínen történő munkáltatásának ezekkel az eszközökkel történő segítése.

A szakmai tárgyalások eredményeképpen az eszközök használhatósága igazolásra került, az alkalmazás lehetősége megjelent a jogszabályban és 2015. április 1-től a kisebb súlyú bűncselekmény elkövetőivel szemben a bírónak lehetősége nyílik arra, hogy a fogvatartottak büntetésének utolsó hat hónapjában a szabadság megvonást a büntetés-végrehajtás falain kívül, elektronikus nyomkövető alkalmazásával hajtsák végre. A háziőrizet elektronikus eszközzel való felügyeletének elrendelése esetén a Bv. szervezet biztosítani tudja, hogy a társadalomra kevésbé veszélyes bűnelkövetők reintegrációs folyamata hatékonyabb módszerrel valósuljon meg, így a visszailleszkedés a társadalomba egy megfelelően hosszabb időtartamban, a család támogatásával fokozatosan valósulhat meg. Nem utolsó sorban a háziőrizet alkalmazásával a büntetés-végrehajtási intézetek zsúfoltságát is csökkenteni lehet. A reintegrációs őrizet során az elítélt személyes szabadságát úgy korlátozzák, hogy a terheltnél lehetősége nyílik a munkába állásra, a családi kapcsolatok újrafelvételére. Csak azt az elítéltet lehet reintegrációs őrizetbe helyezni – a törvényi feltételek mellett –, akiről feltételezhető, hogy együttműködő és jogkövető magatartást fog tanúsítani. [4][5] Az elítéltek munkáltatása során alkalmazott eszközök a szervezet személyi állománya napi munkáját könnyíti meg.

A rendszer bevezetése óta eltelt bő három év, ez alatt a büntetés-végrehajtás tapasztalatot szerzett az elektronikus eszközök használatában. Ezeket áttekintem, összefoglalom, továbbá javaslatot teszek további használatukra a büntetés-végrehajtási szervezetnél.

Az alábbi ábra szemlélteti, hogy mely országban milyen esetekben veszik igénybe az eszközöket. (Természetesen a Világ sok országban alkalmaznak még elektronikus felügyeleti rendszert, a táblázatban szereplő országok példálódzó jelleggel kerültek felsorolásra.) Az 1. táblázatban látható, hogy mely esetekben tervezik Hazánkban még bevezetni az eszközöket.

	Ország	Élőzetes letartóztatás	Háziőrizet	Munkába bocsátás	Idő előtti szabadiábra helyezés	Szabadság, természet, körülmények, stb.	Távoltartás
	Hungary	x	x	?	?	?	
	Australia, Western Australia	x			x	x	
	New Zealand	x	x	x	x	x	
	Bosnia		x				
	Estonia		x	x	x		
	USA	x	x	x	x	x	x
	Israel	x	x				
	Lithuania	x					

1. tábla: A megfigyelőrendszer alkalmazása néhány országban [6]

## 2 TÁVFELÜGYELET MEGJELENÉSE A BV-BEN

A rendőrség házi őrizet rendszerét alapul véve, és a gyártókkal, üzemeltetővel, más szervezetekkel történt egyeztetéseknek köszönhetően az elektronikus távfelügyelet bevezetésre került a büntetés-végrehajtás szervezetében.

A reintegrációs őrizet, mint fogalom, és a munkáltatás elektronikus távfelügyeleti eszközökkel történő ellenőrzése a mindennapi életben rendszeresen jelen van.

Az ezzel járó feladatok a szervezet napi rutinjához tartoznak.

A házi őrizet rendszerében használt egy részes (ún. one-piece) eszköz használata, mind a reintegrációs őrizet, mind a munkáltatás ellenőrzésére alkalmasnak bizonyult. Az előzetes egyeztetések következményeként azonban nem csak a már alkalmazott megoldást prezentálták, hanem újdonságként a Magyarországon még nem alkalmazott két részes (ún. two-piece) távfelügyeleti eszközt is. Rövid idő alatt felmérték, hogy ez az eszköz több előnnyel jár az egy részes eszközzel szemben. Tapasztalatok alapján az egy részes eszköz kifejezetten a házi-, reintegrációs őrizet megvalósítására alkalmas, addig a két részes eszköz jobb megoldás lehet a mozgással, helyváltoztatással járó tevékenységek, így a munkáltatás ellenőrzésére.

Az elektronikus távfelügyeleti rendszer kialakítása a Belügyminisztérium irányításával történt. Az ORFK rendszere rendelkezett elegendő tartalék kapacitással ahhoz, hogy az elektronikus házi őrizetben lévő felügyelete mellett egyidejűleg a reintegrációs őrizetben lévő és az elektronikus távfelügyeleti eszközzel munkáltatásban résztvevő fogvatartottak ellenőrzése is végrehajtható legyen. Fentiek okán az a döntés született, hogy a büntetés-végrehajtási szervezet az ORFK rendszerében valósítja meg elektronikus távfelügyeleti rendszerét, erről az elektronikus távfelügyeleti eszköz működését biztosító rendszer létesítésének és üzemeltetésének, az elektronikus távfelügyeleti eszköz alkalmazásának, továbbá a büntetés-végrehajtási szervezet, valamint a rendőri szerv ezzel kapcsolatos feladatának részletes szabályairól szóló 10/2015. (III. 30.) BM rendelet rendelkezik. [7]

A reintegrációs őrizet bevezetését több képzés előzte meg. Fel kellett készíteni az őrizet ellenőrzését végző biztonsági szakembereket végrehajtandó feladataikra, illetve az ezzel járó új informatikai felület kezelésére.

Az informatikusok kiképzése a rendszer mögött rejlő szoftver megismerését, beállításait foglalta magába, annak minden funkciójával, illetve az eszközök működéséhez szükséges beállításokkal. A programfelület használata nem okozott gondot a kezdeti időszakban sem. Az intézetek személyi állományának kiképzése után a fogvatartotti állomány felkészítésére került sor, melynek során az elítéltek végig együttműködőek voltak.

Az intézet folyamatosan tartotta a kapcsolatot a rendszer üzemeltetőjével, az eszköz gyártójával, és az ORFK munkatársaival, így a kezdeti hibákat sikerült orvosolni. A tesztek során kiderült, hogy a reintegrációs őrizet megvalósítható mind az egy-, mind a két részes eszközök segítségével, a két részes eszköz alkalmasabb a munkáltatás ellenőrzésére.

## 3 A BIZTONSÁGI ESZKÖZÖKRŐL

A Bv. szerv jelenleg alkalmazott biztonsági berendezései és technikai eszközei a következők:

- védelmi építmények, őrhelyek és azok technikai berendezései,
- jelző, riasztó technikai eszközök és rendszerek,
- elektronikus megfigyelési eszközök,
- bástyafal,
- biztonsági kerítés,

- nyomsáv,
- biztonsági ajtók, zárok, zárrendszerek,
- biztonsági rács, jelzőrács,
- kilátásgátló,
- műszaki akadály,
- világítástechnikai berendezések, áramfejlesztő,
- különleges gépjárművek, és egyéb járművek,
- hír-összeköttetést biztosító berendezések,
- elektronikus távfelügyeleti eszközök,
- vezeték nélküli személyi riasztó rendszer,
- fémkereső, csomagvizsgáló berendezések. [1]

Az elektronikus távfelügyeleti rendszerben működtetett technikai eszköz a Bv. törvényben meghatározottak alapján biztonsági intézkedés, valamint reintegrációs őrizet céljából az intézkedés alá vont elítélt Bv. intézetén kívüli földrajzi helyzetének meghatározására, valamint a részére előírt magatartási szabályok megtartásának ellenőrzésére alkalmazható.

### 3.1 Egy részes eszköz



1. ábra: Egy részes nyomkövető eszköz felépítése [8]

Kifejezetten arra tervezték ezt az eszközt, hogy a GPS technológiát használva, a terhelt holléte kültéren is meghatározható legyen. A GPS egység teszi lehetővé az őrizetes folyamatos nyomon követését és a konkrét helyzetének meghatározását. Az egységet az őrizetes bokájára kell szerelni, amelynek részei: a GPS modul, mobil modem, SIM kártya és egy RF antenna. Ha az eszköz mozgásban van, az egység naplózza a GPS pontot.

Az őrizetesnek van egy integrációs és egy kizárási zónája, illetve egy ütemterve, amelyet be kell tartania, egyébként az eszköz riasztást jelez. Az őrizetes nem léphet a kizárási területekre és az Integrációs zónán belül kell tartózkodnia az ütemtervnek megfelelően.

Az alapegységet az őrizetes kijárási tilalmi helyzetébe telepítik, pl. otthonában. Amikor az őrizetes a kijárási-tilalmi helyre lép, akkor az egy részes GPS és az alapegység érzékeli egymást, és ekkor az egy részes egység nem keresi tovább a GPS jelet és kizárólag az RF alapján működik. Abban a pillanatban, amikor az alapegységben valamilyen rongálás történik, vagy ha a két egység nem érzékeli tovább egymást, az egy részes egység ismét GPS jelet kezd keresni. [8]

### Főbb jellemzői:

- könnyű súly (170 gramm),
- biztonságosan illeszkedik a terhelt bokájára,
- beigazítható és könnyen telepíthető szíj,
- hipoallergén, vízálló és ellenáll a rongálásnak,
- több színű LED világítás jelzi a töltöttséget, a GPS-t és a zónasértést,
- 35-45 óra akkumulátor élettartam,
- töltési idő: 3 - 3,5 óra naponta,
- távoli szoftverfrissítés lehetősége,
- ultrahangos zár,
- zárt, nem nyitható egység biztonsági funkciókkal,
- kifejezetten a terheltet megfigyelő alkalmazásokhoz lett kifejlesztve.

### 3.2 Két részes eszköz



2. ábra: Két részes nyomkövető eszköz [9]



3. ábra: Két részes GPS külső elemei [8]

Az eszköz szintén egy GPS követőegység, kis méretű, könnyen hordozható, ami a terhelt helyzetének megfigyelésére használható, GPS alapú nyomkövetéssel.

Miközben a terhelt mozgásban van, a követő egység folyamatosan gyűjti a helyzeti adatokat. Az adatfeldolgozásra, majd mentésre kerül, majd az ellenőrző központnak továbbítja, így jelezve a helyzetét és a

szabályszegést. HA bármilyen szabálysértést észlel a rendszer azt jelzi központban, és az előírt intézkedéseket végre kell hajtani.

A két részes GPS főbb jellemzői:

- 3G kommunikációs lehetőség,
- két SIM befogadására is alkalmas,
- kétirányú hang kommunikáció,
- egyidejű hang és adatátvitel 3G hálózaton keresztül,
- titkosított kommunikáció a megfigyelő központtal,
- rugalmas program konfiguráció: teljesen konfigurálható zónák és ütemtervek,
- 36 órán át tartó akkumulátor élettartam,
- szabálysértés esetén többféle rezgéssel, sípolással, jelekkel és az LCD kijelzőn szöveges üzenettel tud riasztani,
- többnyelvű támogatás,
- távoli szoftverfrissítési lehetőség,
- kis méret, könnyű súly (180 gramm),
- modern ergonómiai megjelenés,
- akkumulátor töltési idő: 2 óra,
- továbbfejlesztett memória: 30 napnyi adattárolás,
- nagy felbontású színes LCD kijelző,
- érintésre érzékeny gombok,
- rezgőmotor.



4. ábra: Két részes eszköz jeladója [9]

A jeladó jellemzői:

- egy lépésben installálható,
- vízálló,
- zord környezeti viszonyokra tervezve,
- akkumulátor élettartam: 36 hónap,
- rongálás biztos csavarok,
- a szíjak és a kapcsok jelzik a rongálást elektronikusan is.

## 4 TAPASZTALATOK

### 4.1 Eszközigény

A büntetés-végrehajtási szervezet kezdetben 350 db egy részes távfelügyeleti eszközt szerzett be a reintegrációs őrizet végrehajtásához, valamint 100 db két részes eszközt a munkáltatás elektronikus távfelügyeletéhez. Miután a reintegrációs őrizet fokozatosan a Bv. szervezet napi feladatrendszerének részévé vált, ezt követően kezdődött meg a távfelügyeleti eszközök munkáltatási célú alkalmazásának előkészítése és megvalósítása.

Kezdetben reintegrációs célból csak egy részes eszközök kerültek a rendszerbe, míg a két részes eszközöket a munkáltatás során alkalmazták. Mivel a reintegrációs őrizetek száma, és az eszközökkel kapcsolatos tapasztalatok folyamatosan nőttek, a két részes eszközök is bekerültek a rendszerbe már a reintegrációs őrizet végrehajtására.

A terheltek száma folyamatosan nő, így az eszközök számát is ennek megfelelően szükséges növelni. A használatban lévő eszközök száma jelenleg:

- 345 darab egy részes, és 140 darab két részes az őrizetek, míg
- 40 darab két részes a munkáltatásban részt vevők számára.

### 4.2 A rendszer használata

A személyi állomány körében a rendszer beüzemelését át kellett gondolni, az oktatás tervezést igényelt. A rendszer dokumentációja és a pilot rendszerű oktatás azonban sikeresnek bizonyult. Az intézetek egymás közötti kommunikációja és a központi irányítás megfelelősége szintén segítette a rendszer sajátosságainak megismerését.

Az elektronikus távfelügyeleti eszköz GPS alapon működik, nincs szükség az elítélt lakásában a házi őrizetnél alkalmazott készülék felszerelésére. A lakás alkalmasságának kritériuma a folyamatos 220 V-os áramellátás, valamint a telefonos térérő. Az elítélt eszközzel való felszerelését, illetve a két feltétel meglétének vizsgálatát a büntetés-végrehajtási intézetben az erre kiképzett személyi állományi tagja is el tudja végezni.

Az eszközök terheltekre történő felhelyezése, konfigurálása, alkalmazása problémamentesen zajlott.

A nyomkövető rendszer szoftvere kifejezetten a 3. fejezetben bemutatott eszközök monitorozó folyamataira tervezték. Célja a nyomkövetés, kommunikáció és térképezési lehetőségek, amely lehetővé teszi a rendszerkezelők számára az eszközök hatékony követését. Minden ellenőrzött személyhez egy nyomkövető egységet társít, amely valós időben, állandóan követi a helyzetét. Az eszköz elmenti és feldolgozza a nyomkövetés adatait, ezeket továbbadja az ellenőrző központnak.

A rendszer rendeltetészerű működéséhez néhány alapvető feladatot el kell végezni. A kijelölt fogvatartott személyi adatainak feltöltése után összerendeljük a rá tett eszközzel. Ekkor a szoftver az eszköz alapján már beazonosítja a terheltet. A zónákat meg kell határozni terheltek (lásd 5. ábra), amely azt jelenti, hogy a térképen be kell jelölni, hogy hol mozoghat az eszköz, ha ezen kívül érzékeli a rendszer, akkor zónasértést jelez.





5. ábra: Zóna bejelölése a térképen

A távfelügyeleti eszköz nem rendeltetésszerű működésére, és a meghatározott magatartási szabályok megszegésére vonatkozó jelzések azonnali kivizsgálása a területileg illetékes személyi állományi tag kötelezettsége. A technikai rendszert kezelő folyamatosan figyeli a beérkező jelzéseket, amennyiben rendellenességet tapasztal, arra haladéktalanul intézkedik.

A zóna sértés esetén, amennyiben az időtartama hosszabb, mint 1 perc, a technikai rendszer kezelője értesíti a munkáltatás biztonsági felelőst, illetve reintegrációs őrizetes esetében fel kell hívni a terheltet.

A távfelügyeleti rendszerben történt meghibásodásokat – rendszer leállás, programhiba, stb. – jelenteni kell a középírányító szerv felé is. A hibabejelentést telefonon, illetve e-mailben is meg kell tenni a rendszert üzemeltető felé.

A távfelügyeleti rendszer központi meghibásodása esetén - egyéb felsőbb intézkedés kiadásáig – a meghibásodás elhárításáig biztosítani kell a kapcsolattartást a munkáltatás biztonsági felelős személlyel, illetve a reintegrációs őrizetessel.

#### 4.3 A rendszer, mint biztonsági felügyelet

Hiba érzékelés, vagy nem megfelelő működés esetén a rendszer jelez. A zóna megsértése esetén, a terhelt kilépett a számára előírt mozgástérből, vagyis ott van, ahol jelenleg nem tartózkodhatna.

Az eszköz megrongálódása esetén, az egy részes egység szíját kinyitották, megrongálták vagy elválták.

Ha az egy részes eszköz GPS egység legalább 5 perce nem kapott GPS jelet, vagy 10 egymást követő percben mozgásban volt GPS jel nélkül. A terhelt azonnal értesítést kap (eszköze rezgő riasztást ad számára), és a szabad ég alá kell mennie, hogy újra legyen GPS jele. Alapértelmezetten a terheltnek 10 perc türelmi ideje van, hogy ezt az utasítást végrehajtsa, mielőtt az állapot riasztásnak minősül.

A nyomkövető egység nem fogadta a bejelentkezési hívását. Alapértelmezetten a rendszer 30 perc türelmi időt biztosít, mielőtt a nem fogadott hívást kihágásnak minősítene. Amennyiben az eszközbe helyezett SIM kártyát hívva nincs tárcsahang, illetve a hívás átirányításra kerül hangpostára, vagy üzenet értesíti arról, hogy a szám nem elérhető, a nyomkövető olyan területen tartózkodik, ahol nem megfelelő a térerő.

A rendszer sok más esetben jelez, amely nem minősül problémának, ilyen pl. a nyomkövető áramellátáshoz csatlakoztatása, leválasztása, vagy ha nincs kommunikáció a nyomkövető és a szerver között, illetve a kapcsolat helyreállása.

A fenti események színekkel vannak ellátva a jelzés minősítésétől függően. A vészjelzést a kék szín jelöli, ezek az esetek aggodalomra adnak okot és időben kezelni kell őket. Ezeket az eseményeket a nyomkövető egység hozza létre és az időpontok a terhelt helyi idejéhez igazodnak.

A fekete színű jelzéseket az elektronikus ellenőrző rendszer hozza létre és az esemény a rendszer helyi idejéhez igazodó időpontot mutat. A vörös a szabálysértést, áthágást jelöli, ezek az események aggodalomra adnak okot és azonnal kezelni kell őket. Ezeket az eseményeket is a nyomkövető egység hozza létre. A szürke jelzés, cselekedet, állapotváltozás, ami nem problémát jelöl.

Az eszköz aktuális állapotát színes LED-ek jelzik (lásd: 6. ábra):

- a zöld megfelelő állapotot jelent,
- a vörös áthágást, szabálysértést jelöl,
- a sárga szabálysértést, amely engedélyezett időn belül történt.



6. ábra: LED jelzések

A LED-ek az alábbiakról adnak információt:

- PWR: az egység akkumulátorának töltöttségét,
- GPS: a GPS vétel állapotát,
- ZONE: a zónák megsértését jelzi.

A rendszer megismerése után, használata könnyű, segíti a hibák kiszűrését, és azzal együtt kezelését.

#### 4.4 Reintegrációs őrizet

A reintegrációs őrizet az elítélt által megjelölt lakóingatlanban kerül végrehajtásra. A személyes szabadságot csak korlátozza, ezáltal megvalósítható a büntetés-végrehajtás célja, miszerint a fogvatartottnak segít a szabadulása utáni társadalmi visszailleszkedésben. Az elítéltnak a büntetés végrehajtásának ellenőrzésére szolgáló, testéhez rögzített elektronikus nyomkövető eszközt visel. A társadalmi visszailleszkedés ilyen módon

fokozatosan valósul meg. A szabadságvesztés és az önálló életvitel közé lép egy olyan időszak, ahol ugyan a börtön falain kívül, de mégis felügyelet alatt éli mindennapjait. A fogvatartott biztosíthatja önálló megélhetését, dolgozhat, újraépítheti kapcsolatait. Az elítéltek élnek a törvény adta lehetőségekkel és a szervezettel együttműködnek.

Azonban, ha a megjelölt helyet, illetve a mozgási területet az elítélt elhagyja, az riasztás formájában azonnal a hatóságok tudomására jut. A kiszabott ítélet ilyen módon történő végrehajtása egyértelmű és jelentős kedvezmény a Bv. intézetekben töltött szabadságvesztéshez képest. Ebből is látszik, hogy az elítélteknek és a büntetés-végrehajtásnak is kedvez az eszköz használata. [10] [11]

#### 4.5 Munkáltatás

A fogvatartott a büntetés-végrehajtási intézet területén és azon kívül is foglalkoztatásban, munkáltatásban vesz részt. Az elítéltek intézetek épületein kívüli mozgásának nyomon követése érdekében az elektronikus távfelügyeleti eszköz alkalmazása tökéletes.

A munkáltatás során használt eszközökre, az intézetek részéről pozitív visszajelzés érkezett, valamennyien alkalmasnak ítélték az eszközt a munkáltatás elektronikus ellenőrzésére. Az eszközzel nyomon követhető a fogvatartott helye. A dolgozó elítéltek együttműködőek, az eszközökre vigyáznak, probléma esetén azt jelzik a felügyeletnek. Az eszköz bevezetése óta a munkáltatási létszámot emelni tudták, és ezzel egyidejűleg a felügyeletet csökkenteni.

### 5 A RENDSZER KITERJESZTÉSE

Az eszközök alkalmazása beépült az intézet napi munkafolyamataiba. Az így keletkezett feladatok folyamata ma már rugalmasan illeszkedik a napirendbe.

Jelenleg közel ötszáz fogvatartott van reintegrációs őrizetben, ami azt jelenti, hogy az elítélt a büntetés-végrehajtási bíró által kijelölt - tartózkodási helyéül szolgáló – lakásban tartózkodik. A szervezet számára az egy nap elektronikus őrizet költsége alacsonyabb, mint az egy börtönben töltött nap költsége. A fenti szám azt is magával vonzza, hogy ennyivel kevesebb a fogvatartotti létszám, az az intézetek túlszűfolttsága az eszköz bevezetésével csökkent. [12] A rendszer támogatja a rehabilitációs elképzeléseket is, miszerint ez a fajta szabadság elvonás csökkentheti a visszaesők számát. A börtön falain kívüli tartózkodásnak pozitív pszichológiai hatása van.

A Bv. törvény alapján az elítéltek intézeten kívüli mozgásának nyomon követése érdekében elektronikus távfelügyeleti eszköz alkalmazható:

- az elítélt Bv. intézet területén kívül történő foglalkoztatása,
- a nem a büntetés-végrehajtási szervezet kezelésében lévő egészségügyi intézményben elhelyezett elítélt őrzése, felügyelete,
- a súlyos beteg közeli hozzátartozóját meglátogató elítélt felügyelete,
- a közeli hozzátartozója temetésén részt vevő elítélt felügyelete,
- csoportos kimaradás felügyelete esetén. [3]

Az elektronikus nyomkövető eszközök még nem minden esetben terjedtek el a törvény adta lehetőségek

terén. Elsősorban az eszközökkel szembeni tapasztalat hiányzott, amely most már rendelkezésre áll. A nyomkövetők számának növelése után azonban a fenti lehetőségekre is hasznos a kiterjesztés.

További esetekben is kihasználható az eszköz használatának lehetősége, ami mind a szervezet, mind a fogvatartotti állomány számára kedvezően hatna. Véleményem szerint alkalmazható a távfelügyeleti rendszer az elítélt:

- az enyhébb végrehajtási szabályok alkalmazása során az eltávozás elrendelése,
- külkórházi kezelés esetén a kórházba történő kihelyezése,
- eseti jelleggel engedélyezett - az elítélt meghatározott célból történő – eltávozása,
- a jutalomból engedélyezett eltávozása, kimaradása,
- szabadságvesztés félbeszakítás,
- látogató intézeten kívül fogadása, vagy akár
- egyedi reintegrációs programok (pl.: börtönszínházi találkozó, zárándoklat, istentisztelet látogatása) során.

A rendszer bevezetése segíti a börtönök napi munkáját. Ahhoz, hogy a rendszert további tevékenységekre, esetekre is kiterjesszük célszerű egy új - rendőrségtől független - a büntetés-végrehajtás kezelésében lévő rendszer kiépítése, illetve a rendelkezésre álló eszköz számának az igényeknek megfelelő növelése. Véleményünk szerint a távfelügyeleti rendszer további bővítése, kiterjesztése indokolt.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönjük Dr. Sebestyén Attila tanácsait és lektori munkáját, illetve Prisznyák Szabolcsnak a rendelkezésre bocsátott információkat.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A büntetés-végrehajtás országos parancsnokának 26/2015. (III.31.) OP szakutasítása a büntetés-végrehajtási szervezet Biztonsági Szabályzatának kiadásáról
- [2] 16/2014. IM rendelet a szabadságvesztés, az elzárás, az előzetes letartóztatás és a rendbírás helyébe lépő elzárás végrehajtásának részletes szabályairól 2014. december 19.
- [3] 2013. évi CCXL. törvény a büntetések, az intézkedések, egyes kényszerintézkedések és a szabálysértési elzárás végrehajtásáról 2013. 12. 23.
- [4] Zsaru magazin: <http://www.police.hu/hirek-es-informaciok/legfrissebb-hireink/zsaru-magazin/biztosabb-a-hazi-orizet-labillinccsel>, 2018.08.21.
- [5] 55/2014. BM rendelet a szabadságvesztés, az elzárás, a rendbírás helyébe lépő elzárás, az előzetes letartóztatás és a szabálysértési elzárás végrehajtását foganatosító büntetés-végrehajtási intézetek kijelölésének szabályairól 2014. december 5.
- [6] 3M Elektronikus Monitoring: 3M Elektronikus megfigyelőrendszer bemutatása, prezentáció 2016.
- [7] 10/2015. (III. 30.) BM rendelet az elektronikus távfelügyeleti eszköz működését biztosító rendszer létesítésének és üzemeltetésének, az elektronikus távfelügyeleti eszköz alkalmazásának, továbbá a büntetés-végrehajtási szervezet, valamint a rendőri szerv ezzel kapcsolatos feladatának részletes szabályairól 2015. március 30.
- [8] 3M Elektronikus Monitoring: ITrack GPS/RF Elektronikus házi őrzeti rendszer – Eszközök, prezentáció 2016.
- [9] 3M Elektronikus Monitoring: 2darabos GPS nyomkövető rendszer, prezentáció 2016.
- [10] Bogotyén R.: A zsűfolttság csökkentésének útjai a börtönépítésen túl. Börtönügyi Szemle 2015/1. szám
- [11] Pallo J. – Töröcsik B.: A magyar büntetés-végrehajtás szabályozási környezete az európai elvárások tükrében (2. rész), Börtönügyi Szemle 2011/3. szám
- [12] Dr. Than A.: Elektronikus mozgáskövető eszköz alkalmazása a büntető igazságszolgáltatás során Magyarországon és Európában, PhD értekezés, Pécs, 2016.

# Munkaviszony kontra vállalkozói jogviszony a személy- és vagyonvédelmi tevékenység keretein belül

## Employment relationship vs. entrepreneurial relationship within the framework of personal and property protection activities

Dobos Piroska

Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország  
d.piri@globalprofit.hu

**Összefoglalás:** Az élőerős őrzés és védelem (személyi védelem) a komplex személy- és vagyonvédelem egyik meghatározó területe. A legrégebbi őrzés-védelmi tevékenység. Az őrzés-védelem többféle formában valósulhat meg (tulajdonos által, munkaviszonyban, vállalkozói jogviszonyban, fegyveres erők és fegyveres biztonsági őrseg alkalmazásával egyaránt). Munkaviszonyban és vállalkozási jogviszonyban való megvalósulás esetén is lehetnek számtalan előnyei és hátrányai. Az egyik legnépesebb foglalkoztatási ágazatok közé sorolható, és a feketegazdaság ebben a szegmensben is jelentősen jelen van.

**Kulcsszavak:** munkaviszony, vállalkozói jogviszony, személy- és vagyonvédelem, feketegazdaság

**Abstract:** Live guarding and protection (personal protection) is a key area for complex personal and property protection. This is the oldest security guard activity. Security guarding can take place in a variety of forms (by owner, employment, business relationship, armed forces and armed security guards). There can be many advantages and disadvantages when working in employment relationship or entrepreneurial relationship. It is one of the most populous sectors of employment, and the black economy is also heavily present in this segment.

**Keywords:** employment relationship, entrepreneurial relationship, personal and property protection, black economy

### 1 BEVEZETÉS

Az őrzést és a védelmet is jelentős mennyiségű, esetenként magas technikai színvonalon álló műszaki eszköz alkalmazásával emberek, személyek folytatják az emberek egy meghatározott csoportjával szemben. Tehát maga az őrzés-védelem emberek, illetve embercsoportok közötti olyan sajátos viszony, amelyben az egyik csoport jogellenes magatartást valósít meg, a másik csoport pedig azt igyekszik megakadályozni. Mivel az emberek, embercsoportok közötti viszony társadalmi viszony, az őrzés-védelem, mint tudományosan rendszerezett ismerethalmaz a társadalomtudományok nagy csoportjába kell, hogy tartozzon.

A társadalomtudományok közzé igen sok, egymással minimális kapcsolatban lévő tudomány tartozik. Ha megvizsgáljuk a társadalomtudományok körét, akkor azt figyelhetjük meg, hogy az őrzés-védelemnek nagyon szoros kapcsolata van a hadtudománnyal, az állam- és jogtudományokkal valamint a kriminalisztikával. Az utóbbi időben a tudományok struktúrájával foglalkozó tanulmányok egy részében a hadtudományt is magába foglaló új tudománycsoport körvonalai kezdenek kirajzolódni, ez pedig a rendvédelem, vagy rendvédelmi tudományok. Ugyanakkor a biztonsághoz is szorosan kapcsolódva a biztonságtudományok körében is ott a helye.

Tehát az őrzés és védelem olyan társadalomtudomány, amely tevékenysége során jelentős mértékben felhasználja más tudományok eredményeit, módszereit és eszközeit [1]. Amennyiben az élőerős védelemi tevékenység megvalósulási formáit is figyelembe vesszük, illetve az ehhez kapcsolódó bejelentési, adózási kérdéseket és költségigényt, akkor már a közgazdaságtan területéhez is jelentős mértékben kapcsolható.

### 2 AZ ÉLŐERŐS VÉDELEM

Az élőerős őrzés és védelem (személyi védelem) a komplex személy- és vagyonvédelem egyik meghatározó területe. A legrégebbi őrzés védelmi tevékenység. Gyakorlatilag a vagyoni elkülönülés időszakában alakulhatott ki. A mechanikai védelem és az elektronikai jelrendszer alapvetően passzív őrzésvédelmi rendszer, akadályoz, késleltet, érzékel és jelez, de nem reagál. Az elektronikai jelzőrendszerrel van lehetőség és törekvés is az aktivitás fokozására. Az élőerős őrzés és védelem rendeltetése a technikai rendszerek üzemeltetése mellett rendkívüli helyzetekben történő reagálás. Az élőerő képes ellenőrizni a jelzést, a riasztás valódiságát, értékelni a veszélyeztetést, és ezeknek megfelelően intézkedni. Mindezekért ebben az egymásra épülő biztonsági rendszerben az élőerő szerepe meghatározó, ugyanakkor a rendszer elemeiben gyenge pont is az élőerő.

Az ember befolyásolható, korrumpálható, elfárad, lusta, hajlamos tudatosan eltérni a meghatározott feladat menetétől. Adott esetben az emberi tulajdonságok előnyösek is lehetnek. Egy megnyerő, jó pedagógiai és pszichológiai képességekkel és felkészültséggel rendelkező biztonsági őr sokszor képes bonyolult, rendkívüli helyzetben is a szó erejével eredményt elérni. A szakirodalom esetenként személyi védelemnek nevezi az előerős őrzés-védelmet.

A személy- és vagyonvédelmi, valamint a magánnyomozói tevékenység szabályairól szóló törvény célja, hogy - a közrend, a közbiztonság javítása, s ezek részeként a személy- és vagyonvédelem, a bűnmegelőzés hatékonyságának fokozása érdekében - erősítse a vállalkozás keretében végzett személy- és vagyonvédelmi, valamint a magánnyomozói szolgáltatás törvényességét. Továbbá garanciát nyújtson a társadalom számára az e szolgáltatásokat igénybe vevők, illetve az e szolgáltatások gyakorlása során érintettek személyhez fűződő jogai, vagyoni érdekei sérthetlenségére irányuló igényeinek érvényesítéséhez [2]. E törvény hatálya az egyéni, valamint a társas vállalkozás keretében végzett személy- és vagyonvédelmi, valamint a magánnyomozói tevékenységre, személyi hatálya a személy- és vagyonvédelmi tevékenységet folytatóra, valamint a magánnyomozóra terjed ki. Az e törvény hatálya alá tartozó tevékenységek egyéni vállalkozás és bármely gazdasági társaság keretében is végezhető. Ezen túlmenően munkaviszony keretében is folytatható a tevékenység, a törvény 22-33. §-ainak rendelkezései irányadók a személy- és vagyonvédelmi tevékenységet munkajogi vagy egyéb foglalkoztatási jogviszonyban, nem vállalkozás keretében folytató személy tevékenységére.

Vállalkozás keretében személy- és vagyonvédelmi, valamint magánnyomozói tevékenység kizárólag a rendőrség által a vállalkozás részére kiadott működési engedély és a kamarai nyilvántartásba vételről szóló igazolás birtokában végezhető. E hatósági engedély nélkül személy- és vagyonvédelmi, valamint magánnyomozói tevékenységre egyéni vállalkozói igazolványt kiadni, társas vállalkozást a cégnyilvántartásba bejegyezni, továbbá e tevékenységeket folytatni nem lehet. Személy- és vagyonvédelmi, valamint magánnyomozói tevékenység (ideértve a magánnyomozói tevékenység szervezését és irányítását is) személyre szóló, a rendőrség által kiadott igazolvány birtokában végezhető. Ilyen igazolványt kaphat - írásbeli kérelmére - a magyar állampolgár, illetve a szabad mozgás és tartózkodás jogával rendelkező személy, amennyiben büntetlen előéletű, nagykorú, cselekvőképes.

Továbbá külön jogszabályban meghatározott szakképesítéssel, és magánnyomozó esetében ezen kívül legalább középiskolai végzettséggel rendelkeznek; nem folyik ellene kétévi vagy ennél hosszabb tartamú szabadságvesztéssel fenyegetett szándékos bűncselekmény elkövetésének gyanúja miatt büntetőeljárás; és nem tiltották el jogerős bírói ítélettel az e törvény hatálya alá tartozó foglalkozástól [2].

Ha ezek az előzetes feltételek rendben vannak, akkor a munkáltató a felvételre jelentkező személy erkölcsi, fizikai és szellemi alkalmasságát és felkészültségét vizsgálja. Egészségügyi szempontból általános kizáró ok lehet a mozgáskorlátozottság, a testi fogyatékoság, kórosan káros szenvedély.

Az ideális személy- és vagyonőr képes nagyfokú önfegyelmet tanúsítani, határozott, elméleti és gyakorlati szempontból felkészült, problémamegoldó képessége fejlett és jó állóképességgel rendelkezik. Mindemelllett ismernie kell a szolgálat ellátásához szükséges alapvető jogi rendelkezéseket; az alapvető kriminalisztikai és pszichológiai elveket.

A személy és vagyonőr feladata sokrétű, változatos és összetett. Folyamatosan készen kell állnia a váratlan veszélyhelyzet elhárítására, a gyors és szakszerű reagálásra. Őrizhet objektumot, kísérhet szállítmányt, szállíthat pénzt, vagy értéket, biztosíthat védett személyt, lehet rendezvény-biztosító. Ezek a tevékenységek sokfélék, közös bennük, hogy minden tevékenység nagyfokú figyelmet és fegyelmet követel. Ezen feladatok ellátásához a következő tulajdonságokra van szükség: figyelem, koncentráció, fegyelmezettség; felelősségvállalás, gyorsaság, pontosság, megbízhatóság, jó fizikai állóképesség, jó pszichés állapot, terhelhetőség, jó kapcsolatteremtő képesség, tisztesség, becsületesség. Az erkölcsi alkalmasság vizsgálatának alapja az erkölcsi bizonyítvány és az ajánlólevelek előző munkahelyekről.

Mivel a biztonsági őr egy kiemelten bizalmi állás célszerű lehet környezettanulmány, egy életmód vizsgálat elvégzése. Az erkölcsi állapot felmérésére további lehetőségek adódnak a fizikai és a szellemi képesség felmérése során. A fizikai alkalmasság vizsgálatokor figyelembe kell venni, hogy milyen feladatkörben fog dolgozni a személy. Természetesen a követelményeket nemenként és a kornak megfelelően differenciálni. A szellemi alkalmasság szempontjából alapkövetelmények az általános iskolai végzettség. De ebbe a körbe az iskolai végzettségen kívül egy sor szellemi képesség is szükséges.

Ezek közül a legfontosabbak az intelligencia, érthető és szabatos beszéd, a kommunikációs készség, megfelelő türeklőképesség, konfliktuskezelő képesség, határozott, de kellően udvarias fellépés. A személy- és vagyonőri tevékenység tehát egy bizalmi feladatkör, amelynek betöltéséhez fedhetetlen, korrekt életvitelű, káros és kóros szenvedélyektől mentes személyekre van szükség. Akik olyan magatartást tanúsítanak, amellyel a megbízót, a munkáltatót, vagy a munkatársakat, illetve más személyeket nem károsítanak meg, vagy komoly veszélynek nem tesznek ki [1].

Személy- és vagyonvédelmi tevékenységnek minősül:

- a természetes személyek életének és testi épségének védelme,
- az ingatlan, illetve ingóság őrzése,
- a szállítmány kísérése, pénz és érték szállítása,
- a rendezvény biztosítása és
- ezen tevékenységek szervezése és irányítása.

Személy- és vagyonvédelmi tevékenységet személyesen az végezhet, aki a következő szakképesítések valamelyikével rendelkezik:

- biztonsági őr,
- testőr,
- vagyonőr vagy
- biztonságszervező.

A személy- és vagyonvédelmi tevékenység formái: Az előerős védelem többféle formában is megvalósulhat:

- a tulajdonos által;
- fegyveres erők, vagy rendvédelmi szervezetek állományával;
- fegyveres biztonsági őrség alkalmazásával;
- vállalkozás keretében megbízással;
- tulajdonos által munkaszerződéssel alkalmazott állománnyal.

A tulajdonos – legyen az magánszemély, önkormányzat, állam vagy egyéb más – joga, de nem mindig kötelessége, saját vagyonának személyes védelme. A tulajdonnal való szabad rendelkezés állampolgári joga alapján a tulajdonos vagyon-tárgyaival jogszabályi határokon belül bármit megtehet. Megvédheti azt, de le is mondhat a védelemről, sőt át is engedheti ennek a védelemnek a megvalósítását, e feladatkört, többek között az erre szakosodott vagyonvédelmi cégekre, személyekre. Az átruházás csak annyi jogra terjedhet ki maximálisan, amivel maga a tulajdonos is rendelkezik.

A személy- és vagyonőr nem hivatalos, és nem közfeladatot ellátó személy, ugyanis a tulajdonos is a saját vagyonát – függetlenül állásától, munkahelyétől és mástól – csak, mint magánszemély védheti. Ha a tulajdonos a saját jogát az adott vagyonvédelmi szervezetre átruházva, azt felhatalmazza, hogy helyette és a nevében a tulajdona védelmében meghatározott határok közötti intézkedéseket tegyen, a tulajdonnal kapcsolatba kerülő hozzá tartozó személyeket pedig arra kötelezi, hogy a vagyonvédelmi szervezet tagjai általi jogszabályi intézkedéseknek eleget tegyenek, akkor létrejöhet ennek realizálása. Adott esetben – ha a megbízó így kéri - ezeket az intézkedéseket ki is kényszeríthetik a vagyonvédelmi cég személy- és vagyonőrei az érintettek körében. A vállalkozás keretében végzett vagyonvédelmi tevékenység, lényegében a tulajdonosi vagyonvédelem része.

A civil vagyonvédelmi szervek nem állami, hanem magán keretek között, vállalkozási forma alapján, leginkább nem a közterületen végzik a szolgáltatás kategóriába tartozó sajátos tevékenységüket. Ezen szervezetek keretében tevékenykedő munkatársak, személy és vagyonőrök nem számítanak sem hivatalos, sem közfeladatot ellátó személyeknek. A vállalkozás keretében helyet foglaló személy- és vagyonvédelmi tevékenység polgári jogviszony keretében végzett szolgáltatás, melyet a megbízó által átruházott jogok keretein belül végzik az illetékesek [3].

A személy- és vagyonőri foglalkozáshoz nélkülözhetetlen kompetenciák egyrészt az ügyfélközpontúság. Fontos, hogy kiszolgálja az ügyfelek igényeit és az eljárási szabályok betartása mellett

törekedjen az együttműködésre. A jogszabályokat és a munkahelyi szabályokat maradéktalanul betartsa. Képes legyen a helyzethez illő szabály felismerésére, és helyes alkalmazására. Ezen túlmenően nagyon fontos a monotónia tűrés és a stressz tűrő képesség, illetve az erkölcsi fedhetetlenség is. Kellő felelősségtudattal kell, hogy rendelkezzen és a munkáját is ez alapján, lelkiismeretesen végezze. Jól kezelje a konfliktushelyzeteket, sikeresen megbirkózzon a munkájából adódó feszültséggel. Rendelkezzen jó problémamegoldó képességgel. Legyen terhelhető, mivel a személy- és vagyonvédelmi munkakörökben speciális munkarend terjedt el, azaz elvárt vele szemben a folyamatosan kiegyensúlyozott, jó minőségű munka nyújtása, jelentős teljesítményingadozás nélkül.

Ezek a kompetenciák egyaránt fontosak abban az esetben is, ha a feladatokat munkaviszonyban történő foglalkoztatással oldja meg a szervezet és akkor is, ha külső vállalkozót kér fel a feladat elvégzésére. Saját dolgozóval, azaz munkaviszonyban foglalkoztatottakkal történő ellátása esetén azonban több nehézséggel is szembe kell nézni. A személy- és vagyonvédelem egy külön foglalkozás, egy külön szakma. Abban az esetben, ha a vállalkozásnak teljesen más a profilja, és nincsen jártassága ezen a területen, nem lesz rálátása az ezzel kapcsolatos feladatok megfelelő, szakszerű elvégzésre. Így nem tud élni a munkaadói irányítási és utasítási jogaival sem, ami jelentősen nagy kockázatot hordoz magában.

Nem tudható, hogy valóban megfelelően biztosított-e az előírásoknak megfelelő védelem. Természetesen ezzel szemben számtalan előnye is van ennek a foglalkoztatási formának. Remélhetőleg mind a munkavállaló, mind a munkáltató hosszú távra tervezzék, így a feladat elvégzésére kijelölt személy megbízhatóságot, állandóságot és stabilitást biztosít a munkaadó számára. Egy megfelelő munkavállaló irányítható, utasítható, de akár kölcsönös elégedettség esetén még egyfajta elköteleződés és hűség is kialakulhat a munkaadó irányába, így még jobban védve annak érdekeit.

A saját dolgozóval szembeni külső vállalkozóval való szerződéskötés esetén bízni lehet az erre szakosodott vállalkozás szakértelmében, feladatainak precíz, pontos ellátásában. Ennek ellenére a külső vállalkozó megbízása esetén mindenképpen érdemes a döntés előtt referenciákat bekérni, mert az európai és magyar trendeket is figyelembe véve, a személy- és vagyonvédelmi szolgáltatások iránti igény fokozatosan növekszik, ezzel párhuzamosan számtalan vállalkozás jött létre ezen feladatok ellátására, viszont a visszaélések száma is egyre növekszik ebben a tevékenységi körben mind az engedélyekkel való visszaélések, mint a feketefoglalkoztatás területén. Ebben az esetben a szerződés a két vállalkozás között jön létre és nem személyre szabott. Nem biztos, hogy hosszú távon ugyanaz a személy látja el a feladatot, kevés esetben van a megbízónak erre ráhatása. Főleg akkor, ha a személy- és vagyonvédelmi vállalkozás kényszervállalkozókkal (alvállalkozókkal) vagy alkalmi munkavállalókkal próbálja csökkenteni a foglalkoztatásból származó adó- és járuléktérheket. Emiatt sérül - a saját dolgozó esetén -

nagyon fontosnak tűnő megbízhatóságból, állandóságból, stabilitásból fakadó előny.

### 3 A SZEMÉLY- ÉS VAGYONVÉDELEM KÖLTSÉGEI

A vállalkozás keretében végzett személy- és vagyónvédelmi, valamint a magánnyomozói szolgáltatás feltételeit a 2005. évi CXXXIII. törvény határozza meg, melynek célja, hogy erősítse a vállalkozás keretében végzett személy- és vagyónvédelmi, valamint a magánnyomozói szolgáltatás törvényességét, és további garanciát nyújtson a társadalom számára az e szolgáltatásokat igénybevevők, illetve az e szolgáltatások gyakorlása során érintettek személyhez fűződő jogai, vagyoni érdekei sérthetlenségére irányuló igényeinek érvényesítéséhez.

Amennyiben a szervezet egy független, külső vállalkozót bíz meg a személy- és vagyónvédelmi feladatok ellátásával, ebben az esetben a külső vállalkozást terheli a foglalkoztatottak bejelentése, a bérszámfejtés, a havi bér- és járulékok bevallása, megfizetése, illetve minden más a munkaviszonnyal kapcsolatos nyilvántartás vezetése. Díjazásáról a szerződésben rögzített elszámolási időszakonként számlát állít ki. Ez a számla a megbízó vállalkozás könyveiben a bevétellel szemben költségként elszámolható, és amennyiben az általános forgalmi adónak is alanya, az áthárított adót levonásba helyezheti. Ilyen esetben a fizetendő általános forgalmi adója csökken, illetve az adózás előtti eredménye szintén, azaz a költségként elszámolt összeg 9 %-ával kevesebb társasági adót kell fizetnie.

Amennyiben a szervezet munkaszerződéssel foglalkoztatott állománnyal oldja meg a személy- és vagyónvédelmi feladatokat, magát a szervezetet terheli a foglalkoztatottak bejelentése, a bérszámfejtés, a havi bér- és járulékok bevallása, megfizetése és a nyilvántartások szabályszerű vezetése. Az alábbi táblázat egy foglalkoztatott után fizetendő adó és járulékterheket mutatja garantált bérminimum alkalmazása esetén.

1. táblázat A garantált bérminimum bruttó-nettó összege 2018-ban (saját szerkesztés)

Garantált bérminimum bruttó összege		180500	
Járulékok, levonások		Mértéke (% , Ft)	
A munkáltató fizeti a munkavállaló után	Szociális hozzájárulási adó	19,5 %	35197
	Szakképzési hozzájárulás	1,5 %	2708
Összes munkáltatói kötelezettség		21 %	37905
Munkavállalótól kerül levonásra	Személyi jövedelemadó	15 %	27075
	Munkaerő-piaci járulék	1,5 %	2708
	Egészségbiztosítási járulék	7 %	12635
	Nyugdíjjárulék	10 %	18050
Összes levonás a munkavállaló bruttó béréből		33,5 %	60468
Összes havi utalandó összeg			98373
Munkaadó összes havi költsége			218405
Garantált bérminimum nettó összege			120032

Ezeket a terheket kívül még figyelembe kell venni a személy- és vagyónvédelem sajátosságából fakadó speciális munkarendre vonatkozó szabályokat is. A munkaidőre és pihenőidőre, ezen belül a munkarendre vonatkozó szabályokat a Munka Törvénykönyvéről szóló 1992. évi XXII. törvény (továbbiakban Mt.) határozza meg a munkaviszonyban állókra nézve. A közalkalmazotti jogviszonyban állók vonatkozásában a Közalkalmazottak jogállásáról szóló 1992. évi XXXIII. törvény (továbbiakban Kjt.) az ott rögzített néhány kisebb eltéréssel szintén az Mt. szabályait rendeli alkalmazni a közalkalmazotti jogviszony tekintetében. A munkaidő szempontjából tehát döntően mindkét jogviszony esetében azonos szabályok érvényesülnek. A teljes (rendes) munkaidő mértéke főszabályként napi 8, heti 40 óra. A teljes munkaidőben foglalkoztatottnál a heti 40 óránál rövidebb (például heti 36 órás munkaidő), valamint ennél hosszabb (de legfeljebb napi 12, illetve heti 60 órás) teljes munkaidő csakis a jogszabály által meghatározott esetekben lehetséges.

A munkaidő és annak beosztása összefüggésében elmondható, hogy a munkáltató által alkalmazott munkaidő-beosztás alapján többféle munkarendet különböztethetünk meg:

- általános (műszakok kialakítása nélküli),
- többműszakos (két-, három, háromnál több műszakos) és
- megszakítás nélküli (váltásos) munkarend.

Mind a közszférában, mind a magánszférában gyakori, hogy a munkáltató működése, a technológiai, gazdasági érdekek, az ellátandó munka jellege nem teszi lehetővé az általános munkarend alkalmazását. Ezekben az esetekben nem mindig jelent egyszerű feladatot a munkáltatók számára a munkajogi szabályok alkalmazása, az azok közötti eligazodás. Sajátos szabályok érvényesülnek az általánostól eltérő munkarend, így különösen a megszakítás nélküli (24, illetve 12 órás), a többműszakos, illetve éjszakai foglalkoztatás esetében. A munka jellegének szempontjából ezek a speciális szabályok érvényesek a személy- és vagyónvédelem területén is.

Többműszakos munkarendnél a munkáltató napi üzemelési ideje meghaladja a napi teljes munkaidőt, és a munkavállalók időszakonként rendszeresen, egy napon belül egymást váltva végzik azonos tevékenységüket. Az a munkavállaló minősül többműszakos beosztású dolgozónak, akinek a műszakbeosztása időszakonként rendszeresen változik. A többműszakos munkarendben a munkavállalók egy napon belül egymást váltják, tehát az egyikük munkaidejének lejártakor, vagy attól alig eltérő időpontban kezdi meg az azonos munkát a másik munkavállaló.

Megszakítás nélküli munkarend alkalmazható abban az esetben, ha a munkaköri feladatok jellege ezt indokolja. Megszakítás nélküli munkarend esetén a munkavállalók a munkahelyen váltják egymást, azaz az egyik munkavállaló munkájának végeztével a másik rögtön, vagy megközelítőleg rögtön megkezdheti a munkát. A megszakítás nélküli munkarendben belül tipikusan előfordul 12 órás munkavégzés (például két munkanap napi 12 órával, majd

három pihenőnap), illetve 24 órás munkavégzés (például 24/48 vagy 24/72 órás váltásos szolgálat). Ilyen munkarend a törvény alapján tehát vagy technológiai okból kifolyólag határozható meg, vagy azért, mert a munkaköri feladatok jellege ezt indokolja, azaz a tipikusan egésznapos szolgálatot igénylő munkakörökénél.

A 24 órás munkarend annyira elterjedt, hogy általában ez lett a jellemző a vagyoni cégeknél. Személy- és vagyoni védelmi tevékenységet ténylegesen ellátó természetes személy azonban ilyen szolgáltatást - egybefüggően - legfeljebb 24 óra időtartamban nyújthat. Ha a személy- és vagyoni védelmi tevékenység ellátásával megbízott fővállalkozó az általa e tevékenység tényleges ellátása érdekében foglalkoztatott alvállalkozót harminc nap időtartamot meghaladó, folyamatosan elvégzendő munka végrehajtásával bízza meg, köteles az alvállalkozó számára huszonnégy órai egybefüggő szolgáltatási idő után legalább huszonnégy óra, naptári hetenként pedig negyvennyolc óra egybefüggő pihenőidőt biztosítani [2].

A munkavállalót a rendes munkaidőre járó munkabéren felül bérpótlék illeti meg. A bérpótlék számítási alapja - eltérő megállapodás hiányában - a munkavállaló egy órára járó alapbére. A munkavállalót vasárnapi munkavégzés esetén ötven százalék, munkaszüneti napon történő munkavégzés esetén száz százalék bérpótlék illeti meg. A munkavállalónak, ha a beosztás szerinti napi munkaidő kezdetének időpontja rendszeresen változik, a tizenkilenc és hat óra közötti időtartam alatt történő munkavégzés esetén harminc százalék bérpótlék (műszakpótlék) jár. A változást rendszeresnek kell tekinteni, ha havonta a beosztás szerinti napi munkaidő kezdetének időpontja a munkanapok legalább egyharmada esetében eltér, valamint a legkorábbi és a legkésőbbi kezdési időpont között legalább négy óra eltérés van. A munkavállalónak - a műszakpótlékre jogosult munkavállalót kivéve - éjszakai munkavégzés esetén, ha ennek tartama az egy órát meghaladja, tizenöt százalék bérpótlék jár. Nem jár azonban műszakpótlék azoknak a munkavállalónak, akik egy napon belül nem váltás nélkül, hanem műszakonként 24 órában látják el szolgálatukat.

A munkaszüneti napon végzett munkáért járó díjazásra az Mt. szabályai adnak felvilágosítást mind a munkaviszonyban állók, mind a közalkalmazottak esetében. A munkaszüneti napon történő munkavégzés szempontjából lényeges, hogy a munkavégzés ezen a napon rendes munkaidőben történt, avagy rendkívüli munkavégzés keretében. Munkaszüneti napon rendes munkaidőben történő munkavégzés csak megszakítás nélküli munkarendben, a rendeltetése folytán e napon is működő munkáltatónál, valamint a rendeltetése folytán e napon is munkavégzési kötelezettséggel járó munkakörben rendelhető el. Munkaszüneti napon rendeltetése folytán működő munkáltatóról, illetve munkaköréről akkor van szó, ha a tevékenység során nyújtott szolgáltatás e napon történő rendszeres igénybevételére a munkaszüneti naphoz közvetlenül kapcsolódó helyben kialakult, vagy általánosan elfogadott társadalmi szokásokból eredő igény alapján, vagy az élet, egészség, testi épség, továbbá a vagyontárgyak védelme érdekében kerül sor. Ha a munkavállaló a munkaidő-

beosztás szerint rendes munkavégzés keretében köteles munkát végezni, egyrészt jogosult a havi illetményére (erre a napra eső részére), ezen felül pedig a munkaszüneti napon végzett munkáért járó illetményre. Pihenőnapon végzett rendkívüli munkavégzésnél a pótlék mértéke 100%, illetve 50%, amennyiben a munkavállaló másik pihenőnapot kap helyette. Ez utóbbi „csere” pihenőnap fizetetlen.

Munkaszüneti napon rendkívüli munkavégzés csak a rendes munkaidőben e napon is foglalkoztatható munkavállaló (így a megszakítás nélküli munkarendben dolgozó munkavállaló) számára vagy baleset, elemi csapás vagy súlyos kár, továbbá az életet, testi épséget fenyegető közvetlen és súlyos veszély megelőzése, illetőleg elhárítása érdekében rendelhető el. Ha a vasárnapi munkavégzésre rendkívüli munkaidőben kerül sor, vasárnapi pótlék nem jár. Az e napon történő munkavégzés tekintetében a munkaszüneti napra vonatkozó szabályokat kell megfelelően alkalmazni. Jogszabály alapján lehetőség van a munkaszüneti napok átcsoportosítására. Ilyenkor a munkaszüneti napok körüli munkarendet meghatározó jogszabály rendelkezéseit kell irányadónak tekinteni.

A munkáltatónak ezen adatokról nyilvántartási kötelezettsége van. A törvény alapján köteles nyilvántartani – többek között – a munkavállalók rendes munkaidejével, rendkívüli munkaidejével, szabadságának kiadásával kapcsolatos adatokat. A nyilvántartásnak így tartalmaznia kell a teljes és részmunkaidőben, többműszakos munkarendben, megszakítás nélküli munkarendben foglalkoztatott munkavállalókat, a napi munkaidő kezdetét és végét, a szabadságok kiadását. Egy esetleges munkaügyi vagy felügyeleti ellenőrzés során a munkáltatónak naprakészen el kell tudnia számolni a munkavállalókkal, illetve azok munkaidejével.

A személy- és vagyoni védelmi tevékenységnek jelentős a munkaerő szükséglete és a feladatot ellátó személyek saját vállalkozáson belül történő foglalkoztatásával számtalan törvényi előírással és magas adó- és járulékkerhekkel kell számolni. Talán éppen emiatt is nagyon sok visszaélés tapasztalható ebben a foglalkoztatási ágazatban, így az adóhatóságnak is évek óta kiemelten ellenőrizendő területe. A Nemzeti Adó- és Vámhivatal évek óta rendszeresen ellenőrzi ezt a szektort. Ezen túlmenően a biztonsági cégek adótartozása továbbra is nagyon számottevő.

Az ellenőrzések során elsősorban a be nem jelentett alkalmazottak foglalkoztatása, a késedelmes bejelentések, a nem valós munkaidő lejelentése, illetve nem valós díjazás alapján bevallott kötelezettségek a vizsgálati szempont. Ugyanis az adó- és járulékkerhek csökkentése miatt ebben a szektorban is jelentősen elterjedt a feketefoglalkoztatás. A munkaadók vagy alkalmi munkára jelentik be a dolgozót, aminek jóval alacsonyabb a járulékvonzata, vagy elterjedt a minimálbéren történő foglalkoztatás a tényleges bér helyett. A két bér közötti különbséget „feketén” kerül kifizetésre. De elképzelhető olyan lehetőség is, hogy csak részmunkaidőben (4, 6 órás) történik meg a bejelentés a tényleges helyett. Ekkor részmunkaidős foglalkoztatásról van szó, amely esetén a

pénzbeli és a természetbeni munkavállalói juttatások tekintetében legalább az időarányosság elve alkalmazandó, feltéve, hogy a juttatásra való jogosultság a munkaidő mértékével függ össze.

Az Mt. nem zárja ki, hogy az időarányosnál magasabb mértékben részesüljön a dolgozó a juttatásokban, de legalább az időarányos mértéket biztosítani kell részére. Gyakori eset az is, hogy a foglalkoztatást kényszervállalkozással oldja meg a munkaadó vagy, hogy a fővállalkozó alvállalkozóként munkaerő-kölcsönzési tevékenységet végző társaságot alkalmaz. Emiatt 2015. január 1-től az általános forgalmi adó törvényben a fordított adózás szabályainak hatóköre kibővült a munkaerő-kölcsönzési szolgáltatásra is, több adóbevételt, a piac tisztulását várva az intézkedéstől. A piaci szereplők a munkaerőpiac megtisztulásán túl, a munkavállalók érdekvédelmének erősödését is várják az intézkedéstől, a fekete foglalkoztatás visszaszorulásával. Jellemző továbbá az is, hogy a munkaerő-kölcsönző (kölcsönbeadó) cég járulék-bevállási és befizetési kötelezettségének nem tesz eleget, székhelyén nem elérhető, külföldi ügyvezetővel és tagokkal működik, illetve a társaságnak nincs vagyona.

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A védelem megvalósulhat mechanikai-fizikai eszközökkel, elektronikai jelzőrendszerekkel és élőerős védelem formájában is. Tökéletes védelem, 100 % biztonság – még ha elméleti modellek formájában el is képzelhető – a gyakorlatban nagy valószínűséggel kivitelezhetetlen, sőt rendkívül és aránytalanul költséges is lehet. Az optimális biztonsági fokra való törekvés érdekében célszerű azonban a védelem különböző formáit kombinálni. Komplex vagyonvédelemről beszélhetünk abban az esetben, ha a mechanikus, elektronikus és élőerős vagyonvédelmi eszközöket különböző arányban együttesen alkalmazzuk. A védelem megbízhatóságát, biztonsági szintjét ezáltal is tudjuk növelni. Hatékony vagyonvédelem leginkább komplex módon érhető el.

A komplex vagyonvédelem az őrzésre és védelemre rendelkezésre álló erők és eszközök összehangolása. Napjainkra azonban az esetek döntő többségében nem a meglévő erőket és eszközöket hangoljuk össze, hanem a kockázatelemzés és a kockázateértékelés elvégzését követően határozzuk meg, hogy a kívánt védelmi szint eléréséhez milyen mechanikai védelmi eszközöket, elektronikai jelző berendezéseket kell alkalmazni és ezek felügyeletére milyen élőerőt kell alkalmazni. A három védelmi forma egymásra épülése, egymás kiegészítése adja a komplexitást [9].

A hatékonyságot a védelmi módszerekre szánt ráfordítások növelésével is lehet biztosítani, de minden esetben ennek mértékét ahhoz képest szükséges optimalizálni, hogy mekkora a védendő érték. Arra kell törekedni, hogy az optimális védelem érdekében a különböző védelmi módok megfelelő kombinációja kerüljön alkalmazásra, amely minden esetben személyre szabott. Teljes mértékben a kockázatokat kizárni nem lehet. Váratlan, rendkívüli események valószínűségét megfelelő felkészüléssel lehet ugyan csökkenteni, de teljesen elkerülni nem. A komplex védelem mellett is

érdemes az ilyen esetek lehetséges bekövetkezése miatt még vagyonbiztosítást is kötni, így is csökkentve egy nem várt, rendkívüli káreseményből adódó veszteségeket.

Az élőerős védelem gondolkodik és aktívan reagál a külső környezeti változásokra és esetleges veszélyforrásokra, rugalmas, mobil, irányítható, viszonylag gyorsan alkalmazható védelmi forma, hiszen hiányzik a mechanikai és elektronikai védelemmel kapcsolatos telepítési és üzembe helyezési időszükséglete. A mechanikai és elektronikai védelemmel szemben kezdeti, egyszeri beruházási költsége sincs, viszont hosszú távon sokkal költségesebb és drágább a többi védelmi eszközhöz képest, mert a folyamatos havi fenntartási költsége jelenetős. A mechanikus és az elektronikus vagyonvédelmi rendszerek élőerős védelemmel való együttes alkalmazása esetén az élőerős őrzés mértéke és költsége csökkenthető egy szintig, de teljesen megszüntetni nem érdemes a már felsorolt speciális pozitív személyi tulajdonságaiból kifolyólag.

Bármelyik élőerős védelmi forma mellett dönt is a szervezet (akár a munkaviszonyban való foglalkoztatás, akár a vállalkozási szerződés keretében való megbízás) a terület specializációi miatt mindenképpen kellő körültekintést igényel. Munkaviszonyban való foglalkoztatás esetén, ha már a tevékenységre jellemző alapvető kritériumoknak való megfeleléstől meggyőződött a munkaadó (érvényes igazolvány, erkölcsi alkalmasság, szakmai ismeretek megléte, egészségügyi alkalmasság), tovább lehet csökkenteni a kockázatot egyéb felmérésekkel is. Lehet kérni a pályázótól kézzel írt szakmai önéletrajzot, az előző munkahelyről ajánlólevelet, de akár egy jól összeállított személyiségteszt kitöltése is nagy segítségére lehet a munkaadónak, hogy megfelelő képet kapjon a pályázó feladatra való alkalmasságával kapcsolatban. Vállalkozó jogviszonyban való szerződés kötése esetén is jelentős mértékben csökkentheti a kockázatot a szerződő partnerrel (személy- és vagyonvédelmi feladatot ellátó vállalkozással, vagy egyéni vállalkozóval) kapcsolatos referenciák bekérése. Ezen kívül több lehetőség is kínálkozik még a vállalkozás valós adatainak ellenőrzésére, akár a nyilvánosan hozzáférhető cégjegyzék letöltésével. A köztartozásmentes adatbázisban való szereplés, illetve a 2016. január 1-től bevezetett adóhatósági adózási minősítő rendszer (minősített adózó) is növelheti a szerződő vállalkozás megbízhatóságát.

A technikai fejlődés a védelmi rendszereket is érinti, a védelmi eszközök folyamatos fejlesztésén mennek keresztül, egyre inkább új megoldások születnek a biztonságtechnika területén is. A védelmi módszerek optimális kombinációja a szervezet nélkül nem meghatározható, minden esetben a védendő érték, a szervezet külső és belső sajátosságai, a környezeti tényezők és a költségek figyelembe vételével kell meghatározni. A biztonság alapja azonban a megelőzés, így minden vállalat/vállalkozás érdeke, hogy a védelmet a működésébe valamely formában vagy több módszer kombinációjaként beépítse. A védelmi rendszerek kiépítésnek költsége ugyanakkora az esetleges nem várt, rendkívüli káresemény bekövetkezése előtt is, mint utólag,



mégis célszerű előre megtenni, mert a bekövetkezés valószínűsége viszont ezáltal csökkenthető.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Berek, L. – Berek, T. – Berek, L. (2016) Személy- és vagyonbiztonság, Budapest, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és biztonságtechnikai Mérnöki Kar, OE-BGK 3071
- [2] 2005. évi CXXXIII. törvény a személy- és vagyonvédelmi, valamint a magánnyomozói tevékenység szabályairól
- [3] Beregnyei, J. (2014) Személy és vagyonőr személyéhez kapcsolódó tudnivalók, Budapest, Jegyzet és segédanyag
- [4] 1992. évi XXII. törvény a Munka Törvénykönyvéről
- [5] 1992. évi XXXIII. törvény a közalkalmazottak jogállásáról
- [6] 2011. évi CLV. törvény a szakképzési hozzájárulásról és a képzés fejlesztésének támogatásáról
- [7] 2011. évi CLVI. törvény egyes adótörvények és azzal összefüggő egyéb törvények módosításáról
- [8] 2017. évi CLVI. törvény a szociális hozzájárulási adó csökkentéséről és a kapcsolódó törvények módosításáról
- [9] Berek, L. (2014) Biztonságtechnika, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Magyar Program, ÁROP – 2.2.21

# Ergonómia és hasonlóságelemzés a biometrikus rendszerek felhasználóinak tükrében

## Ergonomics and Similarity Analysis in Highlight of Biometric System Users

Otti Csaba\*, Pitlik László\*\*

\* Óbudai Egyetem BDI, Budapest Magyarország

\*\* Kodolányi János Egyetem, Budapest, Magyarország

[otti.csaba@bkgk.uni-obuda.hu](mailto:otti.csaba@bkgk.uni-obuda.hu), [pitlik@my-x.hu](mailto:pitlik@my-x.hu)

**Összefoglalás:** A internethasználók száma napról napra gyarapodik, igényeik folyamatosan változnak, és épp ezért az online felületek formai-tartalmi követelményeinek is igazodniuk kell az elvárásokhoz. Az elvárások emelkedése nem csupán a hagyományos, például kereskedelmi vagy szórakoztató felületek fejlesztésére nyomta rá a bélyegét, hanem a tudományos kutatások egyik legfontosabb eszközeként ismert felületekre is, a kérdőívkészítő oldalakra. A tanulmány két fontos területre fókuszál, a kérdőívek formai és tartalmi követelményeire. Ezek esetében alkalmazhatóvá válik az ergonómia és hasonlóságelemzés. A tanulmány egyrészt ismerteti a felhasználói ergonómia tételeit a felhasználók igényeinek megismerése érdekében, fókuszálva a kérdőívekre. Másrészt felkeresi az ok-okozati összefüggéseket a kérdőív kitöltők válaszadási folyamatában a hasonlóságelemzés eszközszerével. Az elemzés középpontjában egy primer kutatás áll a biometrikus azonosítási eljárások felhasználói attitűdjének méréséről. A tanulmány célja a kérdőív kitöltőinek megismerése az attitűd-kockázat elemzésén keresztül. A kutatás multidiszciplináris, hiszen alkalmazza a társadalomtudományok, matematika és informatika tudományágait.

**Kulcsszavak:** felhasználói ergonómia, biometrikus rendszerek, hasonlóságelemzés, 2DM keret

**Abstract:** The number of internet users is increasing day by day, their needs are constantly changing, and therefore the formal and content requirements of online interfaces have to be adapted to these expectations. The rise in expectations has a strongly effect not only on the development of traditional surfaces, such as commercial or entertainment, but also on the questionnaire-maker pages, as one of the most important tools of scientific researches. The study focuses on two important areas, the formal and content requirements of the questionnaires. In this cases, ergonomics and similarity analysis can be applied. First of all, the study introduces several headings of user ergonomics by focusing on questionnaires in order to understand the needs of users. Then, with help of similarity analyses the study finds the

cause-effect relation in the process of response. At the heart of the research is a primary research, what measures the attitude of users through biometric identification processes. The aim of the study is to get to know the users of questionnaire with analysing their attitude-risk level. This research using a multidisciplinary approach, applying the disciplines of social sciences, mathematics, and informatics.

**Keywords:** user ergonomics, biometric systems, similarity analysis, 2DM frame

### 1 BEVEZETÉS

Az internet világa az online felhasználók figyelmén alapuló iparág. A legtöbb vállalat tetemes mennyiségű összegeket ruház be saját honlapjaik fejlesztésére, tervezésére. Az internetes felületek látogatása és a rendszeres internethasználat a mindennapi élet rutinszerű tevékenységévé nőtte ki magát. A KSH legutóbbi adatai szerint (2018), Magyarország lakosságának 75%-a rendszeres internethasználó, tehát mindennap, majdnem mindennap, de hetente legalább egyszer használja az internetet [1]. Az internetet használók száma pedig rohamosan növekedik, hiszen többek között az Európai Digitális Menetrend is támogatja a minden fogyasztó számára elérhető internethozzáférést [2]. Ennek következtében megjelent az igény a magasabb színvonalat képviselő internetes felületek iránt.

A weboldalak kényelmes, használható kialakításával a felhasználói felületek ergonómiája foglalkozik. A tanulmány ezért elsősorban részletezi a tudományterületet és jellegzetességeit, valamint a felhasználókra általánosan érvényes magatartást. Ezt követően rátér az információgyűjtés egyik legfontosabb digitálisan is megjeleníthető eszközére, a kérdőívekre és azok hatékony tervezésére/elemzésére.

A felhasználók igényeinek megismerését követően egy primer kutatás kérdőívén keresztül mutatja be, hogyan

vizsgálható a biometrikus eljárásokkal szemben tanúsított felhasználói attitűd. A kutatás során azonban nem az attitűdre, hanem a válaszadók kérdésekre adott válaszainak folyamatára, technikájára koncentrált, mégpedig a hasonlóságelemzés eszköztrendszerének használatával. A tanulmány célja a felhasználók szokásainak megismerése, és a kérdőívek tartalmi, formai, vizuális megjelenésének vizsgálata a felhasználók kérdőív-kitöltési módszereinek, magatartásának megértése érdekében. További célja a nem hagyományos módszerrel létrehozott és futtatott kérdőív technikájának automatizálhatósága.

## 2 A FELHASZNÁLÓI FELÜLETEK ERGONÓMIÁJA ÉS A FELHASZNÁLÓK SZÜKSÉGLETEI

A digitális gazdaságban elkerülhetetlen a felhasználóbarát felület létrehozása. Egy weboldal megnyitásakor a felhasználó elsősorban azt figyeli meg, mennyire praktikus a felület, és ha az nehezen kezelhető kevés az esélye annak, hogy a honlapra valaha visszatér [3]. A felhasználóbarát felület kialakításával függ össze az ergonómia tudománya. Ernest J. McCormick és Mark S. Sanders megfogalmazásában: „*A Human Factors (ergonómia) feltárja és alkalmazza mindazokat az ismereteket az emberi viselkedésről, képességekről, korlátokról és más emberi jellemzőkről, amelyeket figyelembe kell venni az eszközök, a gépek, a rendszerek, a munkafeladat, a munkakör és a környezet tervezése során, mint a hatékony működés, valamint a biztonságos és kényelmes emberi használat (alkalmazás) feltételeit* [4, p. 5].”

Az ergonómia tulajdonképpen a módszerek, eszközök egyszerű és kényelmes használatát jelenti, a modern korban pedig ezt a tudományt az információs technológiában is eredményesen lehet alkalmazni. Az ergonómia a 80-as évek környékén integrálódott az információs technológiába, a személyi számítógépek és az internet rohamos elterjedésével. Eredményképp létrejött a szoftver-ergonómia, a mesterséges és humán intelligencia kapcsolatának egy eszközeként. A legkorábbi formája gép-centrikus volt, a kései típusa azonban már inkább felhasználó-centrikus, mely a felhasználók igényeit követte.

Az ergonómia négy alapelve szerint a felhasználói felület adott feladatot elsősorban a felhasználóhoz kell igazítani, a felhasználói adottságok figyelembevételével kell tervezni, szem előtt kell tartani az átlagostól eltérő igényeket és végül igyekezni kell megismerni, bevonni a felhasználót a tervezésbe, fejlesztésbe [4]. A weboldalakat és felhasználói felületeket rendszerint az odalátogatók elégedettségének növelése érdekében is hozzák létre. Habár a legtöbb internetes felület eltér egymástól, vannak bizonyos „*törvényszerűségek*”, aminek érdemes megfelelni az elégedettség eléréséhez.

A tizennégy alapkövetelmény magában foglalja az értékes információtartalomra, gyors információszerzésre, olvashatóságra, szemléletes médiaelemekre, logikus struktúrára, igényes megjelenésre vagy könnyen kezelhetőségre vonatkozó elvárásokat. Az alapkövetelmények szinte összes pontja a használhatóság növelését segíti [5]. Steve Krug könyvében az eredményes használhatóságról így értekezik: „*Azt értjük egy weboldal használhatósága alatt, hogy használható-e bárki, átlagos (vagy akár átlag alatti) képességekkel és tapasztalatokkal rendelkező számára rendeltetészerűen. Egy weboldal használhatósága annál jobb, minél kevesebb erőfeszítést kell tennie a felhasználónak a kezelése során* [3, p. 15].” Jakob Nielsen kutatása alapján: „*A használhatóság egy olyan minőségi mutató, amely azt jellemzi, hogy a felhasználói felületeket mennyire egyszerűen lehet használni* [6].”

Az ISO szabványok alapján (ISO 9001, ISO 9241-11, ISO 9126-1) a használhatóság egyrészt a felhasználói igényekhez való igazodást, másrészt a minőségi tervezést foglalja magában [7]. A használhatóság öt lényeges faktora:

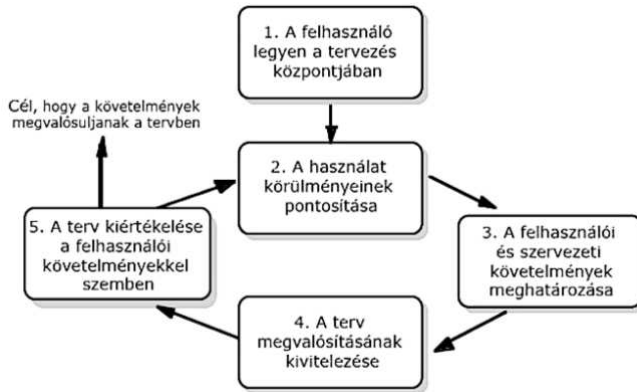
- a megtanulhatóság (mennyire egyszerű a kezelhetőség),
- hatékonyság (milyen gyorsan használható a felület),
- megjegyezhetőség (mennyire memorizálható a felület),
- hibák (hány és milyen hibákat lehet ejteni) és
- elégedettség (mennyire kényelmes a felület).

Egy online felület használhatóságának biztosításához azonban ismerni kell a felhasználó általános szokásait. A legáltalánosabb magatartás, ami a felhasználót jellemezheti a közöny (arra vonatkozik, hogy a felhasználók nem olvassák végig a tartalmat), célirányos keresés és gyorsaság. Rendszerint a felhasználók csupán átfutják a weboldalakat, nem a legjobb, hanem az optimális döntésre törekednek, és ha a felület nehezen érthető vagy irreleváns, elhagyják azt.

A felhasználói élmény növelése érdekében a szokásaikhoz igazodóan, hitelesen kell átadni az információkat, melynek célja a biztonságos és felhasználóbarát felület kialakítása. Fontos szempont ezen felül az átláthatóság (rövid, egyértelmű szöveg vagy pontokba szedett listázás), vizualitás (a kép megjelenítést könnyebben megjegyzi, értelmezi a felhasználó) valamint az olvashatóság (jól látható betűk, szöveg és háttér elkülönítése, statikus szöveg) [8].

A webergonómia egyre nagyobb jelentőséget tulajdonít a felhasználói élménynek (user experience). A fogalom pontos meghatározása szerint „*a felhasználói élmény alatt azon benyomások összességét értjük, amiket egy adott szoftver vagy weboldal használata közben éreznek az emberek* [9, p. 58].” Alapvető célja, hogy a felhasználó a lehető legtöbb időt töltsön a látogatott felületen. A pozitív

felhasználói élmény, a korábban már említett felhasználó-központú tervezés eredménye, melynek legfőbb feladata a honlapra látogató számára könnyebbé tenni a feladat elvégzését. A felhasználó-centrikus tervezés folyamatát az 1. ábra szemlélteti, melyből jól kiolvasható az igények követésének fontossága. A felhasználó központú tervezés az emberközpontú tervezésből kiindulva (ISO 9241) vezeti le a tervezés folyamatát [9].



1. Ábra: A felhasználó-centrikus tervezés folyamata

Az ilyen típusú tervezés esetében a cél remekül párhuzamba hozható a marketingkommunikáció egy hagyományos eszközével, az AIDA modellel. A modell célja a reklámozáson keresztül a termék lehető leghatékonyabb eladása. Mivel a tervezett weboldal is egy termék, melyet a felhasználónak értékesítenek, a tervezéskor figyelembe lehet venni a modell lépéseit. Elsődleges lépésként fel kell kelteni a felhasználók figyelmét (ATTENTION), majd érdeklődését (INTEREST). Ha ezt sikeresen megvalósították, elérhető, hogy a felület vágyat ébresszen a felhasználóban, maradásra készíti (DESIRE). Amennyiben a weboldal megfelel a felhasználói élmény követelményeinek, a felhasználó átböngészi a honlapot, akár vissza is tér (ACTION) [10]. Habár a modell elavultnak tűnhet, máig sikeresen alkalmazzák a marketingmenedzsment területén, technikája pedig könnyen átültethető az infokommunikációs technológiába.

A jelen tanulmányban bemutatott szempontok és követelmények általánosan érvényesek a legtöbb internetes felület tervezése esetén, így a kérdőívek szerkesztésekor is hasznosíthatóak. A kérdőív a legalkalmasabb módszer a magas válaszadási arányt képviselő információgyűjtéshez. Ez a módszer lehetőséget kínál részletes adatgyűjtésre számos területről az attitűdtől kezdve az általános viselkedésen keresztül a hagyományos fogyasztói szokásokig. A módszer gyengesége azonban, hogy az eredménye nagyban függ a kitöltők válaszadási hajlandóságától. A kutató felelőssége, hogy a jól érthető, releváns kérdések megfogalmazásán túl a felhasználók számára élvezhető felületet hozzon létre. A leggyakrabban használt kérdőívkészítő felületek (Google Forms, Survey Monkey) követik a felhasználó-centrikus tervezés feltételeit, azonban egy ilyen felület esetében, a

felhasználói élmény elérése körülményesebb, mint mondjuk egy kereskedelmi vagy szórakoztató honlap esetén [11]. Emiatt az online kutatási módszereknek is fel kell venniük a versenyt a folyamatosan fejlődő és formálódó felhasználói igényekkel. Manapság megjelenhet az igény egy jól megtervezett, kreatívan kivitelezett online kérdőíves platform iránt a nagyobb válaszadási arány és felhasználói érdeklődés növelése érdekében [12].

Egy kérdőív esetében nem csupán a kreatív megjelenés, hanem a tartalom is számít. A kitöltők érdeklődésének, kíváncsiságának felkeltésében nagyszerű eszköz a felhasználói felületek ergonómiája által nyújtott ismeretek felhasználása. A tanulmány egy további sarkalatos pontja a kitöltők által adott válaszok relevanciájának vizsgálata egy kérdőív kérdéseire. A megkérdezettek sokféle hozzáállást tanúsíthatnak a válaszadás során, és sokféleképpen értelmezhetik az akár leegyszerűsített kérdéseket is. Nehéz olyan kérdőívet létrehozni, melyet minden személy egységesen (konzisztensen) értelmez. Az ergonómia alapelvei szerint rendkívüli figyelmet kell fordítani a használhatóságra, mint az egyszerűség és érthetőség alapkövetelményére [4]. A válaszok ok-okozati összefüggéseit azonban egy komplexebb módszer vizsgálja, mégpedig a hasonlóságelemzés.

### 1.1 A hasonlóságelemzés – fogalmak és alapok

A hasonlóságelemzés „[...] a hasonlóságok feltárásnak folyamata, mely minden egyes befolyásoló tényezőt rangsorokká konvertál (lépcsők, sorszámok), majd minden egyes mutatószám minden egyes szintjéről (sorszámáról, lépcsőfokáról) optimum-számítás keretében meghatározza, mennyi egységgel kell, hogy adott lépcsőfok hozzájáruljon a következményváltozó objektumonkénti értékéhez az objektumra érvényes attribútumok rangsorszámainak helyettesítési értékét adott módon (pl. additív, multiplikatív, hibrid) való összevezetése/aggregálása mellett [13, p. 8].” Ide sorolhatóak az inkonzisztencia-számítások, melyek „[...] célja, hogy *n*-rétegű (ellentmondás-leleplező) modellsorozatokkal fel lehessen tárni, mely megkérdezett mely kérdés esetén válaszolt a legkevésbé elvárható módon a többi megkérdezett és az összes kérdés erőterében, ill. maga a modellezés milyen esetekben tűnik nem kellően stabilnak [14, p. 2].” Ide tartozik a konzisztencia alapú modellértékelés is, mely a céltalanság tételének feloldása: „[...] a céltalanság tétele szerint ugyanis nem ismert, mikor kell abba hagyni tanulási folyamatokat, mert ha tudnánk adott változó mennyiség mennyit képes objektumonként magyarázni a következményváltozó értékéből, vagyis mennyi az elvárható hiba, akkor nem kellene már modellezni, ahol a modelltől várjuk el az előbb feltett kérdésre a választ [13, p. 9].”

A hasonlóságelemzés képezi az alapját a COCO (*component-based object comparison for objectivity*) online algoritmuscsalád moduljainak is. Érdemes megemlíteni néhány alapvető modult, mely magyarázza a hasonlóságelemzés fontosságát. Ilyen modul a COCO\_MCM vagyis a Monte-Carlo eljárás, „[...] mely a COCO-alapú hasonlóságelemzés azon modulja, mely keretében nincs semmilyen korlátozó feltétel megadva az optimalizálás kapcsán, vagyis az attribútumok szintjei és az output szintek közötti tetszőleges alakzatú (polinomizálódó), legnagyobb magyarázó erejű összefüggés exploratív feltárása a cél [13, p. 6].” A COCO\_STD vagyis strandard, mely az ár-teljesítmény elemzések során is alkalmazható. A hasonlóságelemzés komponens alapú logika mintájára egy valós Y változó az X változók lépcsősfüggvényeként kerül közelítő jelleggel felépítésre [15]. A COCO\_Y0 olyan ideálkereső modell, „[...] ahol minden X esetén az idealitás irányába ható irány megadása után optimalizálás keretében kerestetik a leginkább átlagtól eltérő objektum úgy, hogy az optimalizálás célja mindvégig az objektumok azonosságának kikényszeríteni akarása [13, p. 7].” A COCO\_SWOT amely a SWOT analízis automatizálásaként jött létre, és megmutatja, hogy a Y0 modul során alkalmazott irányok rögzítése esetén „[...] mennyiben mozog a teljes jelenségrendszer az Y0 (ideálkereső) modell iránylogikája szerint, ha minden X(i) egyszer Y-ná válik a fennmaradó változók magyarázó erejére számítva [13, p. 7].”

A szakirodalmi áttekintést követően a felsorolt módszerek, eszközök és eljárások alkalmazásával egy olyan kérdőíves kutatás kerül bemutatásra, mely az IT-biztonság, azon belül is a biometrikus rendszerekkel kapcsolatos munkavállalói attitűdöt és a válaszadás során megjelenő kockázatokat vizsgálja. Az attitűd az egyes biometrikus eljárásokkal és technológiával szembeni elfogadottságot, a kockázat pedig a tudatos hamis válaszadást és az öntudatlanul félreértett, helytelenül adott válaszokat jelenti. A kockázatok feltárása egyaránt a válaszadás tartalmi és formai aspektusait is vizsgálja. A tartalmi elemzés alapján feltérképezhetők a legkockázatosabb elemek, vagyis melyik válaszadó értette meg legkevésbé a kérdéseket, illetve melyik kérdés a legzavarosabb. A formai aspektus alapján a válaszadási folyamat monitorozása (mint egérmozgás naplózása) kerül középpontba. Ezek alapján elötűnnek azok a kérdésekre adott válaszok, melyeket a kitöltőnek másképp kellett volna megválaszolnia.

### 3 ATTITŰD-KOCKÁZAT ELEMZÉS A BIOMETRIKUS RENDSZEREK ELFOGADOTTSÁGÁNAK VIZSGÁLATA KERETÉBEN

A felhasználói felületek ergonómiájának szempontjait figyelembe véve és a hasonlóságelemzés eszközeit felhasználva került kidolgozásra és elemzésre a kérdőív, melyben vizsgálatra került a biometrikus technológiával szembeni tanúsított attitűdöt.

A tanulmányban a kérdőív eredményeinek sarkalatos pontjai kerülnek bemutatásra, mely célja, hogy az attitűd-kockázat elemzés automatizálható és más területeken is alkalmazható legyen. A kérdőív különlegessége, hogy nem a hagyományos, sorszámozott kérdés-válasz módszerrel került kidolgozásra, hanem a 2DM keretrendszer használatával egy interaktívabb, a kitöltők viselkedését alaposabban megismerő felület jött létre.

A kérdőív az egyes biometrikus eljárásokkal szemben tanúsított felhasználói attitűdöt (személyes és tömeges véleményeket elkülönítve) vette szemügyre. Az elemzés során két kérdés-kategória került középpontban. Elsősorban, hogy *mi a válaszadó szerinti tömegvélemények szintjeibe sorolt biometrikus eljárások személyes sorrendje*, másodsorban pedig *mi a személyes vélemények szintjeibe sorolt objektumaira vonatkozó tömegvélemény a válaszadó szerint*.

A két kérdés alapján elkülöníthetővé válik a személyes preferenciák alapján adott válaszok a tömegvéleményektől. A két kategória egy 3x3 mátrixban kerülnek ábrázolásra, ahol a TTT (=támogatott-türt-tiltott) séma a 2DM keretrendszer alapvető része. A mátrix szöveges tartalma leegyszerűsített formában kerül megjelenítésre az 1. táblázatban, az átláthatóság érdekében.

1. táblázat: A TTT alapú kategóriák és elemei

<b>I. mások&gt;én</b>	<b>általam (á.) támogatott</b>	<b>á. türt</b>	<b>á. tiltott</b>
<b>mások által (m.á.) támogatott</b>	<i>arc alapú azonosítás(az.) – kedvelik, ismerik&gt;egyszerű</i>	<i>ujjlenyomat alapú az. – ismerik, de félnek töle&gt;visszaélhetnek vele mégis kényelmes</i>	<i>hangaz. – szeretik &gt;átverhető</i>
<b>m. á. türt</b>	<i>kézgeometria az. – nem annyira kedvelik/ismerik, ha kell használják, félnek töle&gt; legjobban bevált</i>	<i>aláírás az. - elfogadjuk</i>	<i>gépelési dinamika felismerés viselkedés alapú – folyamatos azonosításra ad lehetőséget &gt;kockázatos</i>
<b>m. á. tiltott</b>	<i>iriszaz. – tévhitik miatt félnek &gt;kényelmes</i>	<i>DNS az. – inkább bűntüldözésben</i>	<i>retinaaz. – elutasítják &gt;kiszorította az írisz</i>

II. én>mások	mások által (m.á.) támogatott	m. á. túrt	m. á. tiltott
általam (á.) támogatott	<i>arcfelismerő</i> – fejlődik, egyszerű, hatékony >szeretik, elfogadják	<i>kézgeometria</i> – legjobb eredmény, kevés téves elutasítás> nem kedvelik	<i>írisz</i> – legjobb, de drága>nem kedvelik
á. túrt	<i>ujjlenyomat</i> – legelterjedtebb, de kockázatos (visszaélések) >elfogadják rendszerben, nem a magán biztonságban	<i>aláírás</i> – biztonsági szintjét nem ismerem>kedvelik és elfogadják	<i>gépelési dinamika</i> – kockázatos >nem annyira elfogadott
á. tiltott	<i>hangfelismerők</i> – alkalmatlanok, sok téves elutasítás >elfogadják (telefonos felületeken)	<i>DNS</i> – pontos, de hamisítható >rendészeti célokra természetesnek érzik használni	<i>retina</i> – szűkségtelen >elutasítják

Az I. táblázat részletezi az egyes biometrikus azonosítási eljárásokról alkotott véleményeket, ahol a tömegvélemények képviselik a kategóriába sorolás alapját, a személyes vélemény a „*másodlagos*”, ezzel szemben a II. táblázat a személyes preferenciákból halad a tömegvélemények felé. A 2DM-kérdőívben a 9 biometrikus eljárást a 3\*3-as válaszcellában egyesével kell elhelyeznie minden válaszadónak. A két kérdés-kategória tehát abban különbözik egymástól, hogy az I. táblázatrészen a tömegvélemény előszűrése utána kell személyes véleményeket alkotni TTT szintenként, míg a II. táblázatrészen a személyes előszűrést követően kell a vélt tömegvéleményt alkotni. A kérdések eredményei tartalmilag lehetnek azonosak, amennyiben a válaszok fedik egymást. A két kérdés azonban nem kell, hogy azonos 3:3:3 elemű alcsoportokhoz vezessen, hiszen egy adott személy véleménye a támogatandó eljárásokról teljesen eltérhet az általa a tömegről alkotott véleményről, mely esetében éppen azok a tiltottak, amit a konkrét személy támogatni akar. Fontos, hogy a kérdéspár esetén a tömegről is a megkérdezett személyes véleménye várható el.

A 2DM-keretrendszerben elsőként az egyik, majd a másik kérdés kerül kitöltésre, azonban a két kérdés akár egyszerre is nyitva lehet (párhuzamosan kitölthető), melyek további hermeneutikai (értelmezési) lehetőségeket kínálnak fel. A „*bolyongás*” a két kérdés-kategória között konzisztensebb válaszsort hoz létre. Azoknak a kitöltőknek, akiknek a konzisztencia-szintje alacsonyabb, feltételezhetően az inkonzisztencia-mértéke magasabb. Alapesetben a két kérdés egymást követi, nincs módosítási lehetőség és a második kérdés meglepetésként hat az első kérdés után, ráadásul az első kérdés válaszai a második kérdés alatt már nem hívhatók elő. Ezzel mérhető a következetesség és véletlenszerűség. A 2DM keretrendszerben nincs elvárt pozíció, tehát egy-egy biometrikus eljárás bárhova elhelyezhető, onnan azonban

már nem törölhető. Így az utolsó eljárás kategória az egyetlen fennmaradó helyre helyezhető el. Itt megfigyelhető a válaszadás gyorsasága, mely tükrözhet magabiztosságot (gyors elhelyezés esetén), vagy bizonytalanságot (lassú elhelyezés esetén).

Az OAM (objektum-attribútum mátrix) képzése lehetővé teszi annak az értelmezési alampintázat létrehozását, mely a láncszerű hasonlóságelemzéseket lefolytató mesterséges intelligencia-motor számára feladják az adatokat. Az OAM objektumai a válaszadók, az attribútumok pedig a válaszok és kérdések (egy kérdés egy válasz kapcsolat esetén). Az OAM alapvető kérdése: *Melyik biometrikus eljárás értékelése a legkevésbé racionális/hiteles adott válaszadó esetén, a válaszadók átlagában?* Az objektumok itt a biometrikus eljárásokat jelentik adott vagy több válaszadó esetén. Az attribútumok egy válaszadó esetén a következők:

- minél később kerül sorra egy biometrikus eljárás, annál kockázatosabb ennek válaszadói értelmezése, ahol az utolsónak marad biometrikus eljárás lesz az első, mert ennek pozíciója a legkevésbé önkényes,
- minél nagyobb időarányt igényel egy biometrikus eljárás elhelyezése, annál kockázatosabb ennek válaszadói értelmezése,
- minél irracionálisabb egy biometrikus eljárás útja a felemeléstől a lehelyezésig, annál kockázatosabb ennek válaszadói értelmezése.

Több válaszadó esetén pedig az attribútumok lehetnek azonosak a fentiekkel, ellenben az objektumok kettős azonosítással futnak:

- több válaszadó egységes értelmezése esetén az egyes válaszok kockázat-indexértékét nem csak az adott személy többi válaszána attribútum-értékei, hanem minden személy minden válaszána attribútumértékei is befolyásolják,
- több válaszadó esetén az esetlegesen méretfüggő attribútumok szerepe speciálisan értelmezendő.

A tartalmi elemzés hasonlóságelemzése egyetlen futtatást jelent, hiszen nincs iránypreferencia az attribútumok kapcsán (a kutatás alatt rajzolódta ki). A futtatás potenciális eredményei a következők:

- minden egyes személy minden egyes válasza esetén születik egy becsült választ,
- minden becsült válasz távolsága a tényleges választól kiszámításra kerül,
- minden személy esetén az átlagos becslési távolság kiszámításra kerül,
- minden kérdőívkérdés esetén az átlagos becslési távolság kiszámításra kerül,
- minden személy átlagos becslési távolsága rangsorolásra kerül,
- minden kérdőívkérdés átlagos becslési távolsága rangsorolásra kerül.

A hasonlóságelemzés során az egyes attribútumok speciálisan kezelendők, hiszen minden biometrikus eljárás esetén többféle értelmezés lehetséges attól függően, hogy egyéni vagy tömegvéleményt figyelünk. Így elemezhető az alapján is, hogy szubjektíven mennyire támogatott az adott biometrikus eljárás a tömeg szempontjából a tömeg>egyén nézetben, vagy szubjektíven mennyire támogatott az adott biometrikus eljárás az egyén szempontjából a tömeg>egyén nézetben stb.

A kérdéspár alapú 2DM keretrendszerben kezelt válaszok eredménye változatosabb, mint egy hagyományos Likert-skálán történő értékelés esetén. Azonban a keretrendszerben beépíthetők a Likert-skála kérdések, minél szélesebb paraméterek és változatosabb válaszok elérése érdekében. A kockázat értékének kifejezése érdekében azonban nem elég az irányítatlan modell, hiszen érdemes definiálni mi a kockázatos és kevésbé kockázatos állapot. Ehhez használható a YO modell, melynek lényege, hogy minden objektumról igyekszik meghatározni, hogy a rendelkezésre álló leíró adatok alapján az összes többi objektummal azonos (kockázatokat hordoz). Ha ez az azonosság nem látható be legalább két objektumról, akkor a hasonlóságelemzés objektum-rangsort produkál. Ez a rangsor lehet hiteles, ha az inverz modell hiba-előjelei erősítik a direkt modell hiba-előjeleit, vagy hiteltelen objektumként, amennyiben az inverz és a direkt modellek azonos irányba hatóan tévednek. A kérdőív esetében elmondható, hogy adott biometrikus eljárás kategóriák esetében a kérdéspárok automatikusan előállnak, és ezek alapján az attribútumok is automatikusan vezethetők le. Végül a hermeneutikai modulok is automatizálhatók, hiszen minden elemzési részeredményhez értelmező szabályok kapcsolhatók, melyek outputja maga az értelmező szöveg.

## 2 ÖSSZEGZÉS

A tanulmány összefoglalásaképp elmondható, hogy a felhasználó igények kielégítése érdekében a fejlesztőnek követnie kell a használhatóság, egyszerűség és érthetőség alapvető szempontjait, ez vonatkozik a kérdőív-készítő felületekre is. A biometrikus eljárások felhasználóinak válaszadási technikája kiválóan vizsgálható a hasonlóságelemzés módszerével. A válaszadók válaszadási magatartása nagyban függ a kérdésekre adott válaszok gyorsaságától, konzisztencia-inkonzisztencia kettőségtől, a válaszadói értelmezéstől (melynek ideje minél hosszabb, annál kockázatosabb), illetve megfigyelhetőek a tömeg-egyén vélemények közötti különbségek/hasonlóságok. A tanulmányban bemutatott technika automatizálható, és más területeken is alkalmazható.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-3-III. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Központi Statisztikai Hivatal, „KSH,” 2018. [Online]. Available: [https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat\\_tablak/tab1/tin00091.html](https://www.ksh.hu/docs/hun/eurostat_tablak/tab1/tin00091.html). [Hozzáférés dátuma: 11 12 2018].
- [2] G. Szentgáli, „AZ EURÓPAI UNIÓ KIBERBIZTONSÁGI TÖREKVÉSEI ÉS SZERVEZETEI I.,” *HADMÉRNÖK*, pp. 172-179, december 2012.
- [3] S. Krug, *Ne törd a fejem! Felhasználóbarát webdizájn*, Budapest: HVG Kiadó Zrt, 2006.
- [4] L. Izsó és M. Antalovits, *BEVEZETÉS AZ INFORMÁCIÓ-ERGONÓMIÁBA*, Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem Ergonómia és Pszichológia Tanszék, 2000.
- [5] J. Nielsen, *Web-design*, Budapest: Typotex, 2002.
- [6] A. Leiszter, *WEBERGONÓMIA* Jakob Nielsen nyomán, Budapest: Typotex, 2011.
- [7] N. Bevan, „Quality in use: Meeting user needs for quality,” *Elsevier*, 49, pp. 89-96, 1999.
- [8] A. Abonyi-Tóth, M. Pataki és P. Mátételki, „Bevezetés az infokommunikációs akadálymentesítés világába I.,” *Fogyatékos Személyek Esélyegyenlőségéért Közalapítvány*, Budapest, 2011.
- [9] C. P. Kvaszingerné, *Webdesign*, Eger: Eszterházy Károly Főiskola, 2013.
- [10] P. Kotler és K. L. Kellen, *Marketing menedzsment*, Budapest: Akadémia Kiadó Zrt, 2008.
- [11] C. Lagerstedt, A. Aurelius, H. Pathirana, C. P. Larsen és O. Findahl, „Understanding Internet User Behavior: Towards a Unified Methodology,” *International Journal on Advances in Telecommunications*, 5 (4), pp. 153-162, 2012.
- [12] J. Ponto, „Understanding and Evaluating Survey Research,” *JADPRO*, 6 (2), pp. 168-171, 2015.
- [13] L. Pitlik, „A hasonlóságelemzés alapjai,” *Magyar internetes agrárinformatikai újság*, 17 (189), pp. 1-12, 2014.
- [14] L. Pitlik, C. Horváth és L. Szabó, „Pénzügyi tudatosság más szemmel, avagy 'hazudj, ha tudsz' a kérdőívezés során,” *Magyar internetes agrárinformatikai újság*, 14 (158), pp. 1-12, 2011.
- [15] G. J. Székely, *Paradoxonok a véletlen matematikájában*, Budapest: Typotex, 2010.