

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



SZENT ISTVÁN EGYETEM
GÖDÖLLŐ

2011/6.

52 oldal
LXII. évfolyam

SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola

2011/12. évben induló doktori témái 2/1.

- **NÖVÉNYI SZÁRAK VÁGÁSÁNAK NUMERIKUS MODELLJE**
- **MEZŐGAZDASÁGI TERMÉNYEK 3D GEOMETRIAI LEÍRÁSA**
- **BIOGÁZ ALAPANYAG NÖVÉNYI HALMAZ-SZERKEZET MODELLEZÉSE ÉS OPTIMALIZÁLÁSA**
 - **ELEKTROMÁGNESES HATÁSOK ÁLLATTENYÉSZTÉSBN ÉS ÁLLATGYÓGYÁSZATBAN**
 - **BIOELEKTROMÁGNESES MODELLRENDSZEREK KIDOLGOZÁSA AZ ÉLŐ ANYAGOKHOZ**
 - **ELEKTROMOS IMPEDANCIA DIAGNOSZTIKAI ALKALMAZÁSAI**
 - **LENGŐ SÍKROSTÁK FREKVENCIA OPTIMÁLÁSA**
- **A TALAJTANI ÉS TALAJFELSzíNI SPEKTRÁLIS JELLEMZŐI KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK FELTÁRÁSA PRECÍZIÓS MŰVELÉSHEZ**
 - **A BIOGÁZ TERMELÉS HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSA FIZIKAI ÉS BIOLÓGIAI ESZKÖZÖKKEL**
 - **MEZŐGAZDASÁGI GÉPEK ÉS RENDSZEREK INFORMÁCIÓ-TECHNOLÓGIÁVAL TÁMOGATOTT ÜZEMELTETÉSE**
 - **MEZŐGAZDASÁGI TERMELŐFOLYAMATOK ÉS KÖRNYEZETÜK MONITOROZÁSA MÉRŐHÁLÓZATOKKAL**
 - **ELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK ÖSSZESZERELÉSÉT POZÍCIONÁLÓ, ROBOTOT KIVÁLTÓ HAJTÁSRENDSZER FEJLESZTÉSE**
 - **MÁGNES CSAPÁGY FEJLESZTÉSE NAGYFORDULATÚ NEUTRONNYALÁB-FORMÁLÓ ESZKÖZÖKHÖZ**
 - **BIOMASSZA ERŐMŰVEK TÜZELŐANYAG ELLÁTÁSÁNAK LOGISZTIKÁJA**
 - **KÉPLÉKENYALAKÍTÁSSAL ELŐÁLLÍTOTT NANOSZEMCSÉS ACÉL VIZSGÁLATA**
 - **MŰSZAKI RENDSZEREK MONITOROZÁSA**
 - **CSATOLT MŰSZAKI RENDSZEREK IRÁNYÍTÁSA ÉS MEGFIGYELÉSE**
 - **ANYAG ÉS TECHNOLÓGIA EGYÜTTES HATÁSA KÖPENYSZERKEZETEK FEJLESZTÉSÉRE**
 - **KÜLÖNBÖZŐ ANYAGÚ ÉS MEGMUNKÁLÁSÚ ALKATRÉSZ FELÜLETEK TRIBOLÓGIAI VIZSGÁLATÁNAK ELEMZÉSE**
 - **EGYÉLŰ, HATÁROZOTT ÉLGEOMETRIÁJÚ, SZERSZÁMOK FELÜLETMINŐSÉGRE GYAKOROLT HATÁSA**
 - **SIMÍTÓ ESZTERGÁLÁS ESETÉN**
 - **ELEKTRO-RHEOLÓGIAI MEZŐGAZDASÁGI SZABÁLYOZÁSOK NÖVÉNYI EREDETŰ OLAJOKKAL**
 - **NÖVÉNYI HAJTÓANYAGOKKAL MŰKÖDŐ DIESEL MOTOROK MŰKÖDÉS-OPTIMALIZÁLÁSA**
 - **FOGÁSZATI ANYAGOK TRIBOLÓGIÁJA**
 - **NC VEZÉRLÉSŰ SZERSZÁMGÉPEK FOLYAMATFELÜGYELETE A MEGMUNKÁLÁS TERMELÉKENYSÉGÉNEK, BIZTONSÁGÁNAK ÉS MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSÁRA**
 - **ELEKTRO-MECHANIKUS RENDSZERŰ MÉHKAPTÁRAK**
 - **FOTO VILLAMOS TECHNOLÓGIÁK TELJESÍTMÉNYVISZONYAI**
 - **MODULÁRIS NAPENERGIÁS SZÁRÍTÓ ENERGETIKAI MODELLJE**
 - **MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK MODELLEZÉSE ÉPÜLETGÉPÉSZETI RENDSZEREKBN**
 - **ÉPÜLETSZERKEZET TERMIKUS JELLEMZŐI ENERGIA-BEVITEL ESETÉN**

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

műszaki, vállalkozási, befektetési, értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni Ádám
elnök

Vesza József
főszerkesztő

Dr. Jármái Károly
Dr. Péter József
Dr. Szabó Szilárd
főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István
Bányai Zoltán
Dr. Beke János
Dr. Bercsey Tibor
Dr. Bukoveczky György
Dr. Czitán Gábor
Dr. Danyi József
Dr. Dudás Illés
Dr. Gáti József
Dr. Horváth Sándor
Dr. Illés Béla
Kármán Antal
Dr. Kulcsár Béla
Dr. Kalmár Ferenc
Dr. Orbán Ferenc
Dr. Pálincás István
Dr. Patkó Gyula
Dr. Péter László
Dr. Penninger Antal
Dr. Rittinger János
Dr. Szabó István
Dr. Szántó Jenő
Dr. Tímár Imre
Dr. Tóth László
Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

A szerkesztésben közreműködött:
Dr. Pálincás István

ELŐSZÓ

Tisztelettel köszöntöm az Olvasót, aki a GÉP folyóirat különszámát tartja a kezében, amelyben a Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskolája ösztöndíjas és levelező doktoranduszai legfrissebb munkáikról adnak számot.

A SZIE Gépészmérnöki Karának szakmai illetékességébe eső doktori (PhD) képzés a Műszaki Tudományi Doktori Iskola (MTDI) keretében működik 1993 óta. A jelenlegi képzési struktúra amellelt, hogy kiemelten kezeli a gépészeti és az energetika témaköröket, szorosan kötődik az élet- és környezettudományokhoz is. A Doktori Iskola eddigi működése során több mint 70 jelölt nyerte el a PhD doktori fokozatot. A Doktori Iskola tudományos értékelése, megítélése - az országos akkreditáció keretében - ebben az évben zajlik, hasonlóan más doktori iskolákhoz.

A Doktori Iskolán belül a 3 éves képzési szakasz négy fő területet ölel fel, nevezetesen a kurzusszerű képzésben való részvételt, a kutatómunkát, az oktatásban való részvételt valamint a publikációs tevékenységet. Az egyes területeken végzett munka és azok értékelése pontosan körülhatárolt kreditrendszerrel történik.

A doktoranduszoknak évente számot kell adniuk a kutatómunkájukban történt előrehaladásról. Ez az I. évben a készíthető PhD dolgozathoz kapcsolódó írásos *szakirodalmi beszámoló* keretében valósul meg. A II. évben írásos *kutatási beszámoló*t kell készíteni az addig elvégzett kutatómunkáról és azt a Kutatás Ellenőrzési Albizottság előtt meg kell védeni. A III. év végén a doktorjelölteknek - a Doktori Iskola vezetője, a Minőségügyi Albizottság vezetője valamint a témavezető előtt - *kutatási záró beszámoló* keretében számot kell adni a képzési időszakban elvégzett feladatokról és az elért eredményekről. Ennek részeként körvonalazni kell a munka során várható új tudományos eredményeket is. Ez a záró beszámoló - az egyéb követelmények teljesítése mellett - előfeltétele a képzési szakaszt lezáró abszolutórium kiadásának.

Az elmondottakból is kitűnik, hogy a doktoranduszok számára fontos, hogy szakmai nyilvánosság előtt, rangos szakmai folyóiratokban is számot adjanak az elért új tudományos eredményeikről. Ezért köszönet a GÉP folyóiratnak, hogy ezen különszám megjelenését e célból is támogatta.

A Doktori Iskola szakmai működési körének megfelelően a bemutatott dolgozatok is meglehetősen széles tématerületet ölelnek fel, nevezetesen:

- a gépészeti témakörben forgácsolóerők meghatározását cirkónium-dioxid esztergálásánál valamint süllyesztékben kovácsolt alumínium próbatestek szakítószilárdságát,
- a gépjárművek témakörben terhelés alatti áttételváltás elemzését, kisrepülőgépek karbantartásának fejlesztését valamint járművek menetellenállásának elemzését;
- az energia témakörön belül a fotovillamos modulok spektrális érzékenységvizsgálatát valamint napkollektoros rendszer geometriai modellezését;
- a környezettel kapcsolatos témakörön belül hengeres talajrendszerekben zajló konvekciós folyamatokat valamint lebomló csomagolóeszközök vizsgálatát.

Végezetül jó szívvel ajánlom az Olvasónak, hogy a dolgozatok elolvasása, áttanulmányozása révén is ismereteket szerezzen a SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskolában folyó szakmai munkáról.

Gödöllő, 2011. május


Dr. Farkas István

a SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola vezetője

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Telefon/fax: +36-46/379-530, +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu
Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.
Telefon: 202-0656, fax: 202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gte.mtesz.hu
A GÉP folyóirat internetcíme: http://www.gepujsag.hu
Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.
Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Tel.: (46) 379-530, e-mail: gazdasz@chello.hu.
Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága 1008 Budapest, Orczy tér 1.
Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél, e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 303-3440. További információ: 06 80/444-444
Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat,
H-1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média, H-1392 Budapest, Pf. 272.
Előfizethető még közvetlenül a szerkesztőségben is.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

TARTALOM

1. Árvai Cs.; Pálinkás I.:
Sülyesztékben kovácsolt ötvözött alumínium próbatetek szakítószilárdsága3
A cikk a hazai gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott ötvözött alumínium minőségéből (EN AW 6082 és EN AW 2017) sülyesztékes kovácsolással előállított próbatetek szakítószilárdságának meghatározását mutatja be.
2. Fledrich G.; Pálinkás I.; Keresztes R.:
Forgácsoló erő kutatása cirkónium-dioxid (ZrO₂) esztergálásánál8
A ZrO₂ kerámia forgácsolhatóságának vizsgálata céljából kísérleti mérőberendezést állítottak össze a CBN és PCD szerszámokkal végzett keményesztergálás forgácsoló erőinek mérésére. A forgácsoló erő és a forgácsolási paraméterek között regressziós összefüggést állapítottak meg.
3. Kocsány I.; Seres I.:
Sík- és vákuumsöves kollektorok hasznos felületének geometriai modellje12
A napkollektorok működése erőteljesen függ az olyan meteorológiai körülményektől, mint pl. a nap-sugárzás és környezeti hőmérséklet. Az alacsony hőmérséklettel párosított kisebb sugárzási szint mellett a vákuumsöves kollektornak jobb a hatásfoka, mint a sík-kollektoros változatnak.
4. Lefánti R.; Kalácska G.:
Kisrepülőgép karbantartásának fejlesztése, futószár rekonstrukció17
Ma még van néhány olyan repülőgép olyan részegység és alkatrész, amelyek szabályozása meglehetősen hiányos, ilyen pl. a futószár-ágyazás. Szerzők kutatási munkájából készült cikk a futószár problémáját és fejlesztését ismerteti.
5. Lengyel A.; Szegedi A.:
Terhelés alatti áttételváltás folyamatainak elemzése23
Az erőgépek és a hajtóművek együtt dolgozásának kritikus pontja a terhelés alatti áttételváltás. A témában végzett kutatómunka célja az elektromos vezérlőjelből kiindulva, a hidraulikus működtető elemek nyomásváltozásain keresztül vizsgálni a vonóerő időbeni változását.
6. Máthé L.:
Terepre futó jármű menetellenállásainak elemzése különböző talajfelszínen27
A múlt év nyarán a Szent István Egyetem Járműtechnika Tanszékének munkatársai egy komplex mérősortozatot végeztek. A projekt fő célja volt, hogy alapadatokat vegyenek fel, amelyek számítógépes szimulációnál az épített utat elhagyó jármű sebességének meghatározásához talaj-adatbázisként alkalmazhatóak a pályaelhagyás pillanatában.
7. Nagy N.; Gyarmati B.; Mészáros Cs.; Gottschalk, K.; Bálint Á.:
Konvekció hengeres talaj rendszerekben36
A talaj/levegő rendszerben zajló konvekció tanulmányozására megfelelő műszerezéssel ellátott kísérleti berendezést építettek. Szerzők ebben a cikkben csak a talajoszlopokban végbemenő folyamatokra vonatkozó mérések eredményeit közlik.
8. Seres I.; Kocsány I.; Farkas I.; Weihs P.:
Fotovillamos modulok spektrális érzékenységeinek vizsgálata41
A cikk a gödöllői 10 kW névleges teljesítményű napelemes rendszer főbb elemeit, a kiépített adatgyűjtő rendszert, és a rendszer működtetése során begyűjtött fontosabb működési adatokat mutatja be.
9. Varga R.:
Merev falú, biológiailag lebomló csomagolóeszközök vizsgálata46
A nagy tömegben felhasznált műanyag-csomagolóanyagok egyre nehezebben megoldható környezetterhelési problémát okoznak. A cikk kiemeli, hogy a gondok enyhítésére már megkezdődött a biológia úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztése és alkalmazása.

SÜLLYESZTÉKBEN KOVÁCSOLT ÖTVÖZÖTT ALUMÍNIUM PRÓBATESTEK SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGA

DETERMINATION OF TENSILE STRENGTH OF FORGED ALUMINIUM SPECIMENS

Árvay Csaba*, Dr. Pálinkás István**

SUMMARY

We aimed to determine the tensile strength of forged aluminium specimen produced from 2 types of cylindrical aluminium rod, which are the most commonly used ones in the Hungarian practice (EN AW 6082 and EN AW 2017).

Several forged specimen were produced in a temperature range of 350 and 500 °C, as suggested in the literature, and then the optimal forging temperature was determined in point of the best tensile strength.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a hazai gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott ötvözött alumíniumból (EN AW 6082 és EN AW 2017) süllyesztékes kovácsolással előállított próbatetek szakítószilárdságának meghatározását mutatja be, a szakirodalom által javasolt 350 °C és 500 °C közötti kovácsolási hőmérséklet tartományban. A kísérletek alapján meghatároztuk a kovácsolási hőmérséklet és a szakítószilárdság kapcsolatát a gyakorlatban alkalmazott körülmények között.

1. BEVEZETÉS

A süllyesztékes kovácsolás olyan forgács nélküli melegalakító eljárás, amelyet a kedvező szilárdsági tulajdonságokat igénylő, sorozatgyártásban készülő alkatrészek gyártási folyamatában alkalmaznak. A kovácsolás célja egyrészt a fém előírt geometriai alakra munkálása, másrészt mechanikai tulajdonságainak javítása, szemcsenagyságának finomítása és a megfelelő szálirány kialakítása. A pontos geometria egyéb alakítási eljárással, például öntéssel is létrehozható, a jelentős igénybevételt elviselő alkatrészek megfelelő mechanikai tulajdonságai azonban csak kovácsolással érhetők el. Alkalmazásával nemcsak az anyagveszteség csökkenthető, hanem a kedvező szilárdságértékek miatt az alkatrészek kisebb tömegűre tervezhetők. A technológia során jó felületi minőségű, és napjaink technológiai követelményeinek megfelelő méretpontosságú alkatré-

szeket tudunk előállítani. Az áttekintett publikációk sok szempontból vizsgálták az alakítható ötvözetek tulajdonságait, amelyek a képlékeny alakítással kapcsolatban felmerülnek. Azonban a kísérletek zöme laboratóriumi körülmények között végrehajtott mérés, amelyek peremfeltételei sokszor eltérnek az ipari gyakorlatban alkalmazott gyártási körülményektől. A nagyszilárdságú ötvözetek ilyen jellegű vizsgálataira igen kevés példát találunk. Indokolt olyan vizsgálat végrehajtása, amely a gyakorlati körülményeket is figyelembe veszi, és a gyártás során elérhető mechanikai tulajdonságok optimalizálását tűzi ki célul.



1. ábra. Süllyesztékes kovácsolással gyártott próbatest

2. AZ ALUMÍNIUM KOVÁCSOLÁSA

A képlékeny alakítás során létrejövő maradó alakváltozás következtében a fémek, és ötvözetek legtöbb tulajdonsága megváltozik. A legnagyobb változást a szilárdsági értékekben tapasztalhatjuk. Az alakítás hatására a szerkezetben maradó feszültségek hatására a fémek szilárdsági értékei növekednek, míg alakíthatósági, képlékenységi tulajdonságai romlanak. [10], [11] Ezek a hatások részben vagy teljesen megszűnnek, ha a fémeket egy jellemző hőmérséklet határ fölé hevítjük, ezt az ötvözetekre jellemző hőmérsékletet lágyulási hőmérsékletnek nevezzük. A lágyulási hőmérséklet lényegében egybeesik az újrakristályosodás kezdő hőmérsékletével. A kovácsolás során az anyagot e fölötti hőmérsékletre hevítjük, mivel alakításnál az anyag szilárdságának növekedése egyértelműen hátrány. A magasabb szilárdságú anyag alakítási ellenállása nagyobb, ami több energiát, erősebb gépet, szerszámot igényel, és a szerszámok gyorsabb elhasznál-

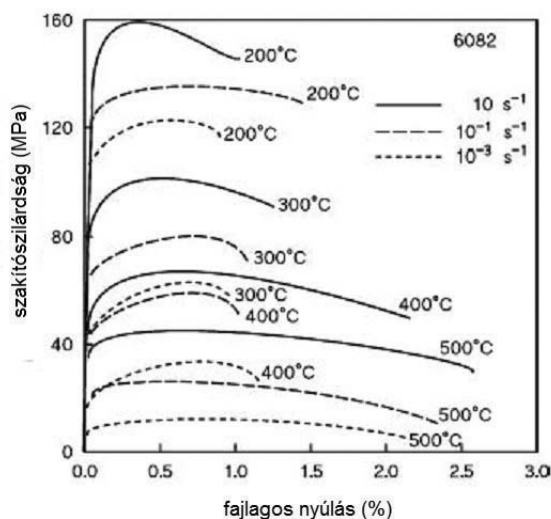
* SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola, levelező hallgató

** SZIE GÉK Gépipari Technológiai Intézet, főiskolai tanár, témavezető

lódását eredményezi. A későbbi felhasználás során azonban az anyag szilárdsága egyértelműen előnyös, főleg, ha nem jár a szívósság csökkenésével.

Az irodalmi adatok a két témakör közül – megmunkálási tulajdonságok, végtermék tulajdonságok – főleg az alakíthatóságra vonatkoznak. Ez a technológiai szempontok figyelembevételével érthető is. Az acélok esetében ezek – mivel az évszázadok óta alkalmazott és kutatott anyag – az eredmények az ipari alkalmazások területén rendelkezésre állnak, csak a legújabb anyagok, speciális megmunkálási területek esetén szükséges vizsgálni. Az eredmények az alumínium területén közel sem ilyen kiforrottak, jelenleg is folynak a kutatások.

A vizsgálat tárgyát képező *EN-AW 6082* ötvözet kovácsolási hőmérsékletét a szakirodalom [3], [4] általában 420 °C és 520 °C közé teszi, 500 °C-ként megjelölve az optimumot [5]. Ezt igazolja a 2. ábra is. Egyes kutatók szerint alumíniumötvözetek esetében gazdaságosabb a képlékeny alakítást alacsonyabb hőmérsékleten végrehajtani. [7], [8], [9]. A gyártási szempontokkal együtt azonban figyelembe kell venni a késztermékkel szemben támasztott követelményeket.



2. ábra. Szakítási diagramok különböző hőmérséklet és vizsgálati sebesség értékek esetén (6082 alumínium) [6]

A képlékenyalakítás során az alakítás sebessége is befolyásolja az anyag szilárdsági jellemzőit [6]. A szilárdsági jellemzők mellett az anyag alakításánál szemcseszerkezetre gyakorolt hatásai is fontosak. A képlékenyen alakított fémek izzítása az alakításnak a fém kristályszerkezetére gyakorolt hatásait is megszünteti úgy, hogy a fém szövete az izzítás után az alakítást megelőző állapothoz hasonló lesz, a szemcsék mérete viszont változik. Az újrakristályosodás kristálycsírák képződésével indul meg és mérhető sebességű, hasonlóan az olvadékból való kristályosodáshoz. Az új kristallitok csírái többnyire a deformált kristályok határának és a csúszási vonalak találkozási helyén keletkeznek, és az alakított kristályok anyagából növekednek, mindaddig amíg az anyagban deformált kristallit nem marad.

Amennyiben az újrakristályosodás befejeztével magasabb hőmérsékletre hevítjük a fémeket, vagy hosszabb

ideig hűn tartjuk, a képződött új szemcsék magukba olvaszthatják szomszédait. Ennek eredményeképp megnő az átlagos szemcseméret, tehát durvul a fém szövete. A folyamatot másodlagos újrakristályosodásként ismerjük. Az újrakristályosodás során kialakuló szemcseméret azért fontos majdnem minden technológiai szempontjából, mert az megszabja a legfontosabb mechanikai tulajdonságokat. Minél kisebb a szemcsék mérete, annál nagyobb az anyag szakítószilárdsága, és annál szívósabb.

Az újrakristályosodáskor keletkező szövet szemcsenagyságát döntően két tényező határozza meg: az alakítás mértéke és a hevítés hőmérséklete. Eszerint az újrakristályosodott fém annál finomabb szerkezetű, minél nagyobb volt az alakítás mértéke, és minél kisebb a hevítési hőmérséklet. Fontos szerepet játszik azonban a hevítés ideje is, minél rövidebb a hevítés ideje annál kisebb az átlagos szemcsenagyság [11].

Kutatások szerint a két hőkezelés között eltelt pihentetési idő is hatással van a végtermék ezen jellemzőire [12]. A hőkezelés eredményessége sok összetevő függvénye, melyek napjainkban is kutatások alapját adják, különösen a közelmúltban kifejlesztett ötvözeteknél [14]. A hűntartás hőmérséklete és ideje, valamint a hűlési sebesség olyan paraméterek, amelyek pontos betartása és sok esetben követhetősége a gyártás során alapvető feltétel. A precíz vezérlés, pontos hőmérsékletmérés és regisztrálás azonban manapság elengedhetetlen. Mivel a különböző ötvözetek nemesítéséhez más-más hőmérsékletre és időtartamra van szükség, a kemencevezérlőkben különböző programok indíthatók a kemencében lévő anyag függvényében.

2.1. A vizsgálat célja

A cél az egyes irodalmi adatokat figyelembe véve, de a késztermék tulajdonságaira összpontosítva megállapítani az optimális gyártási paramétereket. A gyárthatóság mellett főként a végtermék szilárdságának és szívósságának növelése a cél. A két tulajdonság egyidejű javulása csak a szemcseszerkezet finomításával érhető el. A vizsgált ötvözeteknél kovácsolás után minden darabot hőkezelünk, amellyel a megmunkálási feszültségek csökkenthetők és az alakítás következtében létrejövő szilárdságnövekedés (ami a szívósság csökkenésével jár) is megszűnik. A darabok közti különbség csak szemcseméretben lesz. Ennek mechanikai hatásait mutatjuk be.

3. A VIZSGÁLAT MÓDSZERE

A vizsgált próbatestek előkészítése a 20 kg alatti, kis és közepes sorozatú, az általános gépipar és a járműgyártás számára készülő alkatrészek kovácsolási technológiája szerint történt. Kiinduló anyagként nagyrészt kör keresztmetszetű rúdanyag használatos, azonban a bonyolultabb geometriájú alkatrészek a darab alakját leginkább megközelítő profilból is készülhetnek. A nemesítés két lépcsője az edzés és az azt követő megeresztés döntő mértékben befolyásolja a kész darabok szilárdsági tulajdonságait.

3.1. A próbatetek előállítása

A mintasorozatok az Alutech Kft. kovácsüzemében készültek, a technológia mindenben megfelelt a sorozatban gyártott kovácsolt alkatrészek ott alkalmazott gyártástechnológiájának.

- Ennek megfelelően két fajta ötvözetből, kör keresztmetszetű, 26 mm átmérőjű és 46 mm magas kiinduló mintát alkalmaztunk. (3. ábra)



3. ábra. A kiinduló minta

- A kovácsoláshoz a mintákat eltérő (350 °C, 410 °C, 440 °C és 500 °C) hőmérsékletre hevítettük.
- A zömítés 23 mm hosszra történt, amely mintegy főalakváltozásnak felel meg, mértéke $\varphi = 50\%$,
- Majd az üzemi technológiának megfelelően nemesítő hőkezelés következett.
- Ezek után szabványos szakítóvizsgálattal meghatároztuk a minták szakítószilárdsági értékeit. A vizsgálatokat háromszoros ismétléssel hajtottuk végre.

A vizsgálatokhoz, próbatetek előkészítéséhez használt berendezések az alábbiak voltak.

- A darabolt anyagokat BSN gyártmányú gázfűtésű alagútkemencében hevítettük a meghatározott hőmérsékletre, a kemencén áthaladt darabok hőmérsékletét kézi hőmérővel mértük.
- Az alakító gép egy Vaccari gyártmányú 10NS típusú frikciós prés volt (4. ábra).



4. ábra. Vaccari gyártmányú 10NS típusú frikciós prés

- A kísérlethez az alkatrészgyártásban használt zömítő szerzsámot (5. ábra) használtunk, amelyet a művelet előtt 130 °C-ra előmelegítettük, a kísérlet alatt a szerzsám hőmérséklete végig 100 °C fölött volt. A szerzsám felületét minden mintadarab leütése előtt formaleválasztó emulzióval vontuk be.



5. ábra. A használt zömítőszerszám

- A próbateteket Balzer gyártmányú elektromos ellenállás-fűtésű kemencében (6. ábra) az ötvözetnek megfelelő hőmérsékletre hevítettük, majd a hőtartási idő letelte után vízben edzettük. A nemesítés adatait a 1. sz. táblázat tartalmazza.



6. ábra. Balzer kemence

- A nemesítő hőkezelés második lépése a megeresztés Schmitz gyártmányú gázfűtésű kamrás kemencében történt. Így mindkét ötvözettypust az alkatrészként való felhasználás szempontjából leginkább megfelelő DIN EN 515 szerinti T6 állapotr hoztuk. [13]

1. táblázat. A nemesítő hőkezelés adatai

edzés adatai			
ötvözet	hőtartás hőmérséklete (°C)	hőtartás ideje (min)	hűtővíz hőmérséklete (°C)
ENAW 6082	530	126	25
ENAW 2017	490	90	25
megeresztés adatai			
ENAW 6082	180	390	20
ENAW 2017	180	390	20

3.2. Szilárdsági jellemző mérése

A szilárdsági méréseket a Mezőgazdasági Gépesítési Intézet anyagvizsgáló laboratóriumában Instron 5581-es univerzális anyagvizsgáló berendezéssel hajtottuk végre (7. ábra).

- terhelhetősége egytengelyű húzásra és nyomásra: 50 kN,
- keresztfej-elmozdulás: 2 m
- keresztfej sebessége: 10^{-3} - 10^3 mm/min $\pm 1\%$,

A mérőeszközhöz három hitelesített erőmérő cella tartozott, melyek terhelhetősége 0,025-5 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva), 5-500 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva) és 500-50 000 N (pontossága 0,5% a mért értékre vonatkoztatva) határok között mozgott. A gépet számítógép vezérelte, az elektronikai mintavételi frekvencia 500 Hz, az A/D átalakító 32 bites [1].



7. ábra. Az Instron 5581-es anyagvizsgáló gép

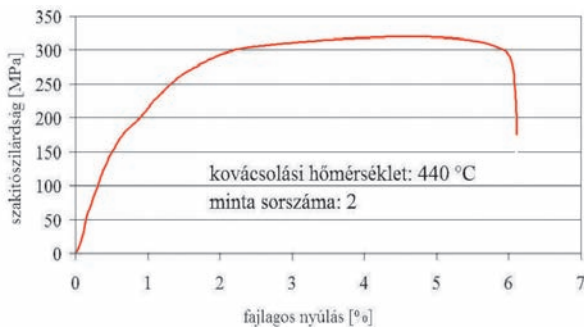
A vizsgáló berendezést a MSZ EN 10002-2-ben előírtak szerint kalibrálták. A vizsgálatokat a MSZ EN 10002-1-ben (Fémek szakítóvizsgálata szobahőmérsékleten) rögzítettek szerint hajtottuk végre [2]. A próbatetek kialakítása is a fenti szabvány szerint történt. A befogópofák a szabványban rögzített kialakításúak voltak.

A próbatetek átmérője 4 mm, a mérési hosszuk 20 mm volt. A vizsgálati sebesség a szabványban előírtaknak megfelelően volt beállítva. Az előtolási sebesség 10 mm/min volt 100 N-os terhelésig, utána pedig 3 mm/min előtolási sebességet alkalmaztunk.

Minden mérést háromszoros ismétléssel hajtottunk végre, 2. a táblázat ezen értékek átlagát tartalmazza.

5. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A következő diagramokon az alumínium ötvözetek szakítógörbéi láthatóak.



8. ábra. 440 °C-on kovácsolt EN AW 6082 alumínium szakítódiagramja



9. ábra. 440 °C-on kovácsolt EN AW 2017 alumínium szakítódiagramja

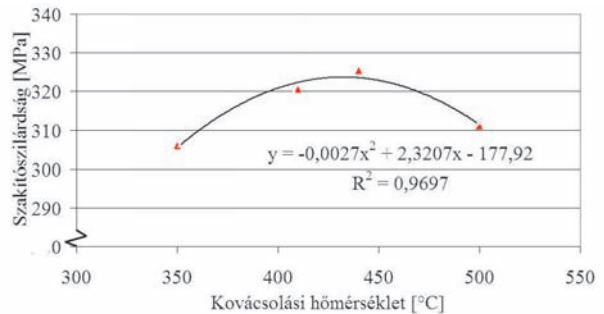
A következő ábrán az egyik elszakított próbatestet látható.



10. ábra. A próbatest szakítás után

2. táblázat. A különböző hőmérsékleten kovácsolt minták szakítószilárdsági értékei

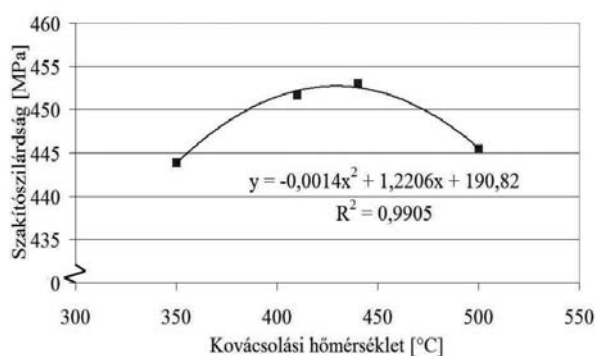
Kovácsolási hőmérséklet [°C]	Szakítószilárdság R_m [MPa]	
	EN AW 6082	EN AW 2017
350	305,87	443,92
410	320,49	451,67
440	325,36	453,08
500	310,99	445,47
Eltérés a max. értéktől [%]	6	2



11. ábra. EN AW 6082 alumínium ötvözet szakítószilárdságának alakulása a kovácsolási hőmérséklet függvényében

A 2. táblázat adataiból jól látható, hogy az EN AW 6082-es alumínium ötvözet szakítószilárdsága 305 MPa és 325 MPa között alakul a kovácsolási hőmérséklet függvényében, addig az EN AW 2017-es alumínium ötvözet szakítószilárdsága 443 MPa és 453 MPa között változik a kovácsolás hőmérséklet függvényében. A 11. és 12. ábra diagramjai ezt jól szemléltetik.

- Megállapítható, hogy a két ötvözet legnagyobb szakítószilárdsága között több mint 100 MPa eltérés mutatkozik.
- Mindkét ötvözet esetén a 440 °C kovácsolási hőmérséklet adja a legjobb szilárdsági értékeket.
- Amennyiben a maximális szakítószilárdságú munkadarabokra törekszünk, akkor célszerű a 410–440 °C hőmérséklet határok között kovácsolni.
- Megállapíthatjuk, hogy a EN AW 6082 ötvözet szakítószilárdságának a kovácsolási hőmérsékletre való érzékenysége 6%, a EN AW 2017-nek viszont csak 2%.



12. ábra. EN AW 2017 alumínium ötvözet szakítószilárdságának alakulása a kovácsolási hőmérséklet függvényében

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Alutech Kft. és Pardi János igazgató úr támogatásával végeztük.

IRODALOM

- [1] A. CSATÁR – L. FENYVESI: (2008) Effect of UV radiation and temperature on rheological features of multi-layer agricultural packaging foils. Progress in Agricultural Engineering Sciences Volume 4. p. 27. (ISSN 1786-335X)
- [2] MSZ EN ISO 10002-1: (1994) Fémek. Szakítóvizsgálata, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- [3] KODER – SZARKA – TÓTH: (1970) Alumíniumötvözetek képlékeny alakítása, Tankönyvkiadó, Budapest.
- [4] KÖVES E.: Alumínium kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984
- [5] W. WERONSKI – A. GONTARZ: (2003) Influence of deformation parameters on grain size of AlSi1Mg alloy in forging, Journal of Materials Processing Technology 138, pp 196-200.

- [6] S. SPIGARELLI – E. EVANGELISTA – H.J. MCQUEEN: (2003) Study of hot workability of a heat treated AA6082 aluminium alloy, Scripta Materialia 49, pp 179-183.
- [7] S. SHELJASKOV: (1994) Current level of development of warm forging technology Journal of Materials Processing Technology, Volume 46, Issues 1-2, October 1994, pp. 3-18.
- [8] O. JENSRUD – K. PEDERSEN: (1998) Cold forging of high strength aluminum alloys and the development of new thermomechanical processing, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 80-81, 1 August 1998, pp. 156-160
- [9] S. FUJIKAWA – H. YOSHIOKA – S. SHIMAMURA: (1992) Cold- and warm-forging applications in the automotive industry, Journal of Materials Processing Technology, Volume 35, Issues 3-4, October 1992, pp. 317-342.
- [10] VOITH M. (1998): A képlékenyalakítás elmélete, Miskolci Egyetemi Kiadó 1998.
- [11] KISS E.: (1987) Képlékeny alakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
- [12] C. D. MARIOARA – S. J. ANDERSEN – J. JANSEN – H. W. ZANDBERGEN: (2003) The influence of temperature and storage time at RT on nucleation of the β'' phase in a 6082 Al–Mg–Si alloy, Acta Materialia, Volume 51, Issue 3, 7 February 2003, pp. 789-796
- [13] J. DATTA: (1998) Aluminium-Werkstoff-Datenblätter, Aluminium Verlag, Düsseldorf, 2. Auflage, 1998.
- [14] G. MRÓWKA-NOWOTNIK – J. SIENIAWSKI: (2005) Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 162-163, 15 May 2005, pp. 367-372.

FORGÁCSOLÓ ERŐ KUTATÁSA CIRKÓNÍUM-DIOXID (ZrO₂) ESZTERGÁLÁSÁNÁL

CUTTING FORCE OF TURNING OF ZrO₂ CERAMIC MATERIALS

Fledrich Gellért*, dr. Pálincás István**, dr. Keresztes Róbert***

ABSTRACT

In place of brittle ceramics used so far have appeared up-to-date so called tough ceramic materials resisting better against mechanical effects [1]. Such material is the zirconium-dioxide, too. The important advantage of hard-turning is the applicability of universal tool. Various outlines can be formed by a tool given. Machining ceramics in case of using traditional machining (turning, milling, drilling) requires special technological conditions (tools, machine-tools, technological parameters, etc.) which are developing presently [2]. We would like extending our research work in this course, too. To clarify the machinability – turning – of ZrO₂ ceramics we developed a cutting force measurements for the applied CBN and PCD cutting tools. The forces were studied in the function of cutting speed and feed, the surfaces were analyzed by SEM and the cutting process was controlled by thermo-camera. The failure of cutting edges were also studied. The summarized results suggest the possible turning possibilities of ZrO₂ ceramics.

1. BEVEZETÉS

Az ipar fejlődésével növekszik az igény olyan szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél magasabb hőmérsékleteken, erős fizikai és kémiai igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti kerámiák éppen ebben a szegmensben juthatnak fontos szerephez. Ilyen anyag a cirkóniumdioxid is. Hosszabb távon az atomi szintről kiinduló, számítógéppel irányított anyagfelépítés és termékgyártás feltételeinek megteremtését prognosztizálják. Azonban amíg a gyártástechnológia ezt a szintet nem éri el, a kerámiák keménymegmunkálásának szerepe növekszik. A kész- és félkésztermékek gyártásának fejlődése igényli az egyre összetettebb felületek forgácsolását. A térbeli felületek gazdaságosabb meg-

munkálása a szabályos élű szerszámok további fejlesztését igényli. A cirkóniumdioxid a kisebb keménységből és egyéb tulajdonságaiból adódóan alkalmas szabályos élű szerszámmal való megmunkálásra, így egyedi gyártás vagy akár kis és közepes sorozatok esetében, gyors prototípus gyártásnál egyaránt potenciális anyaggá válhat.

2. A VIZSGÁLT ANYAGOK ÉS KIALAKÍTÁSUK

2.1. Cirkónium-dioxid kerámia próbatest

A vizsgálatokban szereplő műszaki kerámiák közös jellemzője, hogy igen magas hőmérsékleti tartományban kimagasló fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Keménységük nagy, (HV 1250 – 1800), ezért csak polikristályos gyémánt és kőbős bórnitrid szerszámokkal forgácsolhatóak. A vizsgált anyag a cirkóniumdioxid kerámia.

Az esztergálási vizsgálatoknál használt a próbatestek henger alakúak, átmérőjük 16 és 20 mm (1. ábra).

A cirkónium-dioxidot már a 19. század végén használták tűzálló anyagként. Szerkezeti anyagként 1975 óta egyre növekvően alkalmazzák. A funkcionális anyagként az oxigénnel való erős kapcsolódó képessége miatt oxigén-érzékelőként valamint oxigénion vezetőként is alkalmazzák. A mechanikai alkalmazások során a tetragonálisból monoklinba történő fázisátalakulás során létrejövő térfogatváltozást használják fel.



1. ábra. A vizsgálatokban szereplő kerámiák cirkóniumdioxid (ZN 40) [3]

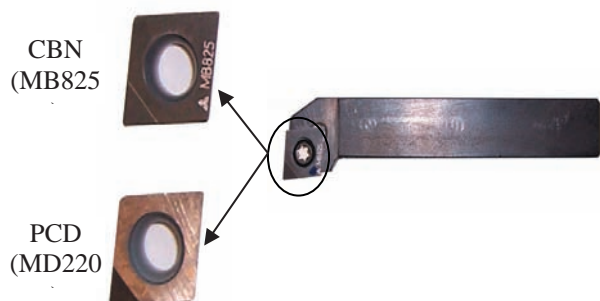
* tudományos munkatárs, PhD hallgató, SZIE, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet

** főiskolai tanár, SZIE, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet

*** egyetemi adjunktus, SZIE, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet

2.2. Forgácsoló szerszámok

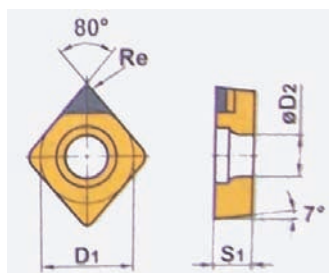
A forgácsolószerszám lapkás esztergakés 12x12-es szárral (2. ábra). Kétféle lapkát használtunk, köbös bórnitrid (CBN) és polikristályos gyémánt (PCD) lapkákat. Ezekkel az anyagokkal lehet a keményforgácsolást elvégezni.



2. ábra A vizsgálathoz használt esztergakés és lapkák gyémánt (PCD) és köbös bórnitrid (CBN)

A lapkák kialakításukból adódóan (3. ábra) a szerzámba csavarral rögzíthetők. A lapkák típusai és szabványos ISO kódja:

- Köbös bórnitrid: CCMW09 T304 MB825
 - Polikristályos gyémánt: CCMW09 T304 MD220
- $R_e = 0,4 \text{ mm}$
 $D_1 = 9,525 \text{ mm}$
 $S_1 = 3,97 \text{ mm}$
 $D_2 = 4,4 \text{ mm}$



3. ábra A forgácsolási vizsgálatokhoz használt lapka méretei és élszögei

2.3. Forgácsoló rendszer

Esztergalás során a főmozgás a munkadarab forgó mozgása, a mellékmozgások pedig az esztergakés előtoló és fogásmélység irányú mozgása (4. ábra). A munkadarab fordulatszámával állítottuk be a forgácsoló sebesség értékét.

A forgácsoló erők megállapításához célszerű az aktív erők egyidejű mérését végző rendszer kialakítása.

A vizsgálatok során mértük a fő- (F_c) és előtolás irányú (F_f) forgácsoló erő értékeket. A forgácsolási rendszerben beállított paramétereket az 1. táblázat tartalmazza. A mért főforgácsoló erő értékeiből matematikai statisztikai módszereket felhasználva meghatároztuk a forgácsoló sebességet is figyelembe vevő, empirikus

összefüggés (előtolás, fogásmélység, forgácsoló sebesség) hatványkitevőit.



4. ábra Forgácsoló mozgások

1. sz. táblázat. Mérések fő jellemzői

	Kerámia, ZrO₂
Forgácsoló sebesség, v_c [m/s]	25 / 75
Fogásmélység, a [mm]	0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,04 / 0,05
Előtolás, f [mm/fordulat]	0,01 / 0,02 / 0,03 / 0,04 / 0,05
Környezeti hőmérséklet, T [°C]	23
Vizsgálat palásthossz, s [mm]	előtolásonként 3 mm, összesen 15 mm
Szerszámanyag	PCD / CBN

2.4. Forgácsoló erő meghatározása a forgácsolási paraméterek függvényében

A vizsgálatok során a különböző forgácsolási paramétereket előzetes mérések alapján állapítottuk meg. A fogásmélységet és a fordulatonkénti előtolást 0,01 és 0,05 mm között választottuk. Ilyen vizsgálati paraméterek mellett a szerszám éle nem töredezett ki. A forgácsolási sebesség értékeire is végeztünk előzetes méréseket, azt tapasztaltuk, hogy megközelítőleg 50 m/perc körül adódott az ideális vágósebesség.

Beállított jellemzők:

- forgácsoló sebesség, v_c [m/perc],
- előtolás, f [mm/ford.],
- fogásmélység, a [mm].

A forgácsolási erőre a szakirodalmak [4] [5] [6] használnak egy elsősorban acélokra kidolgozott elméleti összefüggést, amely a következő módon alakul a beállított forgácsolási paraméterek függvényében:

$$F_c = C_v \cdot f^x \cdot a^y \cdot v_c^z \text{ [N]}$$

Az elvégzendő tervezett kísérletekkel célunk az előbbi egyenlet kerámiára történő használhatóságának eldöntése, az esetleges paraméterek meghatározása többváltozós lineáris regresszió módszereivel.

3. A KÍSÉRLETEK TERVEZÉSE, EREDMÉNYEI

A forgácsolás paramétereinek szisztematikus változtatásával meghatározható egy összefüggés a mért és a beállított paraméterek között.

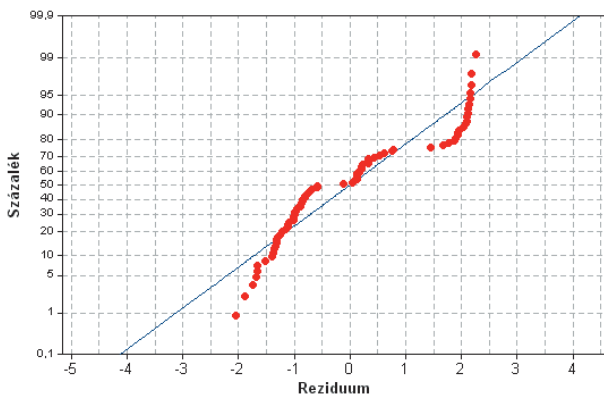
A kívánt összefüggés leírására 3 faktor beállításait kell változtatni (f , a , v_c), amely azt jelenti, ha minden faktort két szinten (beállított értéken) vizsgálunk, akkor 2^3 teljes kísérleti tervet kell végrehajtanunk. Ez összesen 8 kísérletet jelent. Figyelembe véve a kísérletek lefolytatásának menetét, minden egyes beállítási paraméternél 10 mérési eredményt veszek figyelembe a forgácsoló erő nagyságára vonatkozóan. Ez összesen $8 \times 10 = 80$ mérési eredmény feldolgozását jelenti, amelyből meghatározható az elméleti összefüggés paramétereinek becslése.

A tervezett kísérletek elvégzése előtt nagyon fontos meghatározni, hogy a beállított paraméterek milyen értékeket vegyenek fel, vagyis milyen intervallumokra vonatkozzon a becslt összefüggés a forgácsoló erőre. A beállítandó paraméterek értékei a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. Kísérlettervezés során beállított paraméterek

	f [mm/ford]	a [mm]	v_c [m/perc]
Alsó szint (-)	0,02	0,02	25
Felső szint (+)	0,04	0,04	75

Mindezen beállítások meghatározzák az eseménytérnek azt a részét, amelyen leírható az elméleti összefüggés a beállított paraméterek és a forgácsolási erő között.



4. ábra A reziduumok normális eloszlásának vizsgálata Gauss-hálón (a reziduumok F mértékében vannak ábrázolva)

Megvizsgálva a reziduumok eloszlását azt láttuk, hogy nem normális eloszlást követnek, mert a Gauss-hálón ábrázolva a pontok az egyenes körül nem véletlenszerűen helyezkednek el. Ilyen esetben a becslt függvény illeszkedése nem tekinthető megfelelőnek.

Megoldás lehet az összefüggés minden (függő és független) változójának logaritmizálása, és e logaritmizált változó közti lineáris összefüggés keresése.

A forgácsoló erőre az alábbi összefüggés jellemző:

$$F = C_v \cdot f^x \cdot a^y \cdot v_c^z [N]$$

Többváltozós lineáris regresszió alkalmazásával a fenti egyenletet linearizálni kell, amely úgy tehető meg, hogy mindkét oldal természetes alapú logaritmusát kell venni:

$$\ln F = \ln C_v + x \cdot \ln f + y \cdot \ln a + z \cdot \ln v_c$$

Vagyis a becslt linearizált függvény általános alakjaként a következő összefüggés adódik:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

A kísérletek eredményeinek kiértékelése során a cél a b_i ($i=0,1,2,3$) paraméterek meghatározása.

A Minitab14 program segítségével végeztük el az eredmények kiértékelését.

$$\hat{Y} = 6,1679 - 0,2994 \cdot x_1 + 0,1646 \cdot x_2 + 0,4397 \cdot x_3,$$

vagyis

$$\ln F = 6,1679 - 0,2994 \cdot \ln v_c + 0,1646 \cdot \ln f + 0,4397 \cdot \ln a$$

$$F = e^{6,1679} \cdot f^{0,1646} \cdot a^{0,4397} \cdot v_c^{-0,2994} = 477,183 \cdot f^{0,1646} \cdot a^{0,4397} \cdot v_c^{-0,2994}$$

Az illeszkedés jósága vizsgálható az R^2 értékkel (R -sq; R -sq (adj)), amelyből látható, hogy a becslt függvény jól illeszkedik a mérési adatokra

$$(R^2 > 0,95).$$

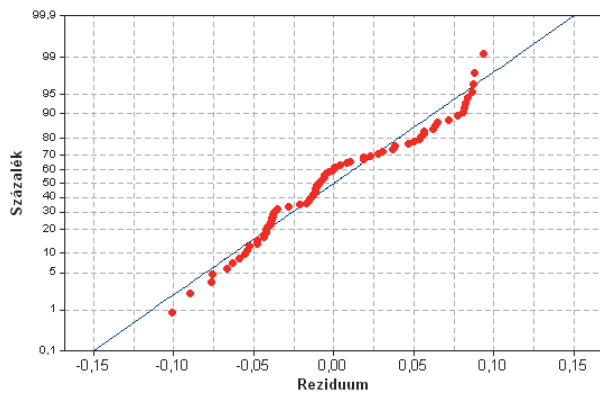
A reziduumok a mért és az illesztett függvény értékeinek különbségeiből adódnak:

$$\text{Reziduum} = y_{\text{mért}} - \hat{Y}$$

A függvény illeszkedésének vizsgálatakor fontos megvizsgálni, hogy a reziduumok véletlen eloszlásúak-e és mekkora mértékűek. Ha az illeszkedés megfelelő, akkor a reziduumok normális eloszlást követnek. Ennek ellenőrzését vizsgálhatjuk az ún. Gauss-hálónál, amelyen ha az ábrázolt adatok véletlenszerűek, azaz normális eloszlást követnek, akkor a pontok egy egyenes mentén helyezkednek el. Ez a vizsgálat látható a 5. ábrán, ahol a reziduumok normális eloszlást követnek, azaz becslt és a mért értékek eltérései nem haladják meg a 0,1 értéket, azaz:

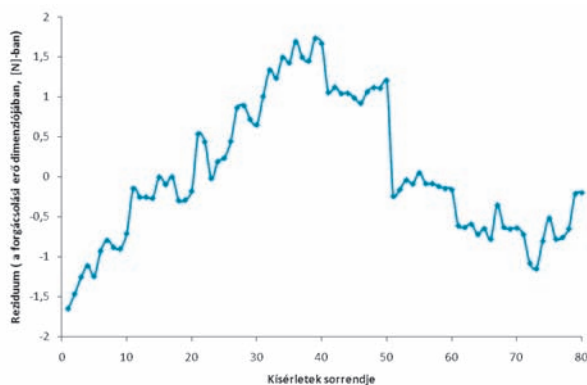
$$|\ln F_{\text{mért}} - \ln F_{\text{becslt}}| < 0,1$$

Fontos a mért és a számított értékek eltéréseinek meghatározása az eredetileg feltételezett, nem logaritmizált összefüggésekkel is.



5. ábra A reziduuumok normális eloszlásának vizsgálata Gauss-hálón (a reziduuumok $\ln F$ mértékében vannak ábrázolva)

Ábrázolva ezen eltéréseket a forgácsolási erő dimenziójában – esetünkben N-ban – kapjuk meg az értékeket a kísérletek sorrendjében. (6. ábra)



6. ábra. A reziduuumok alakulása a kísérletek sorrendjében (a forgácsolási erő dimenziójában, N-ban)

Látható, hogy a becsült összefüggéssel maximálisan 2N mértékig lehet megközelíteni a mérési eredményeket.

$$F = 477,183 \cdot \alpha^x \cdot \nu_c^{-0,2994}$$

Az egyenlet használhatóságára vonatkozóan fontos megjegyezni, hogy ez az összefüggés a meghatározott paraméter-intervallumokon belül írja le a mérési eredmények alakulását. Az illesztett függvény adott paraméter-térben való illeszkedésének ellenőrzésére szokás ismételt kísérleteket végezni a paraméterek vizsgált intervallumainak közepén. Ezen ismételt kísérletekkel azt lehet meghatározni, hogy valójában az illesztett sík a paraméterter közepén is jól leírja a mérési eredményeket, vagy nem síknak kell feltételezni az illesztett függvényt, hanem görbült felületnek.

Ha a sík adekvát, azaz a terv középpontjában kapott mérési eredmények jól illeszkednek a terv centrumában levő értékekkel, akkor egymintás t-próba szerint a mért értékek átlagának és a becsült értékek átlagának eltérése zérusnak adódik.

Az alábbi ablak mutatja a centrumpontbeli mérések átlagaira vonatkozó t-próba eredményéből, hogy 95%-os szignifikancia-szinten a kísérletterv centrumában végzett mérések eredményei nem különböznek a becsült síkkal leírt eredménytől (mivel $p > 0,05$).

Az ellenőrzések azt mutatták, hogy a középponti mérések átlagai jól közelítik a lineáris összefüggést, vagyis a megbecsült összefüggés jól leírja mind a sarokpontokban (a kísérletterv során felvett szélső értékeknél), mind pedig a centrumpontbeli mérések eredményeit is, így az összefüggés adekvátnak tekinthető az egész eseménytérben belül.

3. táblázat. A centrumpontbeli mérések átlagértékei

Estimated Effects and Coefficients for $\ln F[N]$ (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2,8851	0,004921	586,26	0,000
$\ln \nu_c$	-0,3290	-0,1645	0,004921	-33,42	0,000
$\ln f$	0,1141	0,0570	0,004921	11,59	0,000
$\ln a$	0,3047	0,1524	0,004921	30,96	0,000
$Ct Pt$		-0,0166	0,009584	-1,73	0,086

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiek szerint matematikai statisztikai módszerekkel igazoltuk, hogy a szakirodalomban megtalálható

$$F_c = C \cdot \nu_c^x \cdot \alpha^y \cdot a^z \cdot \omega_c^z [N]$$

főforgácsolóerő összefüggés a vizsgált paraméterterben kiterjeszhető ZrO₂-MgO kerámia PCD szerszámmal (a definiált élgeometriával) történő esztergálására. Méréseinkkel meghatároztuk a kitevők értékét ($C = 477,183$ $x = 0,1646$ $y = 0,4397$ $z = -0,2994$), továbbá igazoltuk, hogy a vizsgált paraméter-intervallumon belül ($f = 0,01 - 0,05$ mm/ford; $a = 0,01 - 0,05$ mm; $\nu_c = 25 - 75$ m/perc) az összefüggés 95%-os valószínűségi szinten alkalmazható.

5. IRODALOM

- [1] SZÉPVÖLGYI J. (1994): Korszerű műszaki kerámiák, *Magyar Tudomány*, 4. sz. 7- 13 old.
- [2] A. H. Fritz, G. Schulze (Hrsg.) (2007): Fertigungstechnik. 8. Aufl *Springer Verlag, Berlin* 279. o.
- [3] CeramTec AG (2008): Innovative Ceramic Engineering Medical Products Division: Broschüre
- [4] HORVÁTH M., MARKOS S. (1995): Gépgyártástechnológia, egyetemi jegyzet, Műegyetemi Kiadó
- [5] KÖNIG, W., u. F. KLOCKE (1997): Fertigungsverfahren. Bd. 1: Drehen, Fräsen, Bohren. 5. Aufl. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg*.
- [6] DUDÁS I. (2000): Gépgyártástechnológia I. egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó.

SÍK- ÉS VÁKUUMCSÖVES KOLLEKTOROK HASZNOS FELÜLETÉNEK GEOMETRIAI MODELLJE

GEOMETRY MODEL OF ACTIVE SURFACE OF FLAT PLATE AND VACUUM TUBE COLLECTORS

Kocsány Ivett*, Dr. Seres István**

ABSTRACT

As the behavior of the solar collectors is depending on a lot of factors, among them on the spectral distribution of the solar radiation, spectral measurements were started. Based on the measurements an analysis was carried out to determine the rate of the red and infrared radiation (the most important part of the spectra for the collectors) in the incoming power. The paper introduces the result of the measurements and the analysis. The comparison of the operation of a flat plate collector (installed about ten years before) and a vacuum tube collector (installed in 2009) in the Department of Physics and Process Control Szent István University has numerous interesting questions connected to my PhD work. The results show different operation of the different technologies under different meteorological (different radiation and environmental temperature) circumstances. In case of low radiation – which is usually accompanied with lower temperature - the vacuum tube collector has better energy production.

1. BEVEZETÉS

A Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén hosszú ideje tanulmányozott sík-kollektor (tizennyéve került beépítésre), valamint a 2009 évben üzembe helyezett vákuumcsöves kollektor működésének összehasonlítása számos kérdést vet fel. Többen foglalkoztak ezzel a témával, csak úgymint például E. Zambolin és társa [1], illetőleg W. Eisenmann és társai [2] stb.

A kollektorok beállítási paraméterei a magyarországi napsugárzási viszonyoknak megfelelően 45° dőlésszöget zárnak be a vízszintessel (természetesen ez a szög állítható), továbbá az eszközök déli tájolásúak.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a különböző napszakokban, illetve fényviszonyok esetén az energiahasznosítás mértéke eltérő a különböző technológiák szerint. Az alacsony sugárzási szint mellett a vákuum-

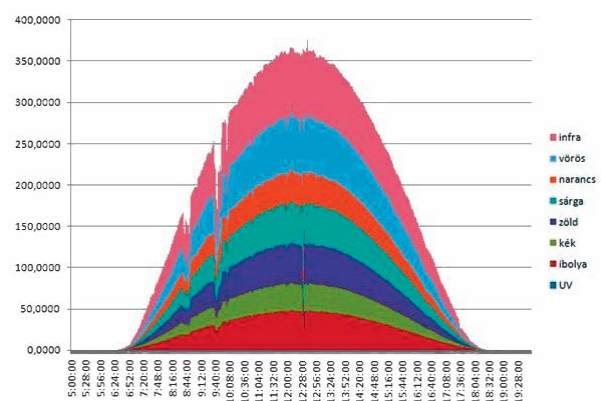
csöves kollektornak jobb a hatásfoka, mint a sík-kollektoros társának.

2. A KOLLEKTOROK HASZNOS FELÜLETÉNEK GEOMETRIAI MODELLEZÉSE

2.1. Geometriai különbségek

A geometriai különbségekből adódóan, azonos intenzitású sugárzási értéknél és azonos beesési szög alatt (a felületre érkező sugárzás és a felület normál vektora által bezárt szöget jelenti) a két kollektor különböző teljesítményt, hasznos felület nagyságot mutat és a visszaverődő sugárzás mértéke sem egyenlő.

Az eredmények típusonként számos esetben eltérnek, melynek oka többek között a kivitelezésükből (hasznos felület méretei és geometriája), a hővesztéseikből és az elnyelő felületek érzékenységeiből adódik. Az abszorber felület kialakítása a vákuumcsöves kollektor esetében és a sík-kollektor esetében is változhat, ami azt jelenti, hogy a nap spektrumának különböző részeit jobban hasznosítják. Közismerten a lemenő és a felkelő nap spektrumában az infravörös és az ultraibolya sugárzás mértéke különböző a napközbeni értéktől az eltérő vastagságú levegőrétegen való áthaladás (illetve a levegő szóró hatása) miatt (1. ábra).



1. ábra. Nap spektruma napsütéses időben

Ezzel a témával részletesen is foglalkozunk a Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén

*PhD hallgató, Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

**egyetemi docens, Szent István Egyetem, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

[3], aminek gondozásában a kollégium tetején telepített fotovillamos rendszerrel kapcsolatban folytatottunk számos mérést. Egy közös projekt keretén belül Gödöllőn is végeztünk spektrális méréseket a Bécsi Agrártudományi Egyetem Meteorológiai Intézet eszközeivel különböző meteorológiai körülmények között.

A mért eredmények alapján elemzést készítettünk arra vonatkozóan, hogy a kollektorok energiatermelése szempontjából melyik a hasznos sugárzási tartomány. A kutatáshoz kapcsolódó mérési eredményeket számítógépes adatgyűjtést követően egy adatrögzítő számítógépén tároljuk. A legfontosabb paraméterek a

Sík-kollektor esetében a sugárzás mértéke:

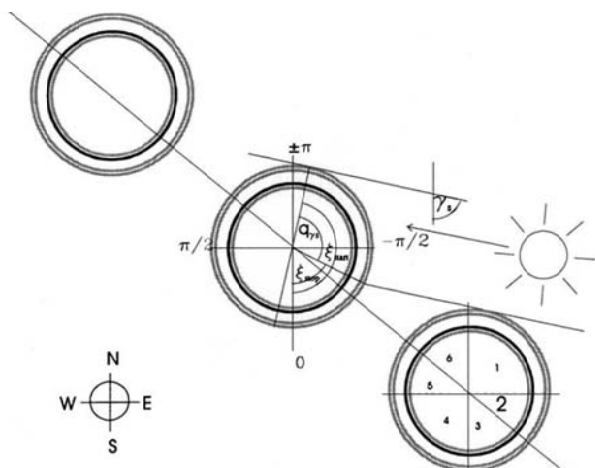
$$Q_p = \int_{-\pi/2}^{\beta_1} G_b R_b \tau_b (\alpha_b + \rho \rho_d F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d) \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_s G_d \tau_d (\alpha_d + \rho_d^2 F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d) \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_g G_T \tau_d \rho_d F_{tr \rightarrow bl} \alpha_d \frac{r}{\rho_{bl}} d\beta$$

Vákuumsöves kollektor esetében pedig:

$$Q_c = \int_{-\pi/2}^{\beta_1} G_b R_b \alpha_{tr} (1 + \tau_b \rho_d) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_s G_d \alpha_{d,tr} (1 + \tau_d F_{tr \rightarrow bl} \rho_d + \rho_d F_{tr \rightarrow tr}) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta + \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_g G_T f_g \alpha_{d,tr} (1 + \tau_d) \frac{r}{\rho_{tr}} d\beta$$

Azonban a vákuumsöves kollektoroknál figyelembe kell venni az egyes csövek egymásra vetett árnyékát, hogy mennyiben befolyásolja az összteljesítményt.

Erre vonatkozóan L.J. Shah és társa [5] által publikált cikkből kaphatunk információt (2. ábra).



2. ábra. A Nap azimut szögének (γ_s) és a beérkező sugárzásnak kapcsolata (Forrás: L.J. Shah, et al, 2004)

Korábban Lart [6] fejlesztett ki egy hasonló modellt, a Cardiff Egyetemen, aki a Gépészmérnöki Kar egyik

be- illetve kimenő szolár folyadék hőmérséklete és tárfogatárama az egyes típusok esetében, a sugárzás intenzitása és a külső hőmérséklet.

2.2. Modellek

Számos matematikai, analitikai és geometriai modell készült már különböző célokkal, úgymint a kollektor tájolásának és optimális dőlésszögének meghatározása, illetve a beérkező sugárzás becslése, melyet többek között H. P. Grag társaival [4] készített mind sík-és mind vákuumsöves kollektorra egyaránt. Az alábbi összefüggéseket publikálták 1998-ban.

doktorandusza. Egy olyan geometriai módszert dolgozott ki, amellyel meghatározható a vákuumsöves kollektorok árnyékolt felületének mérete és az elhelyezkedése is.

Ezt a fejlesztést használták fel arra, hogy a keresztirányból érkező sugárzás által keletkezett árnyékolást is figyelembe véve egy effektív abszorber felülettel határozzák meg a kollektor teljesítményét. A geometriai modellem kalkulációja során számításba vettem a fent említetteket.

2.3. Geometriai modell

A különböző típusú kollektorok hasznos felület meghatározásához egy geometriai modellre van szükség, melyet ez alkalommal szeretnék ismertetni. A mért adatok alapján a visszaverődő sugárzás jelentősen függ a beérkező sugárzás szögétől. A visszaverődés mértéke leginkább akkor elhanyagolhatóan kicsi, ha a napsugárzás és a felület normál vektora által bezárt szög kicsi. Az össz sugárzás, mely a Föld felszínét eléri a globális sugárzás, valamint a szórt és visszaverődő sugárzás összegéből adódik, ennek értéke Magyarországon kb. 1000-900 W/m².

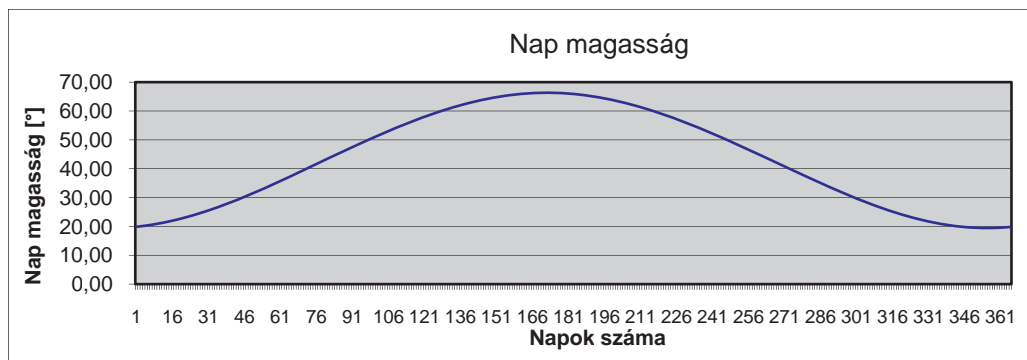
A hosszú hullámú sugárzás számos felületen elnyelődhet, mint például egy kollektoron, vagy akár a légkör

felsőhatárán. (A napfény intenzitásának mértéke csökken minden olyan esetben, ha elnyelődik, vagy visszaverődik, emiatt a légkör felsőhatárán az intenzitás 1365 W/m^2 , mely az úgynevezett napállandó értéke.)

A deklinációs szög (Nap szöghelyzete a szoláris déln, vagyis amikor a Nap a helyi délkörön van, az egyenlítő síkjához viszonyítva) függvényében megállá-

píthatjuk, hogy adott időpontban és helyen (szélességi és hosszúsági fok tekintetében) a Nap milyen szögben látszik a horizonthoz viszonyítva.

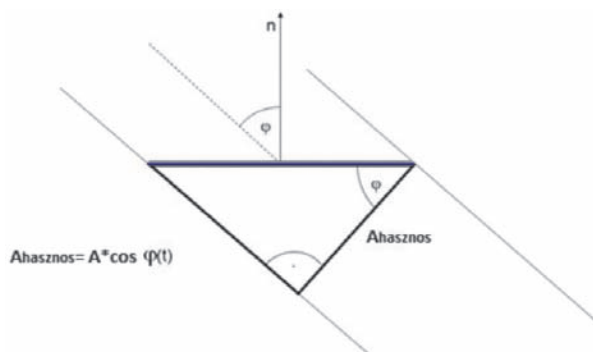
Ennek tekintetében Magyarországon a napmagassága egész évben az alábbi grafikonon látható (3. ábra).



3. ábra. Nap magassága Magyarországon, egész évre vonatkoztatva

2.3.1. Sík kollektor geometriai modellje

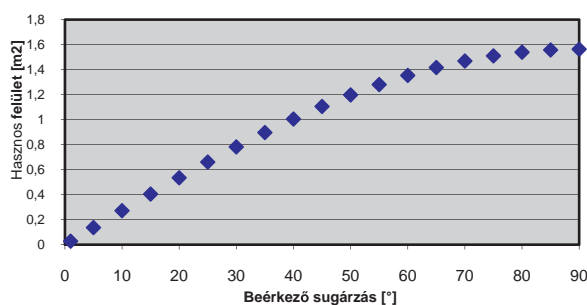
A kollektor felület normálisának és a beérkező sugárzás szögének (φ) ismeretében meghatározhatjuk egy sík-kollektor hasznos felületét, ami a kollektor felületnek a sugárzási irányra merőleges vetülete. Ezt a φ szög koszinuszának és a kollektor felületnek a szorzataként kapjuk meg (4. ábra).



4. ábra. Sík-kollektor hasznos felületének meghatározása a nap bármely szakában

Ahol, $A_{hasznos}$ a hasznos felületet, A pedig a kollektor teljes abszorber felületét jelzi. A fentiek szerint a következő diagramon látható, a sík-kollektor hasznos felülete a beeső sugárzásnak a felület normálisával bezárt szögének függvényeként (5. ábra).

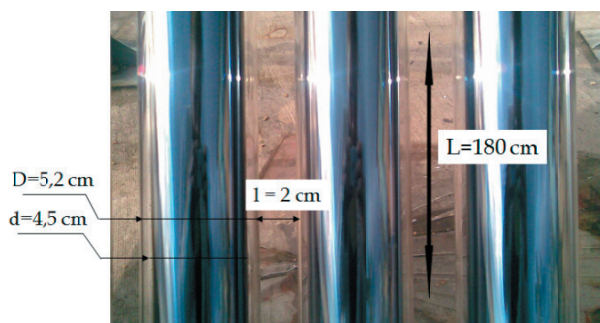
Sík-kollektor hasznos felülete



5. ábra. Sík-kollektor hasznos felülete

2.3.2. Vákuumsöves kollektor geometriai modellje

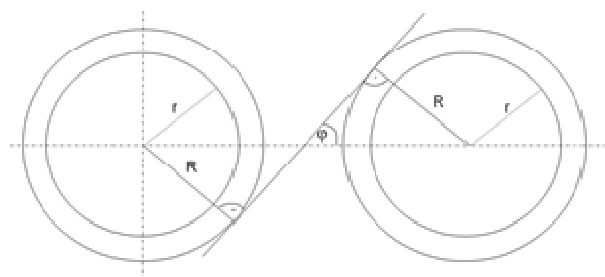
A vákuumső belsejében egy másik ső helyezkedik el, a két ső között fél centiméteres rés van. Ez utóbbi ső speciális bevonata abszorberként funkcionál. A különböző szögekből érkező sugárzás esetén a párhuzamosan elhelyezett csövek részben fedik egymást. A csövek árnyékolása csak bizonyos beérkező sugárzási irányok esetén lép fel, hiszen például amikor a sugárzás a felületre merőlegesen érkezik, a csövek nem fedik egymást.



6. ábra. A vákuumsöves kollektor paraméterei

A fenti képen láthatóak a vákuumsöves kollektor adatai, illetve a csövek szerkezete.

Az árnyékolás kezdetének és befejezésének meghatározása céljából fontos volt először azt a határszöget (φ_h) megtalálni, mely esetén a csövek még éppen nem árnyékolják egymást (7. ábra).



7. ábra. Vákuumsövek keresztmetszete

A fenti ábra szerint a határszöget könnyedén meghatározhatjuk, az alábbi összefüggéssel,

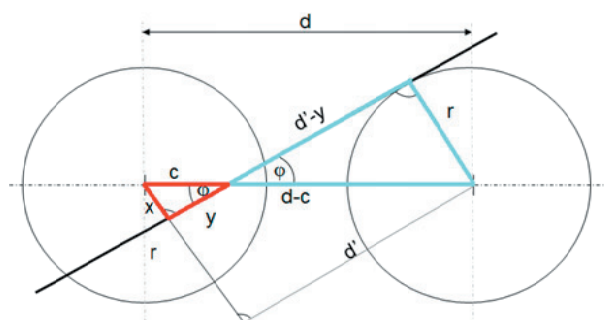
$$\varphi_h = \text{Arc sin} \left(\frac{d_{\text{belső}}}{D_{\text{távolság}}} \right)$$

ahol $d_{\text{belső}}$ a belső cső átmérője, $D_{\text{távolság}}$ pedig a két cső tengelye közötti távolságot jelenti. A fenti kalkuláció segítségével definiálhatjuk azt a szöveget, mely esetében az árnyékolódás megkezdődik.

$$\varphi > \varphi_h$$

Tehát amennyiben a határszögnél nagyobb szöveget zár be a beeső sugárzás kollektor normálisával, a kollektor hasznos felülete kisebb lesz, mint abban az esetben, mikor az összes csövet egyenlő mértékben éri el a sugárzás.

A fedés mértékének értelmezéséhez egy újabb számítást kellett végre hajtani, az alábbi 8. ábra alapján.



8. ábra. Árnyékolás

Az ábra alapján az alábbi egyenletrendszer írható fel:

$$(1) \cos(\varphi) = \frac{d'}{D'}$$

$$(2) \text{tg}(\varphi) = \frac{r}{d' \cdot y}$$

$$(3) \text{tg}(\varphi) = \frac{x}{y}$$

Ahol d a vákuumsövek középpontjának távolsága, φ a sugárzásnak a felület síkjával bezárt szöge.

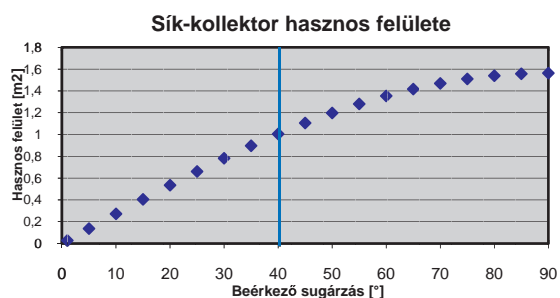
Az egyenletrendszer megoldásával a letakart területet kaptuk meg. A képen jól látható, hogy a pirossal jelölt kis háromszög x oldalát és a cső sugarát összegezve az adott szögben érkező besugárzás által fellépő árnyék mértéke egy csőre nézve az alábbi képlet alapján állapítható meg:

$$A_{\text{árnyék}} = (d_i - (r + x)) \cdot L$$

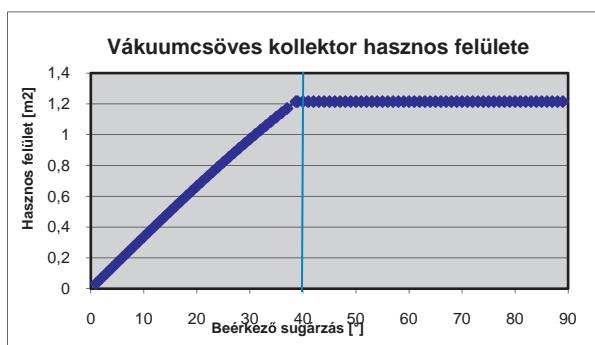
Így a hasznos felület:

$$A_h = (2r + (n - 1) \cdot (r + x)) \cdot L$$

Számításaim szerint a vákuumsöves kollektor aktív felülete az alábbi grafikon szerint alakul (9/b. ábra). A két kollektor típus összehasonlítása a grafikonokon egyértelműen látszik, hogy eltérő a működésük. Az eredmény azt mutatja, hogy ugyanannál a beérkező sugárzásnál a vákuumsöves kollektor már eléri a hasznos felületének teljes nagyságát, ellentétben a sík-kollektorral, amely ennél a szögnél még növekvő tendenciát mutat.



9/a. ábra. Sík-kollektor hasznos felülete különböző besugárzási szögek esetén



9/b. ábra. Vákuumsöves kollektor hasznos felülete különböző beesési szögek esetén

3. KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyik fontos tényező a napenergia hasznosító eszközök teljesítmény növelésében, a visszaverődő sugárzás mértékének csökkentése, melyre a különböző kivitelezésű kollektor adhat megoldást. A mért eredmények alapján egy geometriai modell került kifejlesztésre, mely meghatározza a sík-és vákuumsöves kollektorok esetében egyaránt a hasznos felület nagyságát különböző szögekben.

Arra a következtetésre jutottam a fenti grafikonok alapján, hogy a két kollektor típus ugyanazon szög alatt érkező sugárzásnál eltérő aktív felülettel dolgozik, ebből következően a teljesítményük is eltérő.

4. TOVÁBBI CÉLOK

A kutatási munkám következő célja elemezni és meghatározni a beérkező sugárzás reflektált összetevőjét különböző beesési szögek esetén. Ennek és a hasznos felületnek az ismeretében már a kollektorba bejutó teljesítmény meghatározható.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen kutatás az OTKA K84150 projekt támogatásával keretében készült.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] E. ZAMBOLIN, D. DEL COL: Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, *Solar Energy*, 84, 1382–1396, 2010
- [2] W. EISENMANN, K. VAJEN, H. ACKERMANN: On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors, *Solar Energy*, 76, 381–387, 2004
- [3] SERES I., FARKAS I., KOCSÁNY I., WEIHS P.: Comparison of PV modules under different spectral conditions, *Mechanical Engineering Letters*, Vol.3., pp. 81-89, Gödöllő, 2009
- [4] H. P. GARG, R. KUMAR: Studies on semi-cylindrical solar tunnel dryers: estimation of solar irradiance, *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, pp. 393-400, 1998
- [5] L.J. SHAH, S. FURBO: Vertical evacuated tubular collectors utilizing solar radiation from all directions, *Applied Energy*, 78, 371–395, 2004
- [6] LART S.: Development of a thermal performance test for an Integrated Collector-Storage Solar Water-Heating System, pp. 90–100, PhD thesis, Division of Mechanical Engineering and Energy Studies, University of Wales Cardiff, 2000

KISREPÜLŐGÉP KARBANTARTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE, FUTÓSZÁR REKONSTRUKCIÓ

DEVELOPING SMALL-AIRCRAFT MAINTENANCE AND RECONSTRUCTION OF LANDING-GEAR LEG SUPPORT

Lefánti Rajmund*, Dr. Kalácska Gábor**

ABSTRACT

The programs of air-operation and service in the aviation engineering - within this at light- aircraft too - take place according to rigorous regulations. Its reason is to increase the safety of aviation and the aircraft reliability. For the sake of these such operating and service programs have been worked out by both the manufacturer and the aviation authority, and nevertheless the maintenance personnel of airworthiness that those programs to be suitable for the technical requirements and regulations alike. There are such machine units and parts which regulation are incomplete, for instance such is the landing-gear leg.

This paper written from our research work reviews briefly the problem and analyses of the landing-gear leg and its development.

1. BEVEZETÉS

A repüléstechnikában - ezen belül is a kisrepülőgépekénél - a légiüzemeltetési és a karbantartási programok szigorú szabályozás szerint zajlanak [1, 2, 3]. Ennek elérése érdekében olyan üzemeltetési és karbantartási programokat dolgoznak ki mind a gyártó, mind a légiügyi hatóság, mind pedig a légialkalmasság fenntartó, hogy azok megfeleljenek a műszaki céloknak és a szabályozásnak egyaránt. Léteznek olyan részegységek, gépelemek, amelyek szabályozása még hiányos, ilyen pl. a futószár-ágyazás. A kutatási munkából készült cikk a futószár problémáját, elemzését és annak fejlesztését ismerteti röviden.

2. ISMÉTLŐDŐ MEGHIBÁSODÁS

Gyakorlati problémaként merült fel egy 1970-es években gyártott Cessna 172-es típusnál, hogy a futószár bekötésnél elhelyezkedő szilentblokk (rugalmas hossz-ágyazású megtámasztás) ismételten, többször meghibásodott.

Meghibásodásra utaló jelek a beépítés helyén is meg-

figyelhetők voltak. Az ismétlődő terhelés hatására a szilentblokk külső acélperselye és a futószár közül a műanyag szinte kimorzsolódott. A jellegzetesen ismétlődő meghibásodás arra enged következtetni, hogy a repülőgép egyik gyengepontjáról lehet szó.

Ezt a repülőgépet gyakran alkalmazzák tanulók oktatására, ami általában füves burkolatú pályán történik (a le- és felszállások, illetve a füves pálya minősége nem minden esetben ideális). Az említett tényezők nagyban hozzájárulnak az szilentblokk tönkremeneteléhez.

Tönkremenetel esetén a futószár és a támasztás között fémes érintkezés is létrejöhet (amennyiben a rugalmas elem teljesen tönkre megy). Ebben az esetben a futószáron bekövetkező sérülés (például karcolás, kiverődés) mélysége legfeljebb 0,254 mm lehet. Ha ez bekövetkezik, akkor a futószárat cserélni kell.

Az említett állapot repülésbiztonsági szempontból igen veszélyes, mivel a rugalmas csillapításra és a futószár megtámasztására szolgáló szilentblokk nem látja el a feladatát, így a csillapítás és a megtámasztás mértéke nem megfelelő. Előfordulhat olyan eset, hogy a meghibásodást nem ismerik fel időben, így megnő a futómű és a sárkánytest bizonyos részeinél az anyagban a feszültség, mivel megváltozik az üzemi igénybevétel hatása. Ez az állapot rendkívül balesetveszélyes.

A Cessna 172-es típusnál a PUR ágyazás tönkremenetele jelenti a rekonstrukcióval javítandó gyengepontot.

3. KARBANTARTÁSI UTASÍTÁS ÉS ANNAK HIÁNYA, CÉLKITŰZÉSEK

A futószárra vonatkozóan a Cessna 150-es családnál 1000 óránként vagy 3 évente, a 172-es családnál 1000 óránként kell ellenőrizni a külső támaszt, de csak laprugós kivitelnél. Cső keresztmetszetű futószár esetén a rugalmas megtámasztásra (ágyazásra) vonatkozó karbantartásról a gyártó semmilyen utasításban **nem** rendelkezik [5].

A meghibásodásra hajlamos futószár-ágyazás repülésbiztonsági oldalról kockázatot jelent. Joggal vetődik fel a kérdés, hogy helyettesíthető-e a gyengepont új, korszerű anyagokat tartalmazó megoldással, ahol az üzemi igénybevétel nem eredményez visszatérő meghibásodást.

*egyetemi tanársegéd, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

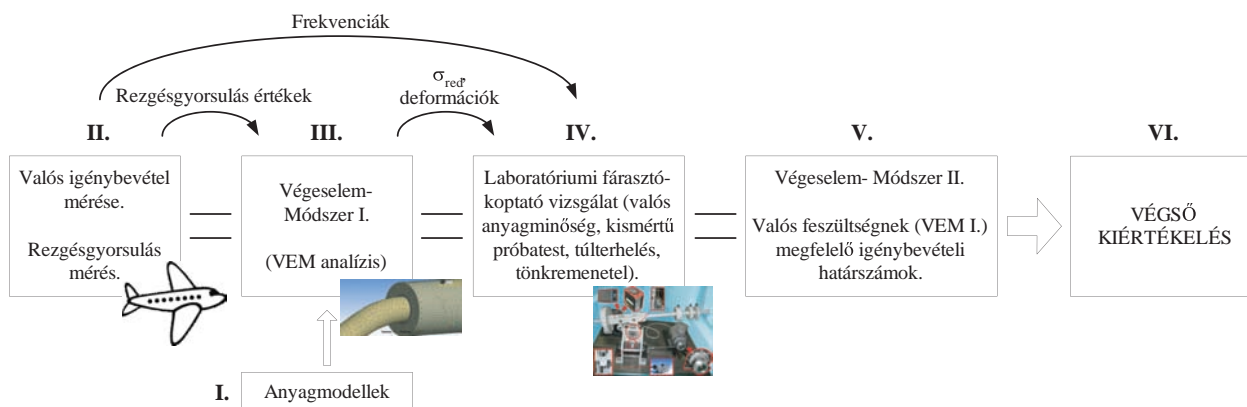
** egyetemi tanár, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

Célkitűzések:

- Javaslatot tenni az eredeti PUR rugalmas ágyazás anyagának kiváltását szolgáló más műanyagra vagy műanyag párosításra.
- További cél, hogy meghatározásra kerüljön az a jellemző igénybevétel és határértékét, amely alapján szükségszerűen javasolt az adott gépelem vizsgálata, függetlenül attól, hogy éppen hol tart a repülőgép karbantartási periódusa. A meghatározott érték elérésekor javasolt a gépelem felülvizsgálata, esetleges cseréje. Ezzel a jellemző paraméterrel a hiányos karbantartási utasítás kiegészíthető.

Tekintettel arra, hogy a PUM 70A típusú alapanyag jellegzetes meghibásodása a kifáradás és a kopás, ezért helyettesítő anyagként közel hasonló rugalmassági, de jobb kifáradási és tribológiai tulajdonságokkal bíró PUM 60A és a PUA 90A alapanyag került kiválasztásra.

Ahhoz, hogy a további vizsgálatok elvégezhetőek legyenek, meg kell határozni a vizsgált anyagok mechanikai, szilárdsági jellemzőit. Ezért az alapanyagokon keménységi, szakító- és nyomóvizsgálatok kerültek végrehajtásra. A vizsgálatok eredményei és kiértékelése adta a VEM analízis bemeneti paramétereit.



1. ábra Komplex vizsgálat, értékelési rendszer

4. A FUTÓSZÁR ÁGYAZÁSÁNAK REKONSTRUKCIÓS VIZSGÁLATA

A tönkrement gépelem komplex vizsgálatának, illetve a kiértékelésnek a folyamata a 1. ábrán kerül bemutatásra. Az ábrán jelöltük a főbb vizsgálati pontokat. Ezek:

- Anyagmodellek meghatározása;
- Valós körülmények közötti igénybevétel mérése;
- Mechanikai végeselem analízis készítése;
- Laboratóriumi körülmények közötti gyorsított fárasztó-koptató vizsgálatok végrehajtása;
- Mechanikai végeselem analízis készítése az igénybevételi határszámok meghatározására;
- Eredmények kiértékelése.

4.1. Eredeti és a vizsgálni kívánt alapanyagok meghatározása

A többszörös meghibásodást eredményező rugalmas ágyazás anyaga mechanikai tulajdonságaiban megegyezik (poliuretán anyagok gyártásával és forgalmazásával foglalkozó cég vizsgálata szerint) a jelenleg PUM 70A jelzés alatt forgalmazott öntött poliuretán alapanyaggal.

4.2. Valós igénybevétel mérésére alkalmas rendszer

A repülőgépet, futószárat és ebből adódóan a szilentblokkot ért terhelések mérése igen összetett feladat. Egy szerkezetben a feszültségek, elmozdulások mérésére, illetve meghatározására több eljárás terjedt el a gyakorlatban [6, 8].

Az adott gépelemet ért igénybevételek meghatározására gyorsulás/rezgésgyorsulás mérésére alkalmas mérőrendszert fejlesztettünk, készítettünk (2. ábra). A mérés végrehajtásának helyszínén a repülőtéren betonburkolatú és fűves burkolatú pályák találhatóak. Mind a kétfajta burkolatú pályán öt-öt darab le- és felszállás került végrehajtásra. A repülés a légügyi hatóság által megkövetelt szabályok szerint, és a kisrepülőgép üzemeltetési utasításában foglaltak szerint zajlott le.

4.2.1. Gyorsulási eredmények kiértékelése

A sárkánytestben és a futószárakon mért gyorsulási értékek közül a sárkánytestben mért eredmények kerültek a továbbiakban vizsgálatra és felhasználásra a mechanikai modellezéshez.



2. ábra Kisrepülőgépben ébredő gyorsulások mérésére alkalmas mérőrendszer vázlata

Ennek oka, hogy a későbbi mechanikai modell elkészítésénél a futószár és a szilentblokk közötti kapcsolat nem merev, hiszen a futószárnak van egy rugalmassága/csillapítása, amivel bővíteni kellene az elkészítendő modellt. Ez megnehezítené a modell elkészítését, mivel nem ismert a futószár rugalmassága/csillapítása. Ezért eltekintettünk a futószáron mért eredményektől. Továbbá a sárkánytest és a szilentblokk külső perselye közötti kapcsolat merev és a kabinban elhelyezett érzékelő is olyan helyen került rögzítésre (hátsó ülés váza), amely kellően merev kapcsolattal rendelkezik a sárkánytesttel, így ez az érzékelő is megfelelő eredményeket fog szolgáltatni a további vizsgálatokhoz.

A mérési irányok közül a függőleges „z” iránynál egyértelműen el lehet különíteni a repülésre jellemző különböző állapotokat.

A 3. ábrán látható az a hat szakasz, amelyek a mérés, repülés során elkülöníthetők.

Az egyes szakaszok megnevezése:

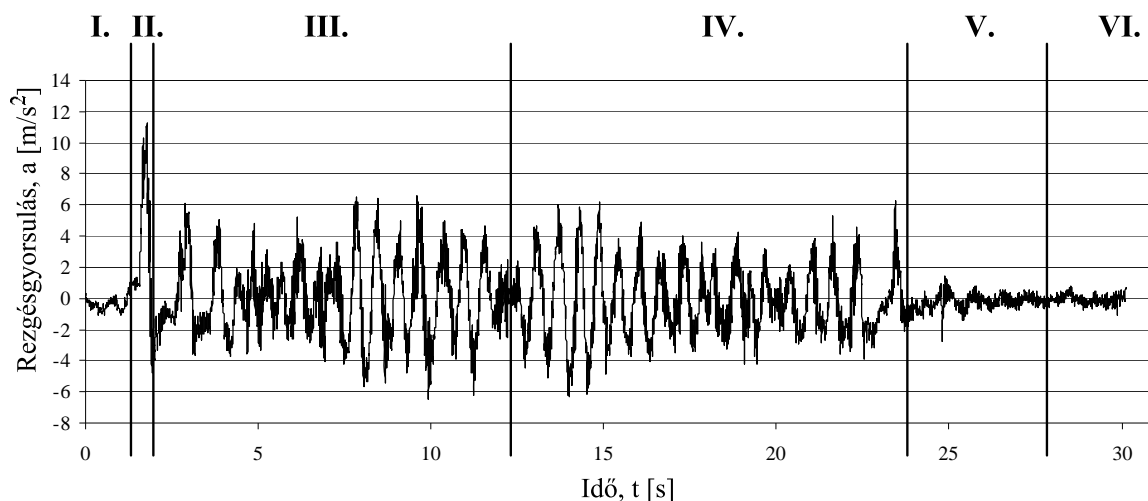
- I. Leszállás folyamata, levegőben;
- II. Földetérés pillanata;

- III. Pályán történő lassulva gurulás szakasza;
- IV. Pályán történő gyorsítva gurulás szakasza;
- V. Kifutópálya elhagyás pillanat utáni szakasz;
- VI. Felszállás folyamata, levegőben.

A szakaszok vizsgálata ezek után külön-külön történt. A szakaszok vizsgálatára Fourier transzformációt (FFT) alkalmaztunk. Az FFT eredményeképpen a rezgés gyorsulás-idő függvényekből rezgés gyorsulás-frekvencia értékeket kaptunk [9]. Ez biztosította számunkra azt, hogy meghatározhattuk a jellemző gyorsulási értékekhez tartozó igénybevétel ismétlési számot (frekvencia).

Az eredmények ismeretében megállapíthatóvá vált az, hogy a szilentblokk tönkremenetele akkor következik be hamarabb, ha minél magasabb ismétlési számmal párosul a terhelés.

Ennek tudatában a szilentblokkra nézve kritikus szakaszok a földön történő lassulva/gyorsulva gurulás szakasza (III., IV. szakasz) és nem a földetérés illetve elhagyás pillanata. A földön történő lassulva/gyorsulva gurulás jellemző gyorsulási és frekvencia értékeit kellett felhasználni a további vizsgálatokhoz.



3. ábra Kabinban mért „z” (függőleges) irányú rezgés gyorsulás jellemző szakaszai az idő függvényében

4.3. Futószár mechanikai vizsgálata szimulációval

A repülőgépen végzett valós idejű mérések és azok eredményei, valamint az anyagvizsgálatok eredményei kellő alapot nyújtanak ahhoz, hogy mechanikai szimulációs vizsgálatokat (Végeselem - módszer, VEM) végezzük a futószár - szilentblokk egységen. A VEM gyakorlati alkalmazási területei közé tartozik a repülőgépipar [7]. A VEM szimulációhoz az Ansys Workbench 11 programot használtuk fel, amelyben segítséget nyújtott a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézete.

A program alkalmazása során elkészítettük a futószár és a szilentblokk valós geometriai modelljét. A szimuláció futtatásához beállítandó paraméterek között szerepeltek a különböző anyagjellemzők és a mért gyorsulási értékek különböző irányonként. A szimuláció végrehajtásával meghatároztuk a szilentblokk műanyag perselyében ébredő redukált feszültséget, valamint a deformációk nagyságát.

A meghatározott jellemzők bemeneti paraméterként jelentek meg a laboratóriumi gyorsított fárasztóvizsgálatnál.

4.4. Laboratóriumi fárasztóvizsgálat

A kisrepülőgép szilentblokk tönkremenetelének modellezésére építettünk egy kisméretű próbatest befogására alkalmas, laboratóriumi fárasztóvizsgálati berendezést. A berendezés felépítésének, kialakításának olyannak kellett lenni, hogy reprodukálható mérési rendszerben, gyorsított fárasztó vizsgálatot lehessen végezni a szerkezeti anyagokkal úgy, hogy az igénybevétel megfeleljen a valós méréseknél tapasztaltaknak, illetve a VEM számítási eredményeknek.

A vizsgálat alapját a DIN 50322-es szabvány adta, amelyen belül a 6. vizsgálati kategóriát vettük figyelembe, vagyis az egyszerű alakú próbatesteken végzett modellkísérleteket [4, 11].

A valóságos szerkezetnél az elmozdulás és a terhelés iránya megegyezik. A laboratóriumi fárasztóvizsgálati berendezésnél azonban az elmozdulás és a terhelés iránya merőleges. Ez a laboratóriumi összehasonlító vizsgálatokat, a reprodukálhatóságot - a VI. kategóriára jellemzően - nem zavarja. A próbatestekbe bevitt fárasztási munkának a nagysága és a többi terhelési paraméter kontrollálható.

A fárasztóvizsgálat elvét a „Locati” -féle gyorsfárasztás adta, amelyet acélokra alkalmaznak. A vizsgálat során a fárasztani kívánt anyagot növekvő terhelési szintenként 10^5 darab ismétlődő igénybevételnek teszik ki. A terhelést három lépcsőben növelik. Ezen igénybevételek alatt mehet tönkre valamikor a vizs-

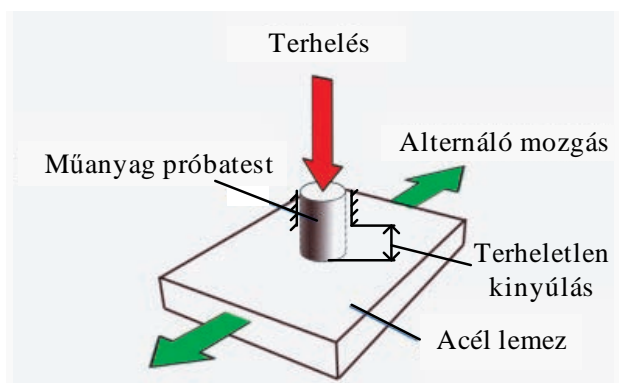
gált anyag, vagy esetleg elviseli az ismétlődő igénybevételeket [10].

Az általunk végzett fárasztóvizsgálat abban tért el a fentiekben említettől, hogy a terhelés négy lépcsőben került növelésre és nagy rugalmasságú elasztomerre alkalmaztuk a vizsgálati elvet.

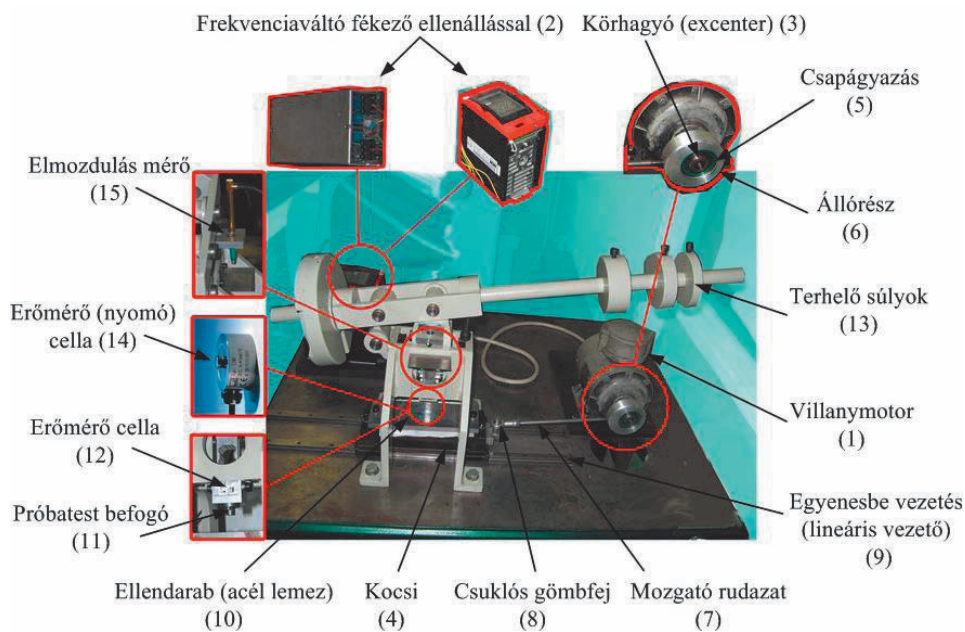
A vizsgálni kívánt próbatest fárasztását egyrésztől az egyenes vonalú, alternáló mozgást végző kocsi végzi, másrésztől pedig, a próbatestet egy terhelő erő nyomja függőlegesen az acél alaplemezhöz (4. ábra). Ez egy összetett, mechanikai és tribológiai fárasztást jelent, ahol az érintkező felületek deformálódnak is és súrlódnak is (tapadnak), mint a valós repülőgép futószár ágyazásánál. Az elkészített berendezés és a részei a 5. ábrán láthatók. A berendezés alkalmassá vált arra, hogy elvégezzük rajta a szükséges gyorsított fárasztóvizsgálatokat.

A repülőgépen végrehajtott valós idejű mérésekből, valamint a VEM szimulációból kapott eredmények adták a fárasztóvizsgálat során beállítandó paramétereket a fárasztóvizsgálati berendezésen (5. ábra). Ezek:

- Az ellendarab (10) mozgásának amplitúdója excenter (3) segítségével (például PUM 60A esetében 0,5 mm);
- Az ellendarab (10) mozgásának frekvenciája (32 Hz) a villanymotor (1) és a frekvenciaváltó (2) segítségével;
- Függőleges irányú terhelés, terhelő súlyok (13) segítségével (például PUM 60A esetében a terhelés értéke $11,219 \text{ N/mm}^2$ volt, és ennek az értékét változtattuk négy lépcsőben úgy, mint 80, 100, 120, 150 % között);
- A próbatest terheletlen kinyúlási hossza (1, 2, 3, 4 mm) a próbatest befogóból (11).



4. ábra A próbatest igénybevételei



5. ábra Fárasztóvizsgáló berendezés

Az eredmények jobb áttekintése és következtetések levonása érdekében elkészítettük anyagonként egy-egy háromdimenziós ábrát (példaként a 6. ábrán a PUM 60A anyag esetét mutatjuk be). A diagramok tengelyein a fárasztó-koptató vizsgálat főbb jellemző paraméterei kerültek ábrázolásra:

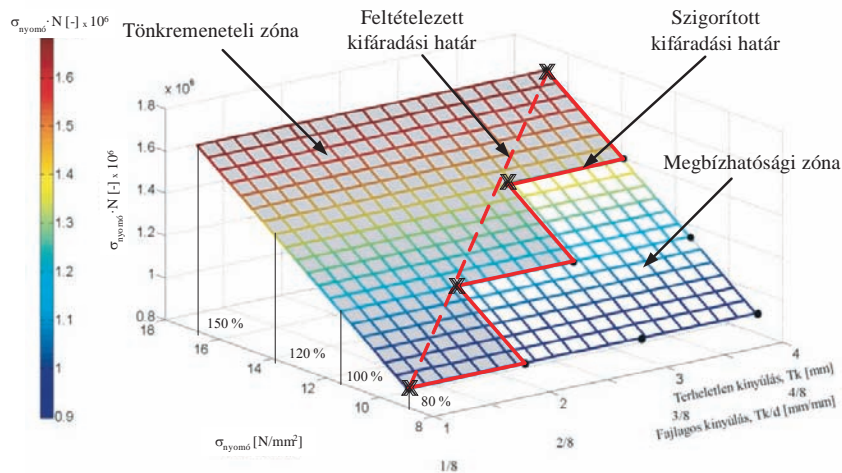
- a próbatest terheletlen-, fajlagos kinyúlása;
- a terhelés nagysága ($\sigma_{nyomó}$);
- a terhelés, valamint az ismételt igénybevétel darabszámának szorzata ($\sigma_{nyomó} \cdot N$).

Ezen tengelyek segítségével kapott térben ábrázoltuk az összetartozó értékeket. Az ábrázolt pontokra síkot illesztettünk. A tönkremeneteli eseményekhez tartozó jellemző pontok, és a sík segítségével kijelölésre került a szigorított és a feltételezett tönkremeneteli (kifáradási) határ. A szigorított kifáradási határ a sík felületéből kijelöli a tönkremeneteli és a megbízhatósági zónát.

A diagramból anyagonként meghatározásra került a megbízhatósági- (A_m), tönkremeneteli (A_t) zóna területe. A két zóna területi aránya (A_m/A_t) megadja a működési megbízhatóságot (n) az adott vizsgált anyagra. A működési megbízhatóságból rangsor állítható fel a vizsgált anyagok között (1. táblázat).

1. táblázat. Működési megbízhatóság értékei

	PUM 60A	PUM 70A	PUA 90A
Működési megbízhatóság (n)	0,4	3,199	5,998



X : tönkremenetelt jelentő mérési pont

● : gyorsított fárasztóvizsgáló pont, tönkremenetel nélkül

6. ábra PUM 60A anyag kifáradási határdiagramja

A laboratóriumi mérések végrehajtása után megállapítottuk, hogy a vizsgált anyagok esetében a kifáradási határ, működési megbízhatóság a PUA 90A esetében a legkedvezőbb. Ezt követi a PUM 70A majd pedig a PUM 60A.

4.5. Mérési eredmények és a tényleges igénybevétel ismétlési szám (ciklusszám) kapcsolata

A laboratóriumi fárasztóvizsgálatok során a függőleges irányú normál erőn túl a próbatestben hajlító és nyíró igénybevétel is keletkezik, ezért a redukált feszültséget kell meghatározó jellemzőnek tekinteni. Ahhoz, hogy a fárasztóvizsgálati paramétereiből és a vizsgálati eredményekből meghatározható legyen a vizsgált anyagból gyártott szilentblokk rugalmas ágyazásának kifáradási jellemzője, meg kell határozni a próbatestben a redukált feszültséget adott terhelési szinten. Ennek a meghatározására mechanikai modellezést (VEM) készítettünk.

A mechanikai modell elkészítését követően alapvetően meghatároztuk azt, hogy:

- A próbatestben a nyomáson túl hajlítás és nyírás is fellép.
- A σ_{red} értéke többszöröse a nyomásból számított értéknek adott terhelési szintnél és kinyúlási hosszánál, a próbatest összetett igénybevétele miatt. A fárasztóvizsgálat tehát az üzemi körülményeknél lényegesen magasabb feszültség szinten történt.

A valós idejű repülőgépes mérések eredményeit, a laboratóriumi gyorsított fárasztóvizsgálat eredményeit, továbbá a laboratóriumi fárasztóvizsgálat mechanikai modellezés (VEM) eredményeit felhasználva a következő eredményre jutottunk:

- A PUM 60A jelű alapanyagból készített rugalmas ágyazás várhatóan 3727 db felszállásonként, 20 %-os biztonsági tényezővel számolva 2980 db le- és felszállásonként fog feltételezetten tönkremenni. Tehát a meghatározott határszám elérésekor a futószár felfüggesztését és magát a szilentblokkot is át kell vizsgálni, hogy bekövetkezett vagy megkezdődött-e a tönkremenetel.
- A gépelem eredeti anyaga megfelel a PUM 70A jelű kereskedelmi terméknek. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a PUM 60A-hoz képest nagyobb kifáradási ciklusszám, élettartam érhető el a PUM 70A jelű alapanyaggal. Az alapanyag vizsgálataink szerint a továbbiakban is alkalmas a feladat betöltésére. A fárasztó-koptató vizsgálatok eredményei azonban arra engednek következtetni, hogy az ágyazás rugalmas része 2980 le- és felszállást biztosan kibír. Tehát a meghatározott határszám elérésekor a futószár felfüggesztését és magát a szilentblokkot is át kell vizsgálni, hogy bekövetkezett vagy megkezdődött-e a tönkremenetel. Ezzel a javaslattal az új karbantartási rendszerbe olyan szigorításra kerülhet sor, mely a biztonságot növeli. Továbbá a gyári karbantartási utasítás hiányossága ezzel az információval pótolható.

- A PUA 90A jelű anyag is alkalmas a gépelem alapanyagául. A vizsgálatok eredményei arra engednek következtetni, hogy még nagyobb javulás (élettartam) érhető el, mint a PUM 70A-val.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében megállapítható az, hogy egy olyan komplex mérési és kiértékelési rendszert alkottunk meg, amely arra hivatott, hogy egy valós szerkezet rekonstrukciós tervezését hajtsuk végre. Munkánk eredményeképpen egy olyan határszámot határoztunk meg, amely alkalmas a vizsgált repülőgép (adott szerkezeti kialakítás mellett) futószár rugalmas ágyazására vonatkozóan egy megbízhatósági határt adni. Ezzel lehetőség nyílik a típus karbantartási utasításának helyesbítésére, szigorítására.

Ezzel az elkészített rekonstrukciós tervezéssel és komplex értékelési folyamattal reményeink szerint elősegítettük a repülőgépes üzemet még biztonságosabbá tételét.

6. IRODALOM

- [1] 2042/2003/EK rendelet
- [2] 1702/2003 EK rendelet
- [3] 859/2008/EK rendelet
- [4] BHUSHAN B.: Modern tribology handbook, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.: CRC Press LLC, 2001
- [5] Cessna 172 Series Service Manuals & Parts Catalogs (2010): DVD kiadvány.
- [6] DÖMÖTÖR F. (Szerk.): A rezgésdiagnosztika elemei, Budaörs, SKF Svéd Golyóscsapágy Rt., 1996
- [7] FODOR T., ORBÁN F., SAJTOS I.: Végeselem - módszer. Elmélet és alkalmazás, Budapest, Szaktudás Kiadó Ház, 2005
- [8] JANIK J. (Szerk.): Gépüzemfenntartás, Dunaujváros, Dunaujvárosi Főiskolai Kiadó, 2001
- [9] NAGY I.: Állapotfüggő Karbantartás, Műszaki Diagnosztika I., Rezgésdiagnosztika, Paks: Delta-3N Kft., 2006
- [10] VERESS E.: Technológiai anyagvizsgálati módszerek, Magyar nyelvű szakelőadások a 2000 - 2001-es tanévben, Babeş-Bolyai Tudományegyetem Vegyész-mérnöki Kar, Románia, Kolozsvár, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2001
- [11] ZSIDAI L., DE BAETS P., SAMYN P., KALACSKA G., VAN PETEGHEM A.P., VAN PARYS F.: The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens, *WEAR* 253 p. 673 - 688, 2002

TERHELÉS ALATTI ÁTTÉTELVÁLTÁS FOLYAMATAINAK ELEMZÉSE

ANALYSIS OF THE UNDERLOAD SHIFTING PROCESSES

Dr. Lengyel Antal*, Szegedi Attila**

ABSTRACT

Economical considerations have converted the main requirement in the tractor utilization nowadays. This conditions has required the optimal co-operation between the engine and the transmission. The critical point is the gear changing in under load conditions. The change in time of traction force, clutch actuator hydraulic pressure and electric sign was examined during power shifting in this study.

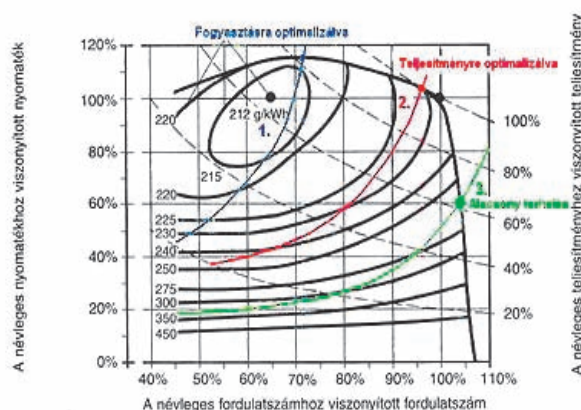
1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági erőgépek üzemében meghatározóvá vált a gazdaságos energiafelhasználás melletti üzemmód. A sokoldalú alkalmazhatóság megköveteli a korszerű dízelmotor és teljesítmény átviteli szerkezet optimális munkapontjának megteremtését. Ez azt jelenti, hogy a motor teljesítményét a lehető legkisebb veszteséggel kell eljuttatni a talaj-kerék kapcsolathoz, s a pillanatnyi áttétel széles sebességtartományban is optimális motorterhelést biztosítson az alacsony hajtóanyag fogyasztás érdekében. Erre a célra az ideális megoldást a fokozatnélküli hajtásátviteli eszközök adják, ezek hatásfoka azonban csak szűk üzemi sebességtartományban kedvező. [7] [8]

A fokozatonként változtatható áttételű nyomatékváltóknál sok, egymást átfedő áttételű fokozatot alkalmaznak, melyek a mai traktoroknál terhelés alatt kapcsolhatók. Így kialakítható a teljes sebességtartományban kedvező hatásfokú teljesítményátvitel, aminek kritikus pontja a terhelés alatti áttételváltás folyamata. A témában végzett kutatómunka célja az elektromos vezérlőjélekből kiindulva, a hidraulikus működtető elemek nyomásváltozásain keresztül vizsgálni a vonóerő időbeni változását.

A tartós munkavégzés csak a gépcsoport megfelelő munkapontjában lehetséges. A traktor adott pillanatban kifejtendő vonóereje adja a kerék kerületi erőt, amiből a hajtóművek összes áttétele és a kerék gördülési sugarának függvényében a motor forgatónyomatéka meghatározható.

Ezt a motor fordulatszámának függvényében ábrázolva, külső terhelésként felvihető a motor fordulatszám jelleggörbéjére, ahol a nyomatéki jelleggörbéit metszve munkapontokat fog adni. Adott külső terhelés mellett minden sebességi fokozathoz megrajzolható a terhelés a motorfordulatszám függvényében, ez gyakorlatilag egymás szorzata vagy hányadosaként előállítható jelleggörbe-sort eredményez. Ha a jelleggörbén fel van tüntetve a motor fajlagos fogyasztásának jellegmezője is, abban az esetben könnyen leolvasható az adott munkaponthoz tartozó fajlagos fogyasztás is. A belső égésű motorok munkapontját a motor és a munkagép jelleggörbéjén kialakuló nyomatékazonosság határozza meg. A munkagép nyomatékigényét a felhasználás módja határozza meg.



1. ábra: Dízelmotor nyomatéka, fajlagos fogyasztása és munkapontjai a fordulatszám függvényében [9]

Az erőgép és munkagép illesztését a nyomatékváltó végzi, amely a fokozatoknak megfelelően, az 1. ábra szerint láthatóan több munkapontot is meghatározhat.

Mégpedig:

- a fajlagos fogyasztás minimumára, (1.)
- a teljesítmény maximális kihasználására, (2.)
- a szabályozott ágon a nagy fordulatszámú és kis terhelésre vonatkozó jellemzőket. (3.)

Ezeket a munkaponti helyeket az erőgép és munkagép kapcsolatának technológiai és üzemeltetési követelményei határozzák meg. Az 1. ábra a motor üzemi jelleggörbéjét mutatja, ahol a fordulatszám, a nyomaték és a mindenkori teljesítmény a névleges teljesítményhez (Pn) viszonyítva százalékosan van megadva. Ebben a

*főiskolai tanár Nyíregyházi Főiskola Műszaki Mezőgazdasági Kar Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

**műszaki tanár Nyíregyházi Főiskola Műszaki Mezőgazdasági Kar Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszék

relatív viszonylatban ábrázolt motor külső jellemzők mellett megjeleníthetők a fajlagos fogyasztás kagyló-görbéi is. A gépcsoport három lehetséges üzemi munkapontja jelentős különbségeket határoz meg a folyamat fenntartásának munkaidényében, azaz a motor fajlagos fogyasztásában. Ezen munkapontok közötti üzemeltetés a motor és a munkagép közötti áttételnek a változtatásával, azaz a munkasebesség agrotechnikai korlátokat figyelembe vevő változtatásával lehetséges.

Ennek eszközei a traktorok nyomatékmodosító hajtóművei, melyek közül a legmegfelelőbb gyors kapcsolással végzi az áttételváltást, eltolva a munkapontot, mindenkor a motor optimális külső paramétereit biztosítva. Erre a legalkalmasabbak a Powershift rendszerű sebességváltók, amelyeknél a kapcsolást hidraulikusan működtetett tengelykapcsolók végzik, relatív kapcsolóerőcsökkenés mellett. [2] Nagy előnye ezeknek a nyomaték-váltási rendszereknek, az üzemi terhelés alatti sebességi fokozat változtatás, melyet csökkentett nyomaték-átvitel mellett, a többtárcsás nedves tengelykapcsoló relatív csúszásával valósít meg. Ezen kapcsolási folyamatok elemzése fontos a gépcsoport mozgási energia-vesztése és munkaminősége szempontjából. A kapcsolási idő alatt, a hajtás hiánya miatt a lelassult gépcsoportot újból gyorsítani kell, ami növeli a fajlagos energia felhasználást. A Nyíregyházi Főiskola Jármű és Mezőgazdasági Géptani Tanszékén végzett kísérletek ezeknek a korszerű sebességváltóknak a kapcsolási folyamatát s annak energetikai hatását vizsgálja.

2. A MÉRÉS MÓDSZERE ÉS ESZKÖZEI

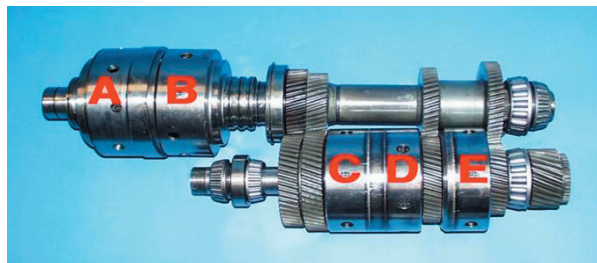
A korábbi mérések [10] csak a kapcsolási idő alatti vonóerő változások vizsgálatára irányultak munkavégzés alatt, a 2. ábrán látható módon. A vonóerő változást az erőgép és a munkagép kapcsolatába beépített hidraulikus munkahengerben kialakuló nyomásváltozás határozta meg. A vonóerőt adó nyomásértéket a Hydac HMG 2020 típusú adatgyűjtő az idő függvényében regisztrálta.



2. ábra. A vonóerő mérésére szolgáló hidraulikus munkahenger elhelyezése

A járókerék sebessége optikai fordulatszám-méréssel történt, figyelmen kívül hagyva a talaj és kerék kapcsolatában létrejött csúszást, mivel az nem befolyásolta a vonóerő nagyságát. A fordulatszám-mérő jelét a mellső hajtott kerekek kardántengelye biztosította.

A fokozatkapcsoló többtárcsás tengelykapcsoló működési idejét a vezérlési mód határozza meg. Ennek vizsgálatához szükséges adatokat a traktor vezérlőszoftveréből lehet kiolvasni, és az táblázatkezelő programba importálva feldolgozhatóvá válik.



3. ábra. A vizsgált hajtóműcsoport kiszerelt állapotban

A vizsgált elektromos jel a nyomaték-váltó proporcionális vezérlésű út-váltójában az elektromágnesén átfolyó áramerősséggel arányos nyitási keresztmetszeten olajnyomást létesít a tengelykapcsolók munkahengereiben. Ezt a nyomást a traktor vezérlőtömbjének szervizcsatlakozóin lehet mérni. A nyomásmérő jeladókat csatlakoztatása a 4. ábrán látható. Az adatokat szintén a HYDAC HMG 2020 kézi adatgyűjtő regisztrálta.



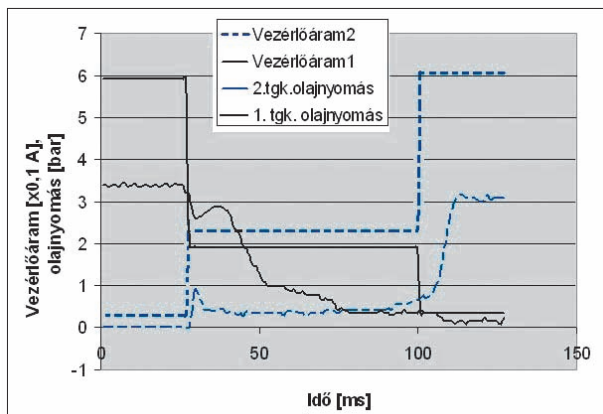
4. ábra A tengelykapcsolók vezérlőnyomásainak mérése szervizcsatlakozón keresztül

A rögzített nyomásértékek számítástechnikai adatátvitellel kerültek PC-re, ahol átalakítva kirajzolódtak a nyomásdiagramok.

A vizsgált erőgép hajtásátvitelének első blokkja 3x2 szorzó rendszerű, a motor nyomatéka a behajtó tengelyen levő A vagy B jelű tengelykapcsolók zárásával kerül az előtét-tengelyre, ahonnan a C, D vagy E jelű tengelykapcsolók valamelyikének zárása után halad tovább. A nyomaték-váltó öt tengelykapcsolója közül három (A B és C jelű) nyomásváltozása lett regisztrálva.

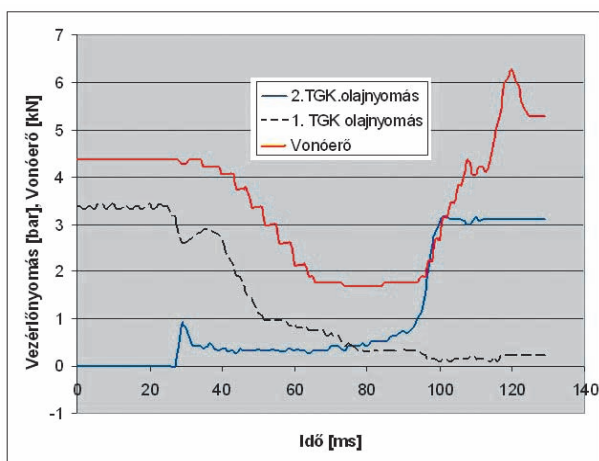
3. A MÉRÉSEK EREDMÉNYEI

A mért elektromos jeleket és hidraulikus nyomásokat érdemes azonos időskálán ábrázolni. Így a teljes kapcsolási folyamatot a vezérlő jeltől (a vezérlőáram 0,6A értékének 0,2 A-re esése) kiindulva tudjuk szemlélni. Ez az 5. ábrán látható.



5. ábra. Az elektromos vezérlőjel és a tengelykapcsolókat működtető nyomás időbeni lefolyása a kapcsolási folyamat alatt

A tengelykapcsoló bekapcsolt állapotában 0,6A vezérlőáram a kapcsolás időtartama alatt 0,2 A-re csökkent, miközben a következő fokozat tengelykapcsolójának szelepét is 0,2 A áram kezdte bekapcsolni. A működtető szoftverben beállítható idő (jelen esetben 75 ms) elteltével az 1. tengelykapcsoló teljesen kikapcsolt, a vezérlőáram 0,05A értékre esett vissza, a 2. tengelykapcsoló teljesen bekapcsolt állapotba került a 0,6A vezérlőáram mellett. Jól látható, hogy az olajnyomás felépülése 10-15 ms késéssel követi a vezérlőjel változásait. Ennek oka az olajnyomás felépülési és a tengelykapcsoló tárcsák elmozdulási idejével, valamint a rendszer hidraulikus nyomástárolójának feltöltődésével magyarázható.



6. ábra. A vonóerő és a vezérlőnyomás változásai a kapcsolás időtartama alatt

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy a tengelykapcsoló vezérlőnyomás változását az erőgép által kifejtett vonóerő némi késéssel pontosan követi, a néhány ms késedelem elsősorban az erőgép tömegtehetetlenségének tudható be, mivel a vonóerő a vizsgált esetben nem a talaj-kerék kapcsolatában, hanem az erőgép és a munkagép között jön létre. A kapcsolás végén mutatkozó vonóerő csúcs jól mutatja a munkagép visszagyorsításához szükséges többlet erőt.

4. MOZGÁSI ENERGIA VESZTESÉG MEGHATÁROZÁSA

A traktor saját mozgási energia csökkenésének meghatározására terheletlen állapot vehető alapul, ahol vonóerő kifejtés nincs, az erőgép lassulásából származó erőhatás tart egyensúlyt a gördülési ellenállás, a légel ellenállás és a negatív szlip által keltett ellenerővel. Mivel a vizsgált sebességtartományban és terhelésnél a két utóbbi ellenállás elhanyagolható mértékű, ezért a számítások elvégezhetők csupán a gördülési ellenállás figyelembe vételével, mely az $F_g = m \cdot g \cdot f$ (1)

összefüggéssel határozható meg [1] [3] [4]

Az így létrejött mozgást csak a vízszintes erők befolyásolják, ezért azok egyensúlyát kifejező összefüggés az

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot f$$

$$a = g \cdot f$$

Egyenletekkel adható meg,

ahol : m az erőgép tömege [kg]
 g a nehézségi gyorsulás [m/s^2]
 a az erőgép lassulása [m/s^2]
 f a gördülési ellenállási tényező

A gépcsoport sebességváltozásából felírható gyorsulás

$$a = \frac{dv}{dt}$$

egyenlettel adható meg, ami szétválasztva megadja az elemi mozgásra felírható differenciálegyenletet:

$$dv = -f \cdot g \cdot t + C$$

A differenciálegyenlet általános megoldásából következik, hogy a sebesség meghatározható a

$$v = -f \cdot g \cdot t + C$$

összefüggéssel. A felépítmény sebességének időbeli változását leíró összefüggés:

$$v_1 = v_0 - f \cdot g \cdot t$$

Ahol t a kapcsolás időtartama, v_0 a kapcsolás előtti sebesség, v_1 pedig a kapcsolás végén kialakult sebességet jelenti [6]

Az így meghatározható sebességekből

$$E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

egyenlettel a mozgási energia változása kiszámítható.

$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot (v_0^2 - v_1^2) \quad (8)$$

A v_1 sebességet meghatározó $v_1 = v_0 - f \cdot g \cdot t$ (9)

Összefüggést behelyettesítve a kapcsolási idő alatti lassulás okozta energiavesztés kiszámítható a

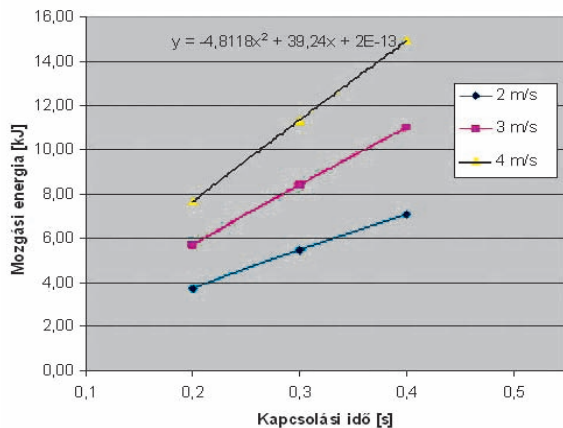
$$\Delta E = \frac{1}{2} m \cdot \left[v_0^2 - (v_0 - f \cdot g \cdot t)^2 \right] \quad (10)$$

összefüggéssel. Az egyszerűsítéseket elvégezve az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\Delta E = \frac{m}{2} \cdot 2v_0 \cdot f \cdot g \cdot t - \frac{m}{2} \cdot f^2 \cdot g^2 \cdot t^2 \quad (11)$$

Példaként $m=10000 \text{ kg}$ erőgép tömeget és $f=0,2$ gördülési ellenállási tényezőt felvéve, a számításokat három különböző munkasebességgel (2 és 4 m/s) és kapcsolási idővel (0,2; 0,4 és 0,6 s) elvégezve a kapcsolási időtartama alatti mozgási energiavesztés a 7. ábrán láthatóan alakul.

Megállapítható, hogy a mozgási energia vesztesége a kapcsolási idő függvényében változik.



7. ábra. Mozgási energiavesztések értékei a kapcsolási idő függvényében, különböző munkasebességek mellett

Az elméleti fejtegetés számszerűsítése jól szemlélteti a sebességfokozatok kapcsolási idejének hatását. A téma vizsgálata rávilágít arra, hogy a mechanikus hajtásátviteli elemek gyors kapcsolódása mennyire befolyásolja a gépcsoport mozgási energiáját. Különösen igaz ez olyan mozgó gépcsoportok esetén, ahol nagy vonóerő kifejtéssel történik a munkavégzés.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények alapján jól látható, hogy a traktorok és más állandó terhelésnek kitett mobil gépek sebességváltoztatásánál fontos a kapcsolási idő nagysága, s az alatti sebességcsökkenés mértéke. Az elvégzett mérésekkel sikerült betekintést nyerni a terhelés alatti váltáskor lejátszódó hidraulikus folyamatokba és erőváltozásokba.

A sebességfokozatok kapcsolásánál a kapcsolási idő alatt jelentős a jármű lendületvesztése, ami akár megálláshoz, vagy az elérni kívánt fokozat kapcsolhatatlanságához vezethet. Nagy tömegű gépcsoport, vagy járműszerelvény esetében nem elhanyagolhatóak a mozgási energia veszteségek. Különösen igaz ez a megállapítás a mechanikus kapcsolási rendszerű hajtásátviteli berendezéseknél. [5] A fentiekben számított értékek vonóerővel nem terhelt traktorra vonatkoznak. A gépcsoport jellegetől függően további erőhatásokat is figyelembe kell venni, melyek tovább növelik a mozgási energiavesztéseket, így a téma gyakorlati fontosságát. További kutatásunk célja a kapott összefüggés újabb mérésekre alapozott kiegészítése. Az energiavesztések minimalizálása kihívást jelent a korszerű traktorok sebességváltó szerkezetének a kialakítására, s azon keresztül a fajlagos energiafelhasználás csökkentésére.

6. IRODALOM

- [1] RÁZSÓ I.-KOMÁNDI GY.-SITKEI GY.: Mezőgazdasági traktorok elmélete és szerkezete. Tankönyvkiadó Budapest 1964. 82.89.p
- [2] LAIB L.-VAS A.: Traktorok-Autók. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest. 1998. 255-273.p.
- [3] SITKEI GY.: A mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái Akadémiai Kiadó Bp 1967. 132-158.p.
- [4] LAIB LAJOS. (szerk.) - SITKEI GY: Terepen mozgó járművek Szaktudás Kiadó Ház Bp. 2002. 156-206. p.
- [5] KISS PÉTER: A jármű-terep kapcsolat befolyásoló hatása a terepi balesetekre és a jármű sebességére. *Járművek és Mobilgépek, II. évf. (2009) No. V pp.471 - 473*
- [6] SOÓS P.: Matematikai és mechanikai módszerek alkalmazása válogatott mezőgazdasági gépszerkezeti problémák megoldásához Gödöllő 1998
- [7] SZENTE M.: Traktorhajtóművek Mezőgazdasági Technika Vállalkozók Tanácsadója 9., 1999.
- [8] SZENTE M.-VAS A.: Mezőgazdasági traktorok elmélete és szerkezete FVM MGI. Gödöllő 2004. 273-375.p.
- [9] R.PFIFFNER-L. GUZELLA: Fuel-optimal control of CVT powertrains Control Engineering Practice 11 2003. 329-336.p
- [10] LENGYEL A.-SZEGEDI A.: Traktorok teljesítmény-átvitelének optimalizálása GÉP LX évf. 12. sz.35-38.p. (2009)

TEREPRE FUTÓ JÁRMŰ MENETELLENÁLLÁSAINAK ELEMZÉSE KÜLÖNBÖZŐ TALAJFELSZÍNEEN

EXAMINATION OF MOTION RESISTANCES ON DIFFERENT SURFACES IN CASE OF OFF-ROAD TRACKING

Máthé László*

ABSTRACT

If for some reason a vehicle leaves the built road, and enters the terrain, its movement is determined by the physical and mechanical laws of terrain-vehicle interaction. The problem with the road-leaving accidents is that the effect of the soil physical properties are not known sufficiently, so that in many cases only approximate results can be provided by the accident analysts. Examinations of the soil mechanical parameters, and creation of a soil database, which can help by the reconstruction of the run-off-road accidents, are necessary. In August, there were complex measurement series, performed by the colleagues of Department of Automotive Technology. The purpose of the project was to create a soil-database, and a computer simulation to define the path-leaving vehicle's speed at that moment when it leaves the built road.

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évek során, számos előírás, szabályzat keletkezett a közlekedés elősegítésére, illetve a balesetek számának visszaszorítására. A közlekedési balesetek a gépjárművek számának és technikai fejlettségének növekedésével, ugrásszerűen megemelkedett. A mai értelmezésben a közúti baleset olyan váratlanul bekövetkező, nem szándékosan előidézett forgalmi esemény, amelyben legalább egy mozgó járműnek vagy igavonásra alkalmas állatnak szerepe van, és amely következtében anyagi kár keletkezik, vagy személyi sérülés, illetve haláleset történik. A terepen bekövetkező balesetek értelmezése ehhez hasonló, kiegészítve azzal, hogy a jármű a baleset során bármilyen módon, kapcsolatba kerül a tereppel. A terep az épített úton kívüli, föld- vagy talajréteggel borított terület, amely a településeket elhagyva, jellemzően megtalálható az épített utak körül. Ennek köszönhetően számos baleset terepen következik be, vagy az esemény során adott időre kapcsolatba lép a

jármű a tereppel, amely jelentősen képes befolyásolni a baleset kimenetelét.

A közúton kívül bekövetkező, pályát elhagyó balesetek az egyjárműves balesetek 72 %-át teszik ki. Ez az arány az összes baleset számának 19 %-a [10]. Az egyjárműves baleset kategóriába tartozik többek között a szilárd tárgynak ütközés útpályán kívül, illetve a pályaelhagyás szilárd tárgynak ütközés nélkül. Ide soroljuk továbbá a felborulást, megcsúszást, állattal, álló járművel, úton lévő szilárd tárgyal való ütközést.

Abban az esetben, ha a jármű az épített útról letérve behatol a terepre, mozgási energiával rendelkezik. Mozgására hatással vannak a nagyobb terepakadályok mellett a mikroakadályok által gerjesztett lengésgyorsulások. A jármű lassulását majd megállását a jármű és talaj kapcsolatából ébredő menetellenállások befolyásolják. A behatolási sebesség számítása indirekt módon a menetellenállások ismeretében számítható.

A Szent István Egyetem, Járműtechnika Tanszék munkatársai egy összetett szabadföldi mérésorozatot végeztek el 2010 nyarán. **A kutatás elsődleges célja volt,** hogy alapadatokat vegyünk föl, amelyek mint egy talaj-adatbázis alkalmazhatóak a terepi balesetek után a jármű haladásának szimulálására. A mérések során vizsgáltuk a menetellenállásokat, melyek segítséget nyújtanak a terepre behatoló jármű sebességének meghatározásához a pályaelhagyás pillanatában.

2. TEREPEN BEKÖVETKEZETT BALESETEK RENDSZEREZÉSE

2.1. A balesetek rendszerezése

A közúti és a terepi balesetek közötti különbség, hogy az utóbbi esetben a jármű elhagyja az utat, és mozgását a terepen fejezi be.

A balesetek rendszerezése, csoportosítása azért szükséges, mert az egyes baleseti jellemzők és egyenértékek segítségével meghatározható a balesetek átlagos súlyossága, a relatív baleseti mutató, a veszélyességi fok, a relatív biztonsági fok, illetve statisztikák írhatók fel egyes útszakaszokra, vagy csomópontokra. [16]

*okleveles gépészmérnök, PhD hallgató, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet, Járműtechnika Tanszék

2.1.1. Súlyosság szerinti csoportosítás

A balesetek egyik csoportosítása, a súlyosság szerint történik. Ez érvényes a terepen bekövetkező balesetekre is. Ezeket a balesetcsoportokat súlyossági egyenértékkel jellemezzük: [16]

- Anyagi káros $b_1 = 1$
- Könnyű személysérülés $b_2 = 5$
- Súlyos személysérülés $b_3 = 70$ (8 napon túl gyógyulóakra vonatkozik)
- Halálos kimenetelű baleset $b_4 = 130$ (48 órán belül elhunytakra vonatkozik)

A súlyozással összegzett balesetszám (B_s) ezek után:

$$B_s = b_1 \cdot S_1 + b_2 \cdot S_2 + b_3 \cdot S_3 + b_4 \cdot S_4, \quad (1)$$

ahol:

- S_1 az anyagi káros balesetek száma,
- S_2 a könnyű sérüléssel baleseteknél a könnyű sérültek száma,
- S_3 a súlyos baleseteknél a súlyos sérültek száma,
- S_4 a halálos baleseteknél a halottak száma.

2.1.2. Rendszerezés a jármű viselkedése szempontjából

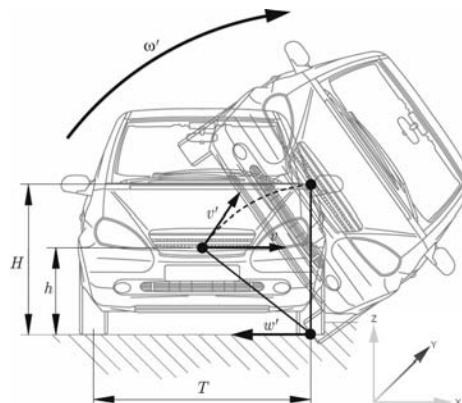
A jármű, ütközés nélkül elhagyja az utat, tovább gördül a kerekein, keréktúrás és csúszás jelenségét előidézve. A járműre ható mozgásellenállások a gördülési ellenállás, légellenállás, talajprofil okozta lengésváltozás, makroakadályok. A keréktúrás szintén előfordul a terepi baleseteknél, viszont erről a jelenségről kevés ismeretünk van.

A keréktúrást (bulldozing) jelenséget a szakértők egyrészt deformációs energiával veszik figyelembe a számítások során, amely csak közelíteni tudja a valóságot. Másrészt a sebességváltozást veszik figyelembe, összehasonlítják különböző tapasztalati lassulás értékekkel, majd következtetnek a keréktúrás okozta kinematikai változásokra.

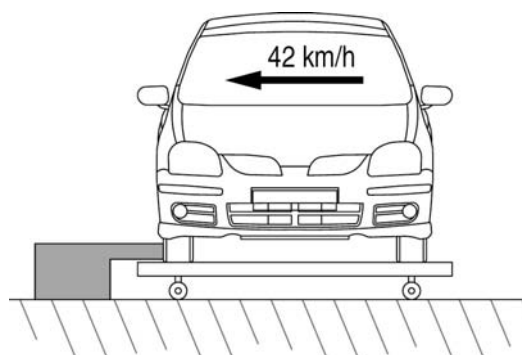
Ütközés nélkül vagy ütközés kíséretében behatol a jármű a terepre, felborul, és az oldalán vagy a tetején csúszva megáll. A borulásos balesetek közúton és terepen is igen gyakran bekövetkeznek (1. ábra). Több esetben a baleset a közúton történik, de a jármű a terepre sodródik, vagy beborul. Általánosságban elmondható, hogy minél magasabban van egy jármű súlypontja, annál jobban ki van téve a borulás veszélyének baleset esetén. Ez a veszély fokozottan érinti a SUV-okat, (Sport Utility Vehicle), ugyanis ezek a hobbiterepjárók alapvetően szilárd burkolatú közútra készültek, azonban a nagyobb motorteljesítmény, a magasabb has-magasság, ballonosabb gumibroncsok és a speciális hajtómű (felező, összerékhajtás, differenciálzár) miatt könnyebb terepre is alkalmasak. Mivel a terepi közlekedéshez a

megfelelő has-magasság kialakítás elengedhetetlen, emiatt a jármű súlypontja is megemelkedik, mely növeli a borulási kockázatot.

Az Egyesült Államokban számos borulási vizsgálatot végeznek ilyen típusú járművekkel [13], mivel kedvelt típus a farmerek, gazdálkodók körében. A borítási kísérletek egyik lehetséges módja a 2. ábrán látható.



1. ábra. A borulás pillanata [3]



2. ábra. A borítási kísérletek egy lehetséges módja [3]

A legjellemzőbb borulási típusok, amelyek terepen is bekövetkeznek, a következők [1]:

- Másik járműnek ütközik.
- Ráhalad valamilyen padkára, vagy korlátra (pl. autópályánál), ettől a jármű megvezetődik.
- Rámpára, padkára halad rá.
- Az úttest egyenetlensége következtében felborul.
- Kanyarban a nem megfelelő sebességet megtartva, a jármű menetdinamikai tulajdonságai megváltoznak.
- Rézsűn keresztül a jármű oldalirányba leborul a terepre.

Egy másik vizsgálati szempont a tengely körüli elfordulás figyelembe vétele borulások során. Ezek a típusok a következők:

- Hossztengely körüli elfordulás (oldalára borul a jármű).
- Keresztirányú borulás (előre borul a jármű).
- Teljes átborulás (nem csak az oldalára fordul, hanem a tetején is átborul, akár többször is).

Útelhagyás után a jármű makroakadálynak ütközik. A 0,25 m-nél nagyobb egyenetlenségeket makroakadályoknak hívjuk. Ide tartoznak a nagyobb kövek, sziklák, árkok, vízmosások, kidőlt fatörzsek, de ide tartoznak a patak- és folyómedrek is. A nagyobb növények, fák, bozótok, bokrok gátolják a járművek mozgását. A gyepképző növények viszont segíthetik a jármű ingoványos, süppedékes területen való áthatolását. A jármű geometriája (mellső és hátsó kinyúlás, szabad has-magasság) alapvetően befolyásolja a leküzdhető makroakadály nagyságát. [2] [5] [6]

Az akadályokat az ütközés szempontjából is megkülönböztetjük, így lehetnek:

- Merev akadályok, amelyek deformációja jelentéktelen a járműhöz képest, pl.: hídláb, nagyméretű fa, szikla, stb.
- Deformálódó akadályok, amelyek kisebb szerkezeti merevségűek, vagy a járművel azonos merevségűek, és a deformációjukkal számolni kell.

2.2. A terepbaleseteket befolyásoló tényezők

A terepen bekövetkező balesetek esetén nem elegendő csak a terep tulajdonságait vizsgálni, de ugyan így nem elég csak a jármű viselkedését, műszaki paramétereit figyelembe venni. A terepi baleseteket leginkább befolyásoló tényezők a következők [14]:

- **Jármű kialakítása:** Nem mindegy, hogy a járműtest szögletes, vagy gömbölyített, lapos, vagy magasított kialakítású. A mechanikai viselkedésekben jelentős szerepe van a geometriának.
- **Talaj típusa:** A talaj külső, mechanikai terhelésekkel szembeni ellenálló képességét a talaj szilárdsága határozza meg. A talaj szilárdságát meghatározó legfontosabb tulajdonságok a nedvességtartalom, ill. nedvességpotenciál, a szemcse- és agyagásvány összetétel, a szervesanyag-tartalom, a térfogattömeg és a pórusok mérete. Abban az esetben, ha a mechanikai terhelés meghaladja a talaj szilárdságát, akkor a talaj pórustere lecsökken, térfogattömege nő. A talaj szilárdsága egy bizonyos tartományon belül, a növekvő nedvességtartalommal csökken. A terepen mozgó járművek mozgásuk közben kétfajta igénybevételt okoznak a talajnak [11]:
 - *normál jellegű igénybevétel:* a jármű súlyerejéből adódóan.
 - *nyírási jellegű igénybevétel:* a hajtott kerekek kerületi ereje okozta terhelés.

A terepjárás elmélet kétféle talajmechanikai paramétert vizsgál. A normál jellegű igénybevételhez kapcsolódóan a talaj teherbíró képességét, a nyírási igénybevételhez tartozóan, pedig a talaj nyírószilárdságát.

- **Terepprofil:** A talajfelszín érdességét nevezzük mikroakadályoknak, más néven terepprofilnak. A terepprofil mérhető tereptulajdonság. Megkülönböztetünk deformálatlan és a jármű áthaladása után mért deformált profilt. A terepprofil jelentősen befolyásolja a jármű függőleges lengéseit. A lengést gerjesztő profilt ható profil-

nak nevezzük. A lengések a jármű stabilitására is hatással lehetnek, kedvezőtlen esetben a jármű fel is borulhat. Azonban a lengések nemcsak a járműre, hanem a személyzetre és a vezetőre is hatnak. Ebből adódóan a terepen alkalmazott maximális sebességet a vezető pszichológiai tűrőképessége határozza meg. [7] [8]

3. MÉRÉSI MÓDSZER BEMUTATÁSA

A terepre behatoló jármű viselkedését balesetelemzés szempontjából kevesen vizsgálták [4], ellenben a terepen mozgó járművek mozgékonyaságáról szóló kutatások jelentős számban fellelhetők a szakirodalomban.

Fontos, hogy elfogadjuk azt a feltételezést, hogy ha a jármű terepen halad, akkor a jármű-terep kapcsolat leginkább a járműdinamikai hatások, lengésgyorsulások és a makroakadályok befolyásolják [2] [11] [12]. Hugemann [3] kijelenti, hogy a terepen bekövetkező balesetek számítógépes szimulációval történő elemzése jelenleg csak közelítő eredményt szolgáltat. Szükséges a talajmechanikai paraméterek vizsgálata [15], mely a terepi balesetek értékelését segíteni tudja. A talajmechanikai paraméterek vizsgálata során lehetőség van terepi, illetve laboratóriumi [17] spektrális mérések bevonására is. Ezek a mérések a különböző paraméterek közötti kapcsolat meghatározását követően a hagyományos méréseket kiegészítve megnövelhetik az elemzés hatékonyságát. Ezen megfontolások figyelembevételével alakítottuk ki a vizsgálati módszereket.

A kutatási célkitűzés megvalósításához vontatási vizsgálatokat végeztünk a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar egy kijelölt síkfekvésű területén. A rendelkezésre álló terület mérete 300x100 m volt. A kísérleteket ugyan azon a területen, három különböző talajállapotban végeztük el: tarlón, tárcsázott tarlón, majd kultivátorozást követően. Valamint méréseket végeztünk betonon is. A méréseket 60 m-es vizsgálati szakaszokon hajtottuk végre úgy, hogy a kijelölt mérőszakaszok hossza 10 m volt, a ráfutási és lassítási szakaszok hossza pedig 25-25 m. Egy adott talajállapot mellett négy különböző abroncsleányomással végeztük a méréseket, így tarlón, tárcsázott és a kultivátorozott területen 4-4-4 mérőszakaszt jelöltünk ki, melyek egyenként 10 m hosszúak voltak. A függőleges irányú talajdeformáció meghatározása érdekében, minden mérés során használt járművek: John Deere 6600-as traktor, mely a vontató jármű szerepét töltötte be, illetve GAZ-69, és UAZ-469B terepjárművek, amelyeket vontattunk.

3.1. A vizsgált menetellenállások

A vontatási vizsgálatok a célkitűzésben közölt, terepi balesetek után a jármű haladását szimuláló modell alapadataira irányultak. Ezek a beviteli paraméterek jellemzik és meghatározzák a jármű mozgékonyaságát terepen,

ezért az adatbázis bővítése fontos feladat. A célkitűzésben megfogalmazott feladat az épített utat elhagyó jármű sebességének meghatározása pályaelhagyáskor. A terepre behatoló jármű menetellenállását meghatározza:

- a gördülési ellenállás
- légellenállás, mely kis sebesség esetén elhanyagolható
- a keréktűrés jelensége
- és a terepegyenetlenségek hatása, mint pl.: árkok, növényzet, fa, bokor, terepszakaszk lejtése, emelkedése.

3.2. A mérések előkészítése

Ahhoz, hogy a vontatott jármű ne az öt vontató traktor nyomvonalán haladjon, speciális vonószerkezetet kellett kialakítanunk. A mérések során az egyik legfontosabb mért paraméter a vonóerő volt. Ennek mérésére a vonószerkezetre szerelt 5 tonna teherbírású erőmérőcellát alkalmaztunk. A kísérletek során mértük a megtett utat fordulatszám jeladóval, illetve öt gyorsulásértéket vizsgáltunk a vontatott járművön: a bal első keréken x , y , z irányú, a jobb keréken z , az ülés mellett szintén z függőleges irányú gyorsulásokat mértünk. A különböző kísérleti beállításokat egy betűvel és egy számmal jelöltük (pl.: H1.5), ahol a betűjel utalt a vizsgált terepre, a szám pedig a vizsgálati járművön beállított abroncsleányomásra.

Vizsgált talajállapot és jelölésük:

- B=Beton
- T=Tarló
- H=Hántolt (tárcsázott)
- K=Kultivátorozott

A beállított abroncsleányomás értékek mind a két tengelyen:

- $p_1=1,5$ bar
- $p_2=1,8$ bar
- $p_3=2,1$ bar
- $p_4=2,4$ bar

Vontatott jármű haladási sebessége:

- $v=10$ km/h

A mérések során fontos feladat volt a talajvizsgálatok elvégzése, amelyek magában foglalták a talaj fizikai összetételének meghatározását, illetve a talajmechanikai paraméterek mérését. A talajmintákat a SZIE talajtani laboratóriumában, illetve az MTA TAKI laborjában elemeztük. A nedvességtartalom meghatározást a laboratóriumi vizsgálatokon kívül, helyszíni nedvességtartalom mérővel végeztük. A kúpos index és nyírószilárdság méréshez a mérőeszközök a tanszék rendelkezésére álltak. A kúpos indexet Eijkelkamp-típusú Penetrologgerrel, a nyírószilárdságot Geonor H-60 típusú helyszíni torziós nyírókészülékkel mértük. A kapott nyírásértékekből meghatározható a talaj kohéziója és a belső sűrűsége, majd megszerkeszthető a talajra jellemző Coulomb-egyenes. A talajok víztartó képességére jellemző pF számot az MTA TAKI-ban volt lehetőségünk elkezdeni vizsgálni egy Eijkelkamp-típusú pF-mérő berendezésen. A vizsgálati folyamat több hónapot vesz igénybe, így a mérés még folyamatban van.

3.2.1. Mérés betonon

A betonon való vontatás megfelelt a deformálódó kerék - merev pálya kapcsolatnak. A betonon történt mérést és a szántóföldi méréseket összehasonlítva, megkapjuk a gumibroncs deformációs veszteségét. A vontatást itt nem a terepre tervezett vonószerkezettel végeztük, mivel itt a szűz területnek (talajdeformációnak) nincs jelentősége. A vontatott járművet a traktor mögé kötöttük, és így mértük a vonóerőt és a gyorsulásértékeket.

A mérés menete:

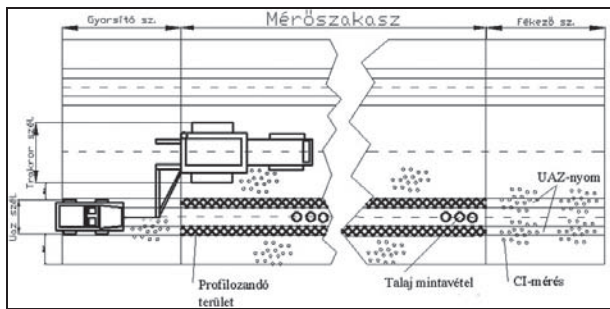
- Kijelöltük a mérő szakasz határait, amelyben a vizsgált jármű kerekének haladnia kellett.
- A helyszínrajznak megfelelően a szerelvény felállt a mérőterületre.
- A traktorral elkezdtük vontatni a járművet úgy, hogy a megadott vontatási sebességet elérve (10 km/h) kezdtük el mérni az időt, a megtett utat, vonóerőt és az 5db gyorsulásértéket.
- A mérőszakasz végét elérve, a szerelvény lassított, majd megállt. A mérést háromszor megismételtük mind a négy abroncsleányomás mellett.

3.2.2. Szántóföldi mérés

A szántóföldi vontatásnál szükség volt a vonószerkezetre, mivel érintetlen területen kellett vontatni a járművet (3-4. ábra). A szántóföldi mérés fő célja a gördülési ellenállás, vonóerő igény, szlip, talajdeformáció és kerékgyorsulások vizsgálata volt.

A mérés menete:

- Mérőszakasz felvétele, ennek kijelölése jelölőoszlopokkal és kötéllel történt.
- A vontatott jármű nyomvonalának kijelölése.
- A profilozáshoz szükséges bázispont kijelölése.
- A kijelölt nyomban a talajprofil felvétele 10 cm-es lépésközökkel, profiladatok rögzítése, 101 mérés mindkét nyomvonalon, vontatás előtt és után, így összesen 404 profiladat rögzítése történt meg egy vontatási vizsgálat során.
- Talajmintavétel a két nyomvonal közötti területről, 5 méterenként 3 mintavevő hengerrel a talajfelszínről.
- A kúpos index és helyszíni nyírószilárdság mérése. A méréseket a jármű nyomvonalában végeztük el a vontatás előtt illetve utána.
- Nedvességtartalom meghatározása helyszíni mérőkészülékkel minden talaj-mintavételi pont mellett és a leendő keréknyomban.
- Járműszerelvény beállítása a kijelölt szakaszra.
- Vontatás elvégzése 10 km/h sebességgel.
- Talajmechanikai mérések ismétlése vontatás után a nyomban, a fent leírtak alapján (CI, nyírószilárdság)
- A mérési adatok mentése (vontatási erő mérés, 5 db gyorsulásérték mérés, szlip)
- Kiértékelés



3. ábra. Szántóföldi mérés, járműszerelvény elrendezés



4. ábra. Szabadföldi vontatási vizsgálat

3.2.3. Keréktúrás vizsgálata

A keréktúrás jelenség vizsgálatához szintén szabadföldi méréseket végeztünk, abból a célból, hogy meghatározzuk az energetikai modellhez szükséges túrási tényező nagyságát. A mérést vontatott járművel végeztük. A vontatás során három különböző sebességre gyorsítottunk fel, majd fékezést követően, a jármű kereke túrást idézett elő. A méréseket 10-15-20 km/h sebességeknél végeztük el, minden esetben érintetlen felületen, tarlón, hántolt-és kultivátorozott területen egyaránt. Miután a kerék belemélyedett a talajba és létrehozta a túrást, megmértük a besüllyedés mértékét, illetve a kerék előtt felhalmozódott talaj magasságát. A vizsgálatok során továbbá mértük a vonóerő nagyságát, és a gyorsulásértékeket. Az 5. ábrán a túrást követően a talajba süllyedt kerék látható.



5. ábra. Keréktúrás vizsgálata

3.3. A mérésekhez használt műszerek, eszközök bemutatása

- Egyedi kialakítású vonószerkezet, átalakított villásemelő (6. ábra), sodronykötél
- 5 tonna teherbírású erőmérő cella, mérőakkumulátor
- 3 irányú gyorsulásérzékelők
- Spider-8 típusú adatgyűjtő rendszer, mérőszámítógép
- Fordulatszám jeladó („ötödik kerék”)
- Geonor H-60 típusú helyszíni torziós nyírókészülék
- Eijkelkamp-típusú Penetrologger
- SMM1-típusú helyszíni talajnedvesség mérő
- Terepprofilozó készülék
- Eijkelkamp-típusú laboratóriumi pF mérő berendezés
- Talajmintavevő hengerek
- Talpmérlegek a járműtömeg meghatározására
- Digitális kézi kamera, GPS készülék (sebességméréshez)



6. ábra. Egyedi kialakítású vonó- és emelőszerkezet

4. EREDMÉNYEK, ÉRTÉKELÉS

Az egyes mérési adatsorok jelentős mennyiségű adatot eredményeztek. Minden vontatási kísérlet során mértük a vonóerő nagyságát, a járműre ható gyorsulásokat, a talaj nedvességtartalmát, kúpos index értékét és a nyírószilárdságot. A talajparaméter méréseket a vontatás előtt és után is elvégeztük.

4.1. Talajminták vizsgálata

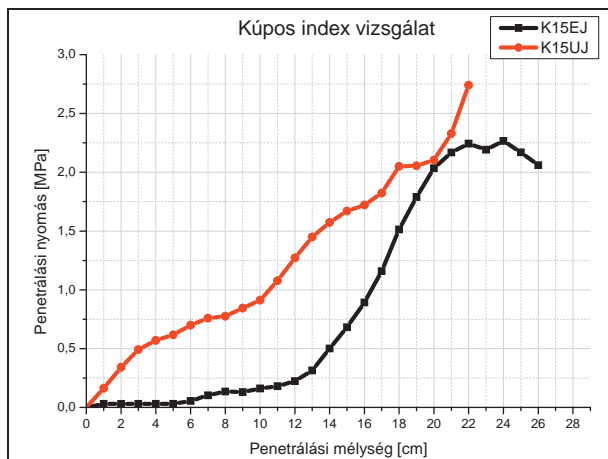
A kísérleti terület talajtulajdonságainak vizsgálatát a SZIE talajtani laboratóriumában végeztük el. Az eredményekről jegyzőkönyv készült, a jellemző értékeket a 1. táblázatban szemléltetem. A talajmintákat tarlón, tárcsázott, és kultivátorozott területen gyűjtöttük, mindhárom esetben 24 mintát vettünk. A 24 minta alapján a laboratóriumban értékelhetők voltak a talajra jellemző tulajdonságok. A terület pF függvényének meghatározása, mint korábban már említettem, hosszabb időt vesz igénybe, a laboratóriumi vizsgálatok jelenleg is folynak az MTA TAKI laboratóriumában.

1. táblázat: Talajvizsgálati adatok

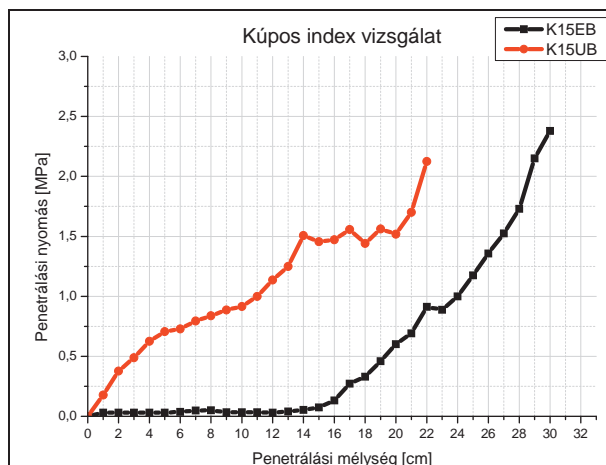
Művelési állapot:	Tarló	Tárcsázott	Kultivátorozott
A talaj típusa:	vályogos homok	vályogos homok	vályogos homok
Nedvességtartalom szárazbázisra von. [%]	15,80	11,50	10,80
Pórustérfogat [%]	36,00	38,00	42,00
Térfogattömeg [g/cm^3]	1,632	1,626	1,522
Növényzet	Tarló + gyomn.	gyér gyomn.	nincs növényzet

4.2. Kúpos index (CI) vizsgálata

Az 7-8. ábrán látható egy példa a kultivátorozott területen történt kúpos index mérésre. A vízszintes tengelyen a penetrálási mélység cm-ben, a függőleges tengelyen a penetrálási nyomás MPa-ban kifejezve. A Penetrologger digitálisan rögzítette a penetrálási nyomás értékeket. A kapott adatokból könnyen szerkeszthetők a kúpos index diagramok. A méréseket a vontatás előtt és után is elvégeztük a vontatott jármű nyomvonalában. A jobb és a bal oldali nyomvonalakban egyaránt 10-10 ismétléssel végeztük a méréseket. A 7-8. ábrákon a 10-10 ismételt mérés átlaga látható diagramon szemléltetve. A görbék jelölése jelzi, hogy a mérés a vontatás előtt vagy után, illetve, hogy melyik nyomban történt. Például a K15EJ jelentése, hogy a mérést kultivátorozott területen, 1,5 bar abroncsleégnyomás beállítással vontatás előtt a jobb oldali nyomban végeztük el. A K15UJ jelentése ugyan ez, de ez a vontatás utáni állapotot jellemzi. A kúpos index méréseket minden talajállapoton és minden abroncsleégnyomáson elvégeztünk a leírtak alapján.

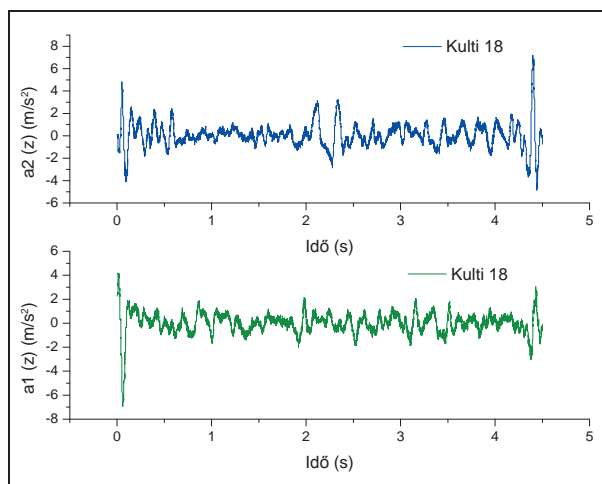


7. ábra. Kúpos index vizsgálat hántolt területen, jobb oldali nyomban, vontatás előtt és után



8. ábra. Kúpos index vizsgálat hántolt területen, bal oldali nyomban, vontatás előtt és után

4.3. Vonóerő- és gyorsulásértékek vizsgálata

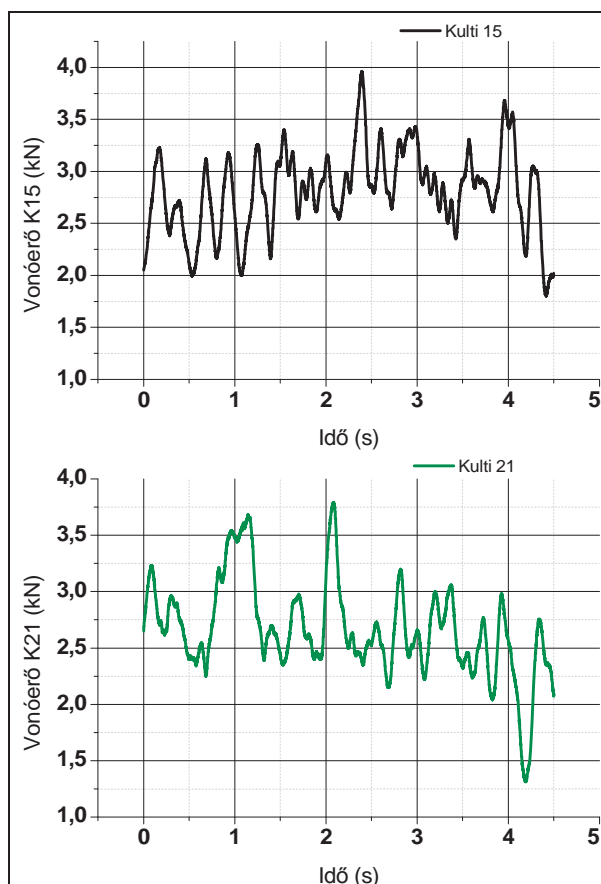


9. ábra. Kultivátorozott területen 1,8 bar abroncsleégnyomás mellett felvett z irányú gyorsulásértékek

A 9. ábrán látható egy példa a gyorsulásmérés során kapott eredmények ábrázolására. Az ábra a kultivátorozott területen, 1,8 bar abroncsleégnyomás mellett felvett, jobb és bal keréken mért z irányú függőleges gyorsulásértékeket szemlélteti. A vízszintes tengelyen a mérőszakaszon való haladás során eltelt idő látható másodpercben, a függőleges tengelyen a gyorsulások m/s^2 -ben. A bal keréken mértük az $a1$ jelű, a jobb keréken az $a2$ jelű, z irányú gyorsulást. A talaj jármű kapcsolatra nagy hatással vannak a lengésgyorsulások, ezért volt fontos, hogy mérjük a függőleges irányú gyorsulásokat is. A menetellenállások mellett a lengésemből származó erőhatások is csökkentik a jármű energiáját haladása során.

A 10. ábra egy adott talajállapoton (kultivátorozott terület) elvégzett mérések vonóerő értékeit mutatja be. A vízszintes tengelyen a mérés időtartama látható má-

sodpercben, függőleges tengelyen pedig a vonóerő nagysága kN-ban. Az ábra feletti megnevezés jelzi, hogy milyen mérőszakaszon és milyen abroncslégnymóson történt a mérés (pl: Kulti 15: Kultivátorozott terület, 1,5 bar nyomáson).

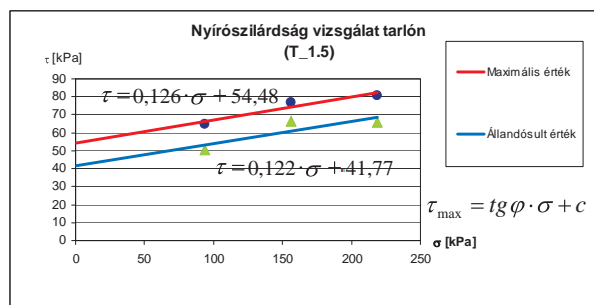


10. ábra. A kultivátorozott területen felvett vonóerő változás

4.4. Nyírószilárdság és kohézió vizsgálata

A kohézió értékének meghatározásához helyszíni nyírószilárdság vizsgálatokat végeztünk. A méréseket minden talajállapotnál (tarló, tárcsázott tarló, kultivátorozott) elvégeztük. A mérőműszerre vas tárcsákat erősítettünk a normálterhelés demonstrálása érdekében. Három különböző tömegű tárcsát helyeztünk a műszer szárára, melyek tömege 3-5-7 kg volt. A normálterhelés függvényében ábrázolható a nyírószilárdság értéke. A diagram a Coulomb-egyenestek adja meg, maximális és állandósult nyírásnál. Maximális nyírószilárdságnak nevezük azt az értéket, ahol a kohézióval rendelkező talaj megtörik. További terhelés hatására egy állandósult értéket mér a műszer, amelyet a megtört kohézió és a belső súrlódás eredményez. Mind a három tárcsával járműnyomonként 10 ismétlést végeztünk, melyeket átlagoltunk. Így egy tárcsához tartozó maximális és állandósult nyírószilárdság érték, 10 ismétlés átlaga. A

11. ábra egy tarlón történt mérést szemléltet. A vízszintes tengelyen a normálterhelés értéke átszámítva kPa-ba, a függőleges tengelyen a nyírószilárdság szintén kPa-ban.



11. ábra. Nyírószilárdság vizsgálat tarlón

4.5. Gördülési és túrasi ellenállási tényezők meghatározása

A vontatott jármű (GAZ 69) tömege 1445 kg volt vezetővel együtt. A jármű mozgását a járműmozgás differenciálegyenlete írja le. A differenciálegyenletben szerepel a lejtő meredekségéhez szükséges erő, amellyel nem számoltam, mivel síknak vettem a mérési területet. A légellenállás leküzdéséhez szükséges erővel szintén nem kellett számolnom, mivel 10 km/h-val történt a vontatás, a túrás során pedig 20 km/h-át értünk el maximálisan. Ezek a sebességértékek kellen kicsik ahhoz, hogy elhagyható legyen a légellenállás. További tag a differenciálegyenletben a gyorsításból származó gyorsító erő, amelyet ugyancsak elhagytam, mivel nem történt gyorsítás a vizsgálatok során. Egyedül a gördülési ellenállást illetve a túrasi ellenállást kellett figyelembe vennem, mivel ezeknek jelentős hatása volt a jármű mozgására. Jelen esetben a vontatás során mért erő megegyezik a gördülési és túrasi ellenállásokkal, mivel a többi tényezőt elhanyagoltam.

A gördülési és túrasi ellenállások meghatározásához a következő összefüggést alkalmaztam:

$$F_v = G \cdot \rho_{g/t} \quad [N] \quad (2)$$

$$\rho_{g/t} = \frac{F_v}{G} \quad [-] \quad (3)$$

ahol:

- F_v a mérések során mért vonóerő, amely megegyezik a gördülési ill. túrasi ellenállással.
- G a jármű súlya,
- $\rho_{g/t}$ gördülési illetve túrasi ellenállási tényező.

A kiszámított gördülési és túrasi ellenállási tényezőket a mérési területhez tartozó kúpos index és nedvességtartalom értékekkel együtt foglaltam táblázatba. A kúpos index értékeket 15 cm mélységig vettem figyelembe, mivel a kerékterhelés a talajfelszínre hat leginkább. A 2.

és 3. táblázatban jól látható a különbség a gördülési és túrasi ellenállási tényezők között. Minél lazább a talaj szerkezete, annál nagyobb ellenállási tényezőt kapunk. Túrás során a tényezők értéke 1,00 fölé emelkedik. Ha ez az érték alatt marad, akkor még gördülésről beszélünk.

2. táblázat: Gördülési ellenállási tényező, kúpos index, nedvességtartalom értékek

	Vontatási seb. (km/h)	Abroncs nyom (bar)	Kúpos index (MPa)	Nedvességt. (%)	Gördülési ell. (-)
Beton	10	1,5	-	-	0,0237
	10	1,8	-	-	0,0182
	10	2,1	-	-	0,0149
	10	2,4	-	-	0,0118
Tarló	10	1,5	0,6801	13,95	0,0936
	10	1,8	0,4487	14,82	0,1117
	10	2,1	0,2895	16,75	0,1077
	10	2,4	0,6448	14,63	0,1032
Tárcsázott	10	1,5	1,1291	13,75	0,0528
	10	1,8	0,8407	13,82	0,1015
	10	2,1	1,1101	14,18	0,0973
	10	2,4	0,7733	10,45	0,1194
Kultivált	10	1,5	0,1008	10,05	0,1986
	10	1,8	0,1107	12,05	0,2029
	10	2,1	0,1688	11,18	0,1882
	10	2,4	0,1356	9,25	0,2005

3. táblázat: Túrasi ellenállási tényező, kúpos index, nedvességtartalom értékek

	Vontatási seb. (km/h)	Abroncs nyom (bar)	Kúpos index (MPa)	Nedvességt. (%)	Túrasi ell. (-)
Tarló	10	2,1	0,5158	15,31	0,9016
	15	2,1			1,0024
	20	2,1			0,7879
Tárcsázott	10	2,1	0,9633	15,38	1,1506
	15	2,1			1,1823
	20	2,1			1,3601
Kultivált	10	2,1	0,1289	14,28	1,4624
	15	2,1			1,2282
	20	2,1			1,3058

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A jármű kerekeinél mért függőleges gyorsulások 2-4 m/s² között változtak. A vonóerő mérés eredménye jól tükrözi a terepi mérések sajátosságait, az egyenetlen talajfelszín miatt a vonóerő sem állandó. Vizsgálataim során egy adott mérési szakaszhoz tartozó átlag erővel számoltam, a 10. ábrán látható esetben ez az érték (Kulti15) 2817 N és (Kulti21) 2667 N. A nyírószilárdság és kohézió vizsgálatáról egy kiemelt példát mutattam be a 11. ábrán, ahol látható, hogy a tarlón történt mérések során a maximális nyírószilárdság 55 kPa, a talaj belső súrlódása 0,126 és a hozzá tartozó kohézió nagysága 54,48 kPa. Minden mérési területen, különböző abroncsleányomások mellett meghatároztam a gördülési ellenállási tényezőket, melyeket a 2. táblázatban foglaltam össze. A betonon 0,012-0,024-ig változott a

tényező, tarlón 0,094-0,112 között, tárcsázott területen 0,053-0,12 és kultivátorozott területen 0,188-0,203 között változott az abroncsnyomások függvényében. A túrasi vizsgálatok során meghatároztam a túrasi tényezőket is, melyek a 3. táblázatban láthatók. Tarlón 0,788-1,002 között, tárcsázott területen 1,15-1,36 és kultivált területen 1,23-1,46 között változott az értéke. A kúpos index és nedvességtartalom értékeket szintén a 2. és 3. táblázatban rögzítettem. Tarlón a kúpos index értéke 0,289-0,6801 MPa, tárcsázott területen 0,773-1,129 MPa és kultivált területen 0,101-0,1688 MPa között változott. A talaj nedvességtartalma 9,25-16,75 % között változott a mérések során.

A kutatási célunkban megfogalmazott modell felépítéséhez nélkülözhetetlen volt a szántóföldi mérések elvégzése. A mérések során alapadatokat határoztunk meg, amelyek mint egy talaj-adatbázisba beépítve használhatóak a modell felírása során. A legfontosabb adatok a gördülési, ill. túrasi ellenállások, kúpos index értékek valamint a nedvességtartalom. A Járműtechnika Tanszék korábbi terepjáráseleméleti kutatásai nagy segítséget nyújtanak az értékelések során, hiszen a talaj-jármű kapcsolat illetve a gumiabroncs-talaj közötti kölcsönhatás határozza meg a baleset után terepre behatoló gépjármű mozgását.

Meghatároztam az egyes mérőszakaszokon a gördülési ellenállási tényezőket, illetve a túrasi ellenállási tényezőket. A kúpos index, nedvességtartalom és talaj fizikai összetétele függvényében, ezek az ellenállási tényezők jól használhatóak a számítások során.

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy egy pályaelhagyásos baleset során nem ismerem a jármű sebességét, csak a terepen hagyott nyomokat, szükséges a balesetet az ellenállások oldaláról vizsgálni, mik azok az erők, amelyek lassították, majd megállították a járművet. Ha ezeket kellő pontossággal meg tudom határozni, a bevezetésben közölt mozgási energia változásából meg tudom határozni a jármű sebességét a pályaelhagyás pillanatában.

A jármű sebességének ismerete döntő fontosságú a balesetek vizsgálata során. A szakértők minden esetben a jármű sebességét próbálják meghatározni az épített úton, vagy a terepen hagyott nyomokból. A legnagyobb problémát a terep okozza, aminek a hatását csak közelíteni tudják tapasztalati értékekkel.

Ha ismerem a jármű tömegét, a jármű által megtett távolságot a terepen, illetve a talajparaméterek hatását, és a járműre ható erőket meg tudom határozni, akkor a pályaelhagyás pillanatában ki tudom számolni a jármű sebességét (feltételezve, hogy a terepen megállt, sebessége 0 lett).

7. IRODALOM

- [1] BURG H., MOSER A.: Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion. Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, 2007
- [2] GURMAI L., KISS P.: Modelling Terrain Conditions. In: Proceedings of 11th European Regional Conference of the ISTVS, P-39, Bremen, Germany, 2009
- [3] HUGEMANN W.: Unfallrekonstruktion, Band 1: Grundlagen. Münster, Schönbach-Druck GmbH, 2007, pp. 222-226.
- [4] KASANICKY G.: PKW Überschlag an Böschungen. XIV. EVU-Annual Meeting, Bratislava, 2005
- [5] KISS P., LAIB L.: Effect of soil deformation on the energy balance of tractors. In: Bulletin of the Szent István University p. 17-29. Gödöllő, 1997-2000. ISSN 1586-4502
- [6] KISS P.: Effect of Soil Deformation on the Energy Balance of Tractors In: Hungarian Agricultural Engineering No. 12. p. 35-40. 1999. HU ISSN 0864-7410
- [7] KISS P.: Rolling Radii of a Pneumatic Tyre on Deformable Soil In: Biosystems Engineering (2003) 85 (2), 153-161 ISSN 1537-5110
- [8] KISS P.: Determination of the Rolling Radii in the Interaction of a Pneumatic Tyre and Deformable soil. In: Hungarian Agricultural Engineering No. 17. p. 71-73. 2004. HU ISSN 0864-7410
- [9] KISS P.: Az off-road jármű és a talaj kapcsolata, mint a jármű sebességét és a balesetek bekövetkezését befolyásoló tényező. Járművek és Mobil Gépek online folyóirat, www.vehilces.hu domain név alatt, 2009 II. évf. 5. szám, pp. 459-473.
- [10] KSH (2009) Központi Statisztikai Hivatal online adatbázisa. <http://portal.ksh.hu/>
- [11] LAIB L.: Terepen mozgó járművek. Budapest, Szaktudás Kiadó Ház, 2002. pp. 306-338.
- [12] LAIB L.: Terepjáró járművek mozgékonyasága terepen. Kandidátusi értekezés, Gödöllő, 1989
- [13] LIU C., SUBRAMANIAN R.: Factors Related to Fatal Single-Vehicle Run-Off-Road Crashes. NHTSA Technical Report. DOT HS 811 232. DC: National Highway Traffic Safety Administration, Washington, 2009
- [14] MÁTHÉ L., LAIB L.: Baleset esetén a terepre behatoló gépjármű mozgásának elemzése a talajmechanikai paraméterek ismeretében. XXXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2010. február 02.
- [15] PILLINGER GY., KISS P.: Terepjáró járművek mozgékonyaságát befolyásoló tényezők vizsgálata. XXXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Kiadványa, Gödöllő, 2010, p36. ISBN 978-963-269-165-7
- [16] SCHUCHMANN G., KISGYÖRGY L.: Közlekedéstervezés – Utak. Egyetemi jegyzet. Azonosító: 95037, Műegyetemi kiadó, 2001
- [17] SZALAY D. K., TOLNER I. T., DEÁKVÁRI J., KARDEVÁN P., JUNG A., FENYVESI L.: A hiperspektrális technológia erőforrásai a Mezőgazdasági Gépesítési Intézetben - Az ASD FieldSpec®3 spektrométer bemutatása és a terepi mérési technológia ismertetése. XV. ESRI Magyarország Felhasználói Konferencia, 2010. október 07.

KONVEKCIÓ HENGERES TALAJ RENDSZEREK BEN

CONVECTION IN CYLINDRICAL SOIL SYSTEMS

Nagy Norbert*, Gyarmati Bernadett**, Dr. Mészáros Csaba***,
Dr. Klaus Gottschalk****, Dr. Bálint Ágnes*****

ABSTRACT

The aim of the investigation was to study the convection in cylindrical soil systems; hence a new experimental system was designed.

Three soil column experiments were made 48 hours with two different soil types, respectively. The soils were prepared on different manner: one of them was in original form, then, the same soil column was saturated by water and the third one (different soil type) was frozen before the IR radiation.

Then, the surface of the core was exposed to infra-red radiation with a 12 hours periodicity, by which the Sun cycle was simulated. The temperature and moisture changes were followed along the sampling ports and on the soil surface during the 48 hours of the experiments. The fluctuations of air moisture content and temperature were measured in the air, too.

One sample had a height of 200 mm and its diameter was 180mm. Sensors were installed at the depth of 60mm, 120mm and 180mm. The experiment was carried out in a closed and isolated box to prevent the system from external disturbances. The data logging was done by Almemo 2980-9-measuring instrument and AMR transferring program was used to import the data to PC.

1. BEVEZETÉS

Gyakorlati szempontból a hőenergia áramlás a talaj és a közvetlen felette elhelyezkedő légréteg között döntő jelentőségű, akár egy mezőgazdasági művelés alatt álló terület mikroklímájáról [1] vagy egy épület passzív hűtő/fűtő rendszeréről legyen szó [2].

A konvekció leggyakoribb esetekben hőmérséklet gradienssel gerjesztett áramlás, ami egy olyan tipikusan nemegyensúlyi folyamat, amely térben és időben inhomogén anyageloszláshoz vezet, ennek eredményeképpen több esetben periodikusan ismétlődő mintázat alakulhat ki [3,4].

Ez a termodinamikai folyamat jól megfigyelhető fagymentés talajok kialakulása esetében, ahol elsősorban szabad konvekcióról beszélünk [5].

Az energiahordozó közeg ez esetben a víz, amelynek azon tulajdonsága, hogy sűrűsége +4 Celsius fokon éri el a maximumot, közvetetten instabilitást okoz a fagyott talajrendszerben. Tehát az olvadó talajban ezért a következő folyamat játszódik le: a napsütés hatására megolvadt talajnedvesség sűrűbb és ezáltal nehezebb az alatta elhelyezkedő vízrétegnél, ezért alásüllyed. Eközben újra lehűl, amely újabb sűrűségváltozáshoz vezet és újabb instabilitást okoz a fagyott talajrendszerben, s amely ezáltal kvázifolytonosan cirkuláló cellákat hoz létre. Így a konvekció a talaj fagyhatáron lévő felszínét alakítja, mely réteg a konvekciós cellák alakját tükrözve barázdálódásnak indul.

A talaj feletti légtérben a levegő a hőenergiát hordozó közeg, s így a kialakuló konvekciós légáramlatok sok esetben a levegő aeroszoltartalmának növekedéséhez járulnak hozzá [6], mivel a talaj nagymennyiségben képes finom szemcsék kibocsátására.

Ez környezetvédelmi szempontból igen fontos makroszkopikus fizikai folyamat, s ezért a talaj/levegő rendszerben zajló konvekció tanulmányozása az anyagáramlási probléma megértésében játszik fontos szerepet.

Ennek szellemében terveztük meg kísérletünket, amelynek célja a konvekció tanulmányozása talajoszlopokban és a felettük elhelyezkedő légtérben. Jelen dolgozatban csak a talajoszlopban kialakuló folyamatokhoz kapcsolódó mérések eredményeit közöljük.

2. A TALAJOSZLOP KÍSÉRLET

2.1. A kísérlet célja és folyamata

Kísérleti szempontból a határfelületen történő hőátviteli vizsgálatok talaj esetén nehezen kivitelezhetőek a nagyságrendben kis fluxusok a mérési lehetőségekhez képesti pontossághoz képest és a nagy térbeli variabilitás miatt. Ezt figyelembe véve a kísérleti beállítás a következőképpen történt: eredeti szerkezetű, vízzel a maximális vízkapacitásig telített és telítés után fagyasztott talajoszlop felszínét infravörös sugárzásnak tettük ki 12 órás periódusokban, ezzel szimulálva a napsugárzás alapciklusát. A vizsgálat célja a hőmérséklet-, ill. a nedvességtartalom-változás mérése a talaj különböző rétegeiben.

* egyetemi hallgató, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

** PhD hallgató, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

*** egyetemi docens, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék

**** laboratórium vezető, Leibniz Institut für Agrartechnik, Potsdam-Bornim

***** egyetemi docens, Szent István Egyetem Kémia és Biokémia Tanszék

2.2. Infravörös sugárzás

A Nap melegítő sugárzásának hatását infravörös sugárzást kibocsátó lámpával modelleztük. Az infravörös tartományban sugárzó lámpa az infravörös sugárzás 8 µm-től 15 µm-ig terjedő hullámhossz tartományát bocsátja ki, amely a távoli infravörös sugárzásnak (LWIR, IR-C) neveznek, nagyjából 80%-ban az útjába eső tárgyakat, 20%-ban a levegőt melegíti. A Nap 24 órás pályáját elhanyagoltuk, a lámpa rögzített pontból sugárzott, a hengeres talajoszlopok felszínére merőlegesen, amely felől a talaj mélyebb rétegei fokozatosan átmelegednek.

Az infralámpát 400 mm magasságban helyeztük el a talajfelszín felett. Az időzítőt 12 órás periódusokra állítottuk be. A négy 48 órás méréshez Philips Infrared R95E 100W lámpát használtunk.

2.3. A talajoszlopok és telítésük vízzel

A kísérletek során összesen 2 különböző típusú, kvázi-bolygatatlan talajmintát használtunk. A talajfelszíntől számítva mind a három talajoszlopnál 60 mm, 120 mm és 180 mm mélységben kör keresztmetszetű nyílásokat alakítottunk ki külön két oldalt a hőmérsékletmérő szenzoroknak és a talaj tenziométereknek.

Összesen három, egyenként 48 óráig tartó mérést végeztünk a 2 különböző típusú talajmintával. Különböző módon készítettük elő a talajokat:

- Első kísérlet: az „ORGANIC”-nak nevezett talajoszloppal (homoktalaj) eredeti állapotában, közvetlenül a mintavétel (Potsdamban az ATB Intézet mellett található folyó mellől) után kezdtük meg a kísérletet.
- Második kísérlet: szintén az „ORGANIC”-nak nevezett talajoszloppal kezdtük meg a méréseket, de ebben az esetben előzetesen vízzel telítettük a talajoszlopot.
- Harmadik kísérlet: előzetesen a „HUBA”-nak (barna erdőtalaj, Magyarország) nevezett talajoszlopot vízzel telítettük, majd még közvetlenül a mérést megelőzően 12 órás fagyasztásnak tettük ki.

A talajoszlopok vízzel történő telítéséhez (1. ábra) a közlekedő edények elvét vettük alapul azért, hogy a talaj struktúrájában lehetőleg minimális változást okozzunk (bár a talajminták készítésénél elkerülhetetlen volt a talajszerkezet kismértékű roncsolódása).



1. ábra. A talajoszlop vízzel történő telítése

Egy zárt víztelítő rendszert alakítottunk ki, amelynek lényege, hogy a víz a talajoszlophoz képest magasabban elhelyezkedő edényből a hozzá rögzített műanyag csövön keresztül folyik ki, amely a talajoszlop aljához is rögzítettünk, ezáltal telítjük a porózus talajszerkezetet. A telítéshez a talajmintától függően legalább 24 óra szükséges.

2.4. A méréshez használt szenzorok

A talajoszlop három mélységében, annak felszínén és egy, a talajoszlop felszíne felett oldalt elhelyezkedő pontban szenzorokkal mértük a hőmérséklet és nedves-ség-tartalom változást a 48 órás kísérletek során. A talajoszlop felszíne feletti légtérben egy levegő nedves-ség- és hőmérsékletmérő szenzort helyeztünk el, amely 120 másodperces időközönként továbbította az adatokat a számítógépbe.

A szenzorok elhelyezkedése és megnevezése a következő volt:

- A talajfelszíntől mérve 60 mm, 120 mm és 180 mm mélységben egy-egy hőmérsékleti szenzort (TYP K ZA-9020-FS NiCr-Ni BE NiCr °C) és tenziométert (Ahlborn Insertion Tensiometer) helyeztünk el (2. ábra).



2. ábra. A hőmérséklet szenzorok és a tenziométerek elhelyezkedés a talajoszlopban

- A talajfelszín hőmérsékletét egy egyszerű hőmérsékleti lapszenzorral mértük.
- A talajoszlophoz közel, az infralámpa sugárzásába közvetlenül nem eső pontban, oldalt egy állványon kombinált hőmérséklet-levegőnedvesség szenzort állítottunk be, amely a zárt tér egy adott pontjának relatív páratartalmát (% rH) és hőmérsékletét méri.

A relatív páratartalom a levegőben oldott vízgőz mennyisége a maximálisan oldható vízmennyiség százalékában kifejezve, azaz:

$$RH = 100 \cdot \frac{P_w}{P_s}$$

ahol: P_w a részleges vízgőz nyomás, P_s pedig az adott hőmérséklethez tartozó telítési nyomás [7].

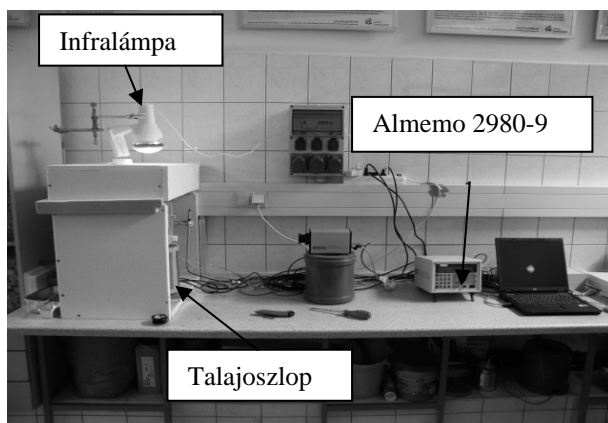
- A tenziométer, amelyet a kísérletek során alkalmaztunk egy vízzel töltött üvegcső és egy digitális érzékelővel összeköttetésbe hozott porózus kerámiacsúcs, amely permeábilis a víz, de impermeábilis a levegő számára.

Méréskor az előzetesen kiforralt desztillált vízzel buborékmentesen feltöltött tenziométer kerámiacsúcsát a talajba kell helyezni. A talaj szilárd fázisának szívóereje hatására a csúcson keresztül víz szívárog a talajba. Mivel a tenziométer zárt belső terébe kívülről nem juthat be levegő, a kiszivárgott víz miatt a belső térben vákuum keletkezik, amelynek mértékét a manométer rögzíti.

A tenziométer tulajdonképpen a talajnedvesség „szívóerejét” kifejező nyomást, az általunk használt szenzoros tenziométer 0-900 hPa tartományban képes mérni. A manométeren leolvasott vákuum vízoszlop-cm-re számítható át, s ennek alapján az adott talajra jellemző pF-görbéről közvetlenül leolvasható a mért tenzióhoz megfelelő nedvességtartalom. Ahogyan a talaj szárad a tenzió növekedni fog, egyenes arányban a talaj folyamatos száradásával [8].

Az összes szenzort az adatrögzítőhöz (Almemo 2980-9) csatlakoztattuk. A mérések végén Excel táblázatokba mentettük a mérési adatokat.

A kísérleti beállítás a 3. ábrán látható:



3. ábra. A talajoszlop kísérleti beállítása

A méréseket hungarocellel körülzárt térben végeztük el (4. ábra), azért, hogy a külső hatások, főleg a légáramok a lehető legkisebb mértékben befolyásolják a mérési eredményeket. Az infralámpának kialakított nyílás volt az egyetlen a szigetelő borításon. A kamera a talajoszloppal és a felületrendszerrel együtt a zárt térben helyezkedett el, az adatrögzítőt és a számítógépet gyakorlati okokból azon kívülre helyeztük.

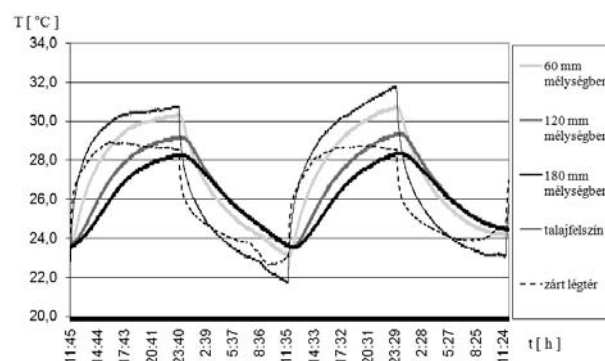


4. ábra. Hungarocellel körülzárt talajoszlop kísérlet

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A következőkben a három kísérlet eredményeit mutatjuk be.

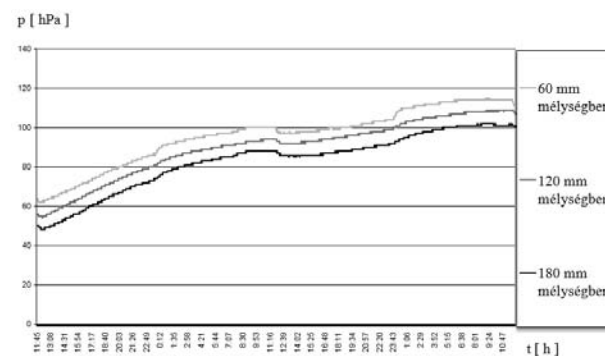
• **Első kísérlet** eredményei a mintavétel utáni „ORGANIC” talajoszlopra vonatkozóan:



5. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai

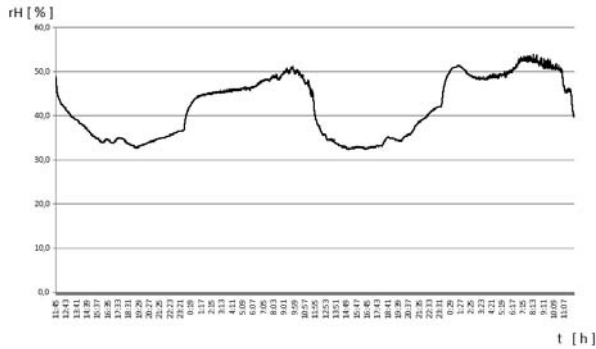
Az 5. ábrán a három vastagabb vonallal jelölt mérési adatsor a talajoszlop három rétegének hőmérséklet változásáról ad információt. A vékony fekete vonal a talajfelszín, a szaggatott vonal a zárt légtér, egy az infralámpa sugárzásába közvetlenül nem eső, a talajfelszín felett oldalt elhelyezkedő pontjának hőmérséklet változását mutatja. Jól látható, hogy a 48 órás kísérlet első 12 órás megvilágított szakaszában a hőmérséklet minden pontban növekszik, értelemszerűen a talajfelszíntől a mélyebb rétegek felé haladva egyre alacsonyabb értékeket ér el. A második, megvilágítás nélküli 12 órában a hőmérséklet a talaj alsó két rétegében közelítőleg kiegyenlítődik, a 60 mm-es mélység, ill. a határfelület, azaz a talajfelszín hőmérséklete tovább csökken. A következő 24 órában a hőmérsékleti adatsor karakterisztikája jó közelítéssel megegyezik az első 24 órával.

A 6. ábrán látható, hogy a talaj három rétegének nedvesség tenziója a kísérlet kezdetén alacsonyabb. Ahogy a talajvíz párologásnak indul a besugárzás hatására, úgy a talaj folyamatosan szárad, növekszik a tenzió. A megvilágítás nélküli szakaszban csökken a tenzió, a kisebb párologás miatt.



6. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlop nedvesség tenzió változása a talaj mélységének függvényében

A 7. ábrán az Organic talajoszlop környezetében mért légtér relatív páratartalmának változását tüntettük fel.

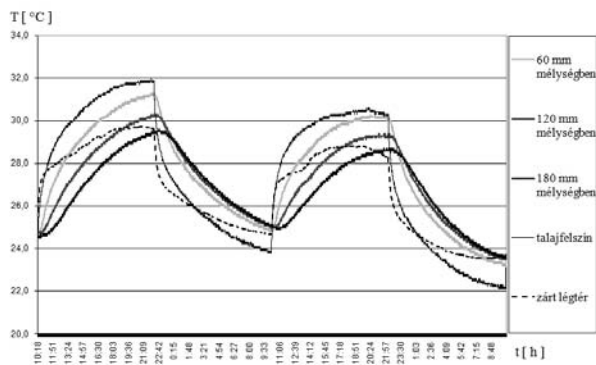


7. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlop felszíne feletti légtér relatív páratartalmának változása

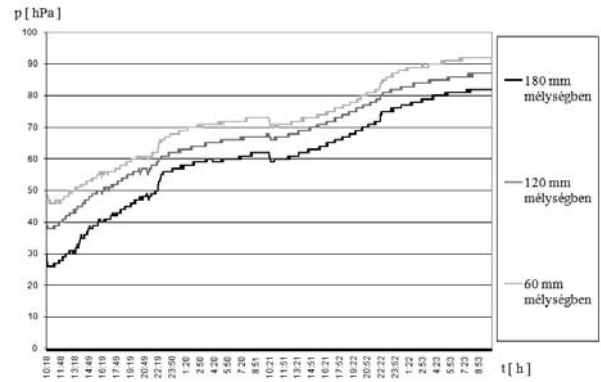
• **Második kísérlet** eredményei a vízzel telített „ORGANIC” talajra vonatkozóan:

A 8. ábrán a jelölés megegyezik az 5. ábrán alkalmazottal. A tendenciák hasonlóak, mint az 5. ábrán, de a hőmérsékleti átlag kissé alacsonyabb, amely nagy valószínűséggel a kísérlet kezdetén beállított telített víztartalomnak köszönhető. A második 24 órában a hőmérsékleti adatsor karakterisztikája jó közelítéssel megegyezik az első 24 óráéval.

A 9. ábra mutatja, hogy a telített „ORGANIC” talajoszlop víznyomása kisebb, tehát nagyobb a nedvességtartalma, mint az ugyanennél a talajnál, de közvetlenül a mintavétel után (6. ábra) végzett kísérlet során. A 10. ábrán látszik, hogy már a kezdetektől fogva magasabb a levegő relatív páratartalma és ez a megvilágítás nélküli második 12 órában a legjobban kifejeződik. Mindez a vízzel telített talaj állapotából következik. A második 24 órában az értékek hasonlóak a telítés nélküli „ORGANIC” talajoszlopnál mértnél (7. ábra.).

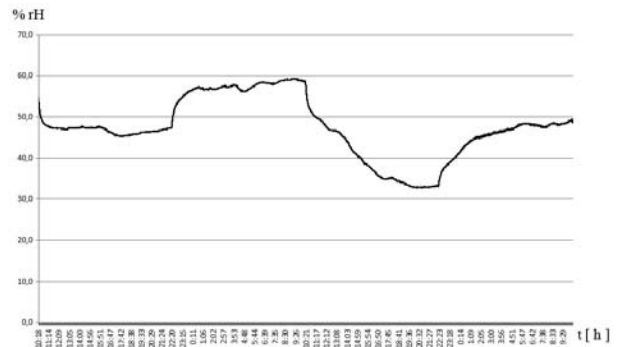


8. ábra. Az „ORGANIC” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai, vízzel telített szintről indulva



9. ábra. A vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop nedvesség tenziójának változása a talaj mélységének függvényében

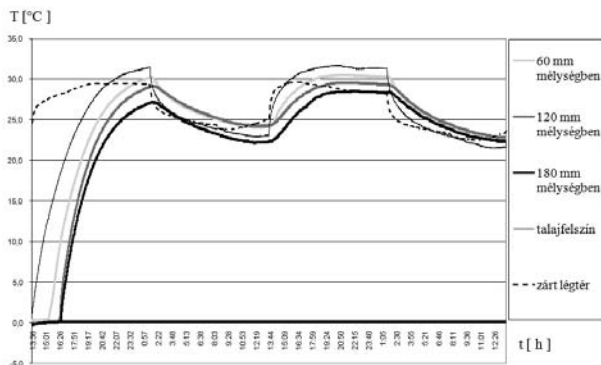
A 10. ábrán a vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop feletti légtérben mért relatív levegő nedvességtartalmát tüntettük fel, amely követi a talajban mért hőmérséklet- és nedvességtartalmat.



10. ábra. A vízzel telített „ORGANIC” nevű talajoszlop felszíne feletti légtér relatív páratartalmának változása

• **Harmadik kísérlet** eredményei az előzetesen fagyasztott „HUBA” talajoszlopra vonatkozóan:

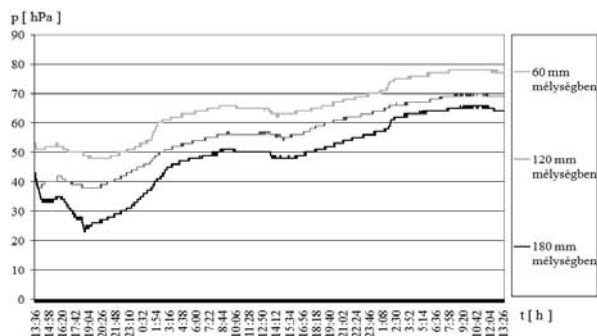
A 11. ábrán jól látszik, hogy a kísérlet kezdetén 0 °C volt a talaj összes mérésnek alávetett pontjaiban a hőmérséklet. A talajfelszín olvadása a kísérlet kezdetétől, a talaj 60 mm-es mélységében másfél óra múltán indult meg. A 120 mm és 180 mm-es mélységben levő talaj olvadása együtt, nagyjából 3 óra után kezdődött el. A 12 órás megvilágítási szakaszt követően a megvilágítás nélküli szakaszban a 60 mm és 120 mm-es mélységek hőmérséklet adatai nagyjából megegyeztek, de a 180 mm-es mélység értékei ezek alatt maradtak. A talajfelszín hőmérsékletei a 180 mm-es mélység értékeihez közelítettek. A következő 24 órában hasonlóképp alakult a mérési adatsor, de a 180 mm-es mélység hőmérsékletei már kiegyenlítődték a 60 és 120 mm-es mélységek értékeivel. A mérési adatsor második 24 órájának karakterisztikája hasonló az 5. és 8. ábrán látottakhoz.



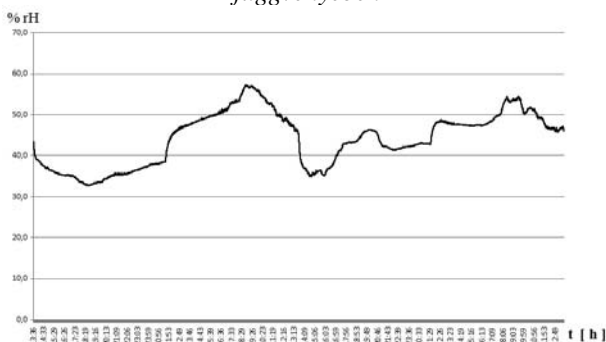
11. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlopban különböző mélységekben, a talajfelszínen és a zárt légtérben mért hőmérséklet változásai, vízzel telített szintről indulva, 12 órás fagyasztást követően

A kísérlet során a talaj tenziójának megváltozása (12. ábra) kisebb mértékű, mint az „ORGANIC” esetén, maximum 30 hPa, amelynek a magyarázata, hogy a talajnak előbb fel kellett olvadnia, majd csak ezután párologhatott el a víz belőle. Itt is megfigyelhető, hogy a levegő relatív nedvességtartalmának növekedése mind a két megvilágítás nélküli, a talaj tenziójának növekedésének szakaszában következett be.

A mérési adatsorból kitűnik, hogy a relatív páratartalom változása a második 24 órában nem egyértelműen követte a hőmérséklet és tenzió értékeket, amely valószínűleg a külső, zavaró behatásoknak tulajdonítható (13. ábra).



12. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlop nedvesség tenziójának változásai a talaj mélységek függvényében



13. ábra. A „HUBA” nevű talajoszlop felszíne feletti terének relatív páratartalmának változása

4. KONKLÚZIÓ

A bemutatott kísérletek szemléletesen mutatják a napsugárzás ciklikus jellegének szimulálására alkalmazott infravörös lámpa hatására a talajban és a talajfelszín felett elhelyezkedő légtérben végbemenő hőmérsékleti és nedvességtartalmi változásokat [9], melyeken keresztül sikerült gyakorlati szinten leírni a talajoszloprendszerben bekövetkező száradási folyamatot. Mivel a folyó kutatási programjaink igen lényeges részét jelenti a konvektív áramlási jelenségek változatos formáinak a beható vizsgálata, jelen kísérleti munkánkban igyekeztünk minél jobban megalapozni a témakörre vonatkozó jövőbeni további kísérleti-, matematikai modellezési- és számítógépes szimulációs tevékenységünket. Végül célunk a fagymentés talajoknál is látványosan megnyilvánuló Rayleigh-Bénard-féle konvekciós cellák megjelenési feltételeinek minél kifinomultabb és részletesebb módon történő reprodukálása és leírása a konvekciós, illetve a konvekciós-diffúziós rendszerekre jellemző nemlineáris parciális differenciálegyenletek, s ezek alkalmas rendszerei révén. Jelen kísérleti munkánk így egyaránt komoly hozzájárulást jelenthet egyes alapvető fontosságú geofizikai folyamatok-, valamint a vonatkozó, a disszipatív struktúrák elméleti leírásainál jelentkező modellezési feladatok eredményes megoldásához.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik a MÖB-DAAD Alapítványnak, hogy támogatták kutatási munkájukat (P-MÖB/843).

6. IRODALOM

- [1] MIHALAKAKOU G.: On estimating soil surface temperature profiles, Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 251-259, 2002.
- [2] SAUER T.J., NORMAN J.M., TANNER C.B., WILSON T.B.: Measurement of heat and vapor transfer coefficient at the soil surface beneath a maize canopy using source plates, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 75, pp. 161-189, 1995.
- [3] BUKA Á., ÉBER N.: Konvekció égben földben, vízben és folyadék-kristályokban, Fizikai Szemle pp. 359, 2008/10
- [4] SASVÁRI L.: A Rayleigh-Bénard instabilitás, in: Nemlineáris jelenségek: Struktúrák kialakulása és káosz, ed. Kürti J., ELTE Fizikus Diákkör, Budapest, pp. 90-134, 1983
- [5] KEVIN J. GLEASON, WILLIAM B. KRANTZ, NELSON CAINE, JOHN H. GEORGE ROBERT D. GUNN: Geometrical Aspects of Sorted Patterned Ground in Recurrently Frozen Soil, Science, Vol. 232, no. 4747, pp. 216-220, 1986
- [6] GLEDZER E.B., GRANBERG I.G., CHKHETIANI O.G.: Air Dynamics near the Soil Surface and Convective Emission of Aerosol, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 46, No. 1, pp. 29-40, 2010
- [7] NAGY G.: Kapacitív elvű szenzorok, BME EET (<http://www.eet.bme.hu/~nagy/caphumsens.pps>)
- [8] VÁRALYAY GY.: A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest Kiadó, 2002
- [9] GAOA Z., BIANC L., HUA Y., WANGA L., FAND J.: Determination of soil temperature in an arid region, Journal of Arid Environments, Vol. 71, pp. 157-168, 2007

FOTOVILLAMOS MODULOK SPEKTRÁLIS ÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF SPECTRAL SENSITIVITY OF PHOTOVOLTIC MODULES

Seres I.*, Kocsány I.**, Farkas I.**, P. Weihs****

ABSTRACT

During the more than 5 years of operation of the 10 kWp PV system installed at the Szent István University, sufficient amount of data were collected to start analysis of the working of the different type of photovoltaic modules: amorphous (DS – Dunasolar) and polycrystalline (ASE – RWE Schott) silicon ones. As the energy production of the different technologies is measured separately, such data give the basis to the analysis.

From the long time analysis of the power distribution a seasonal change can be recognized in the rate of the energy production of the ASE and DS modules. The rate of the normalized energy production was used for the analysis. As the effect is partly considered to the spectral dependence of the PV modules spectral measurements were carried out for a period in the autumn of 2009. In this paper the results of the spectral measurements were compared for the power data of the same period in order to get relationship between them.

1. BEVEZETÉS

A Szent István Egyetem gödöllői kampuszán, a Fizika és Folyamatirányítási Tanszék gondozásában 2005 októberében került sor egy 10 kW teljesítményű fotovillamos rendszer – az országban akkor a legnagyobb ilyen jellegű rendszer – üzembe helyezésére, az Európai Unió PV Enlargement projektjének támogatásával [1]. A rendszer az energiatermelési feladatok mellett oktatási, kutatási és demonstrációs célokat szolgál.

Az oktatásban a rendszerrel, és általánosabban a megújuló energiákkal kapcsolatos ismeretek nem csak a speciális szaktárgyakban, hanem pl. a Fizika alapoktatásban is megjelentek, pl. a napelemek IV karakterisz-

tikájának mérésén keresztül. A működési eredmények számos TDK és diplomadolgozat alapjául szolgáltak.

A reguláris oktatás mellett kiemelt szerepet szánunk az ismeretterjesztésnek, emiatt számos alkalommal tartottunk „nyílt napokat” (pl. Kutatók Éjszakája), amikor az érdeklődő nem egyetemi polgárok (pl. helyi lakosság) is megismerkedhetett a rendszerrel, és annak működési eredményeivel.

Az eltelt, mintegy ötéves működés során a rendszer teljesen megbízhatóan működött, a működési paraméterek folyamatosan rögzítésre kerültek, ezen adatok adják a rendszerrel kapcsolatos kutatómunka hátterét.

2. A RENDSZER BEMUTATÁSA

A fotovillamos rendszer több lehetséges helyszín megfontolás után végül is a gödöllői Kollégium C épületének tetején került kialakításra. A rendszer az épület hossz tengelyével párhuzamosan, a déli iránytól 5 fokos keleti tájolással, a vízszintessel 30 fokos szöget bezáró, fix helyzetű tartószerkezetre került telepítésre. A tartószerkezet horganyozott C elemekből került kialakításra, és betontuskókon áll a tetőszerkezet vízzáró rétegének megóvása érdekében.

Közismert, hogy a napelemek többféle technológia alapján készülnek [2]. A rendszerbe kétféle technológiát alkalmazó napelem került beépítésre, három részrendszerbe szervezve. Az első részrendszer 32 db ASE100 típusú, 105 watt névleges teljesítményű polikristályos napelemekből áll, amelyek a RWE Solar GmbH termékei. A másik két (azonos) részrendszer egyenként 77 darab amorf szilícium technológiát használó DS40 (Dunasolar Kft.) napelemből áll. Az első részrendszer 3,5 kW, a másik két részrendszer egyenként 3,1 kW névleges teljesítményű. A kétféle napelem alkalmazásának indoka az volt, hogy ily módon az oktatásba eltérő technológiák megismertetése vált lehetővé, ugyanakkor az eltérő technológiák működésének összehasonlítása érdekes kutatási feladatokat is indukált.

A rendszerről készült képen (1. ábra) a kétféle napelem típus jól megkülönböztethető.

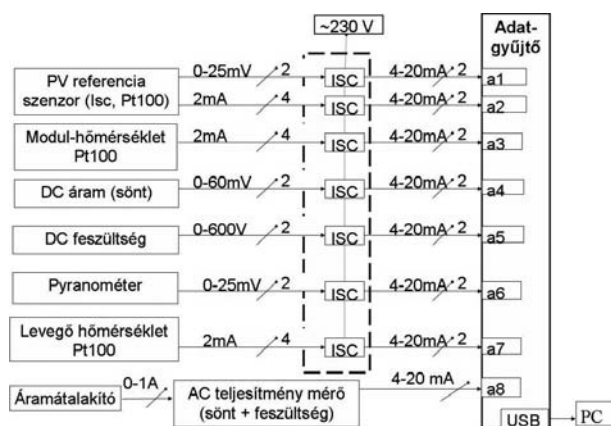
**egyetemi docens, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék*
***PhD hallgató, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék*
****egyetemi tanár, Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet, Fizika és Folyamatirányítási Tanszék*
*****egyetemi tanár, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Meteorology, Vienna*



1. ábra. Az amorf és polikristályos napelem

A napelemek által megtermelt kb. 400 V feszültségű egyenáramú hálózat energiáját részrendszerenként egy-egy inverter (Sunpower SP3100/600 és SP2800/550 inverterek) alakítja át 230 V-os váltakozó feszültséggé és táplálja be a kollégium elektromos hálózatába.

A napelemes rendszer kiegészítéseként egy számítógépes adatgyűjtő rendszer került kialakításra, amely folyamatosan monitorozza a környezeti paramétereket és a rendszer fontosabb működési jellemzőit. Az adatgyűjtő rendszer kontrolljaként az energiatermelési adatok mérésére egy hitelesített, oda-vissza mérő villamos fogyasztásmérőt is a rendszerbe építettünk a saját mérések hitelességének ellenőrzésére. Az adatgyűjtő rendszer sémája a fontosabb mérési adatokkal a 2. ábrán látható.



2. ábra. Az adatgyűjtő rendszer

3. MŰKÖDÉSI ADATOK ÉRTÉKELÉSE

A mintegy öt éves működtetés során elegendő mérési adat gyűlt össze ahhoz, hogy a rendszer illetve az egyes részrendszerek működésével kapcsolatos következtetéseket lehessen levonni. Elsőként a teljes rendszer energiatermelésével kapcsolatos mérési eredményeket mutatjuk be.

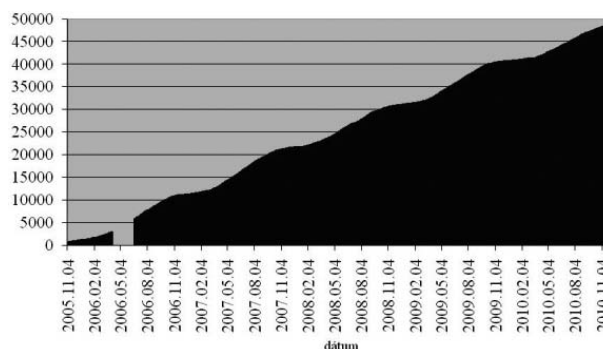
A rendszer modellezéssel becsült és a ténylegesen megtermelt energia értékeit a 1. táblázatban mutatjuk be.

1. táblázat A PV mező becsült és mért energiatermelése

Időtartam	modell, kWh	mért, kWh
2005 okt-dec	1 216	1 383
2006 jan-dec	10 260	10 053
2007 jan-dec	10 260	10 325
2008 jan-dec	10 260	9 522
2009 jan-dec	10 260	9 601
2005.10.08 – 2009.12.31	42256	40884

Ahogy az a táblázat adataiból is látható, a rendszer az időjárás eltérésekből adódó fluktuációktól eltekintve az előzetes terveknek megfelelően működik.

A rendszer által az elektromos hálózatba táplált energia (a hálózatra kapcsolástól számított) összesített értéke a működési idő függvényeként a 3. ábrán látható.

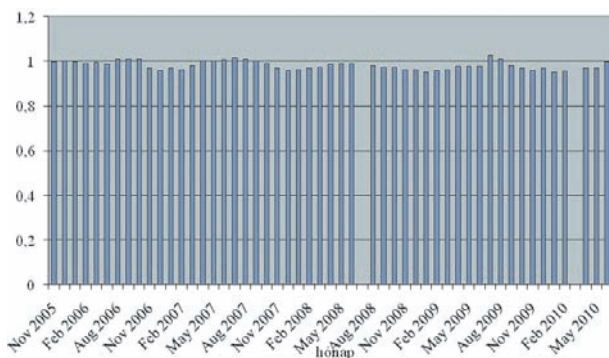


3. ábra. A hálózatba táplált energia

A grafikonon jól megfigyelhető az energiatermelés mennyiségének évszakos függése, jól elkülöníthetők rajta a nyári (meredekebb) és téli időszakok. A teljes rendszer energiatermelése mellett az egyes napelem technológiák működése szempontjából az is fontos, hogy az energiatermelés milyen arányban oszlik meg a különböző típusú részrendszerek között.

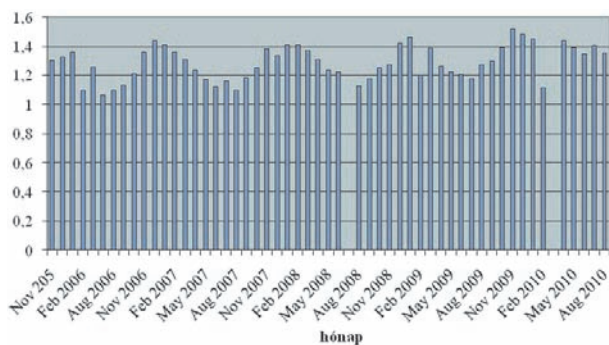
Mivel az energiatermelés részrendszerenként is mérésre kerül, az alábbiakban a részrendszerek energiatermelésének arányát mutatjuk be a különböző részrendszerek esetén. Először a két, elvileg azonos névleges teljesítményű, amorf szilícium (DS40) napelemes részrendszerek energiatermelését vizsgáljuk,

A 4. ábrán levő grafikonról megfigyelhető, hogy a részrendszerek valóban szinte azonos mennyiségű energiát tápláltak a hálózatba (energiatermelésük aránya kb. 1), de a kis eltéréseket vizsgálva feltűnik egy évszakos jelleget mutató néhány százalékos mértékű ingadozás. Ennek okát mi abban látjuk, hogy a téli, alacsony napállású időszakban a reggeli és délutáni időszakban, amikor már/még van energiatermelés a rendszerben, az első sor kivételével a többi sor részben árnyékolásra kerül.



4. ábra. A DS40-es részrendszerek napi energiatermelésének aránya

Lényegesen nagyobb, szintén évszakos jellegű ingadozás figyelhető meg ha a polikristályos (ASE100) modulokból felépített részrendszer energiatermelését hasonlítjuk a DS40-es részrendszerek átlagos energiatermeléséhez, ahogy az az 5. ábrán látható is.



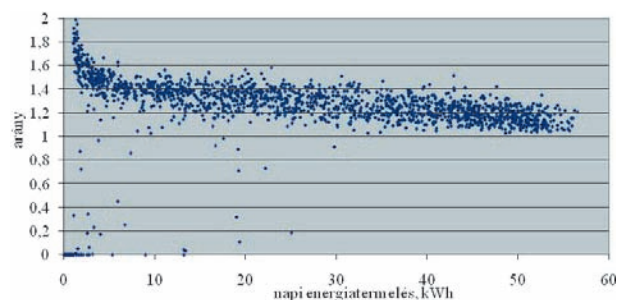
5. ábra. Az ASE100 és DS40 részrendszerek fajlagos energiatermelésének aránya

Mivel a különböző technológiájú részrendszereknél eltérést okoz az, hogy eltérő a névleges teljesítményük, ez utóbbi grafikon készítésekor, és a további vizsgálatok során a fajlagos energiatermelést, azaz az 1 kW névleges teljesítményre vetített energiatermelést vettük alapul. Ezt tehát úgy kaptuk meg, hogy az adott részrendszer energiatermelését elosztottuk a névleges teljesítményével. A grafikonon megfigyelhető évszakos ingadozás mértéke itt már lényegesen nagyobb, majd 20 százalékos nagyságrendű, ami már nem következhet a 4. grafikon kiértékelésénél említett esetleges téli árnyékolásbeli különbségből.

Az eltérés abból adódik, hogy az eltérő meteorológiai viszonyok között (elsősorban az eltérő spektrális és hőmérsékleti körülmények között) máshogy változik az eltérő technológiájú napelemek hatásfoka. A kérdés alaposabb vizsgálatára elvégeztük egyrészt a mérési adatok egy részletesebb analizését, másrészt külön mérési beállítást terveztünk a kérdéskör további vizsgálatára.

A mérési adatoknál azt vizsgáltuk, hogy a fajlagos energiatermelési adatok aránya (ami a hatásfokok arányára utal) miként függ a beeső energia arányától. A kapott eredményeket a 6. ábrán ábrázoltuk.

Az. ábrán látható, hogy jó sugárzási körülmények között, nagy energia-behozatal esetén a fajlagos energiatermelés arány mintegy 10%-kal alacsonyabb, mint alacsony energiatermelés, tehát rossz sugárzási viszonyok között.



6. ábra. A fajlagos energiatermelések arányának függése az energiatermeléstől

Mivel a sugárzási viszonyok változása a spektrum változását is eredményezi, a megfigyelt kapcsolat részletesebb vizsgálatára az energiatermelési mérésekkel párhuzamosan spektrális méréseket is végeztünk.

4. SPEKTRÁLIS MÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE

A spektrális érzékenység vizsgálatára az egyik kutatási partnerünk, a bécsi Élettudományi Egyetem (régében Agrártudományi Egyetem) Meteorológiai Intézetétől kölcsönzött, MS-710-es spektrométert használtuk (7. ábra).

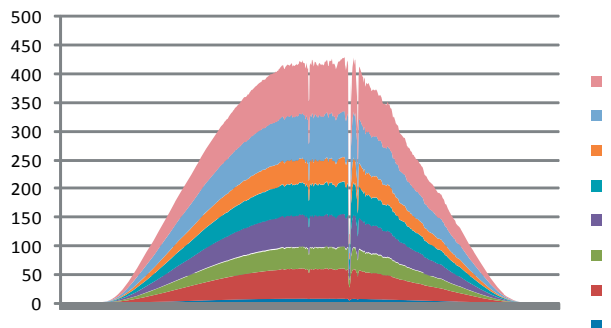


7. ábra. A használt MS-710 spektrométer

Az eszköz soros porton keresztül egy laptop-hoz kapcsolódott, amelyen keresztül programozni lehetett a mérések gyakoriságát, és a számítógép szolgált egyúttal a mérési adatok tárolására is. Mivel a spektrométer egy pillanatnyi állapotot mért, percenkénti gyakorisággal rögzítettük a spektrumot, amit később 10 perces átlagokká alakítottunk, és mentettünk – ugyancsak 10 perc az energia értékek átlagának mentési periódusa is.

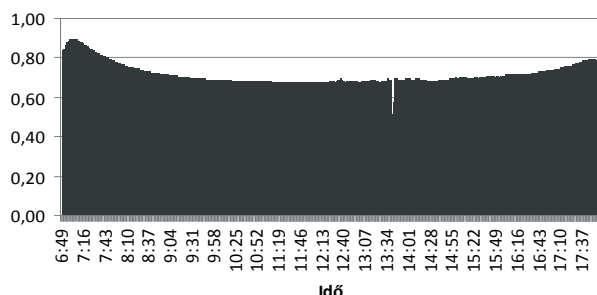
A mérések során a 300–1100 nanométeres tartományban mértük a napsugárzás teljesítményének hullámhossz szerinti eloszlását közelítőleg nanométeres felbon-

tásban. A mért hullámhossz tartományt az irodalomban elfogadott értékek alapján hullámhossz tartományokra bontottuk (UV, ibolya, kék, zöld, sárga, narancs, vörös, infravörös), és napi bontásban meghatároztuk a beeső energiának az egyes hullámhossz tartományba eső részarányát. Egy adott nap (2009. szeptember 21) spektrális mérési eredményeit a tartományokra bontással együtt ábrázolja a 8. ábrán mutatjuk be.



8. ábra. Mért spektrális eloszlás tartományokra bontással

Az analízis során először azt néztük, hogy egyes, a napelemek számára fontos hullámhossztartományok (pl. vörös vagy vörös és infravörös együtt) esetén a beeső energia mekkora hányada esik a kérdéses tartományba, illetve hogy ez az arány hogyan változik a nap folyamán, hogyan függ a felhőzettől, stb. A keresett arány napi lefolyásáról a 9. ábrán kaphatunk képet.

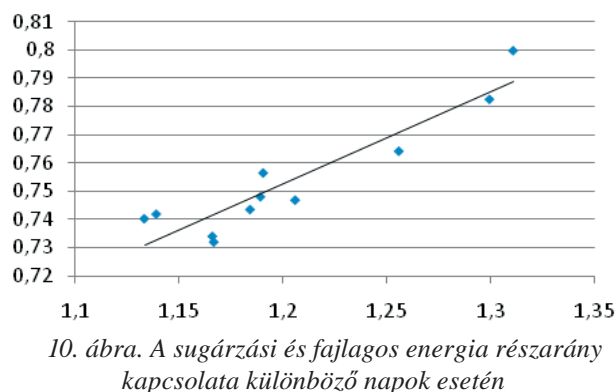


9. ábra. A vörös és infravörös tartományba eső energia arányának változása egy nap folyamán

A grafikomból látható, hogy a reggeli és délutáni időszakban, amikor a napsugaraknak vastagabb légrétegen kell áthaladniuk, több kék foton szóródik a légkörben a napsugárzásból, azaz a vörös/infravörös tartomány részaránya megnő.

A dolgozatban azt szeretnénk bemutatni, hogy napelemek spektrális függése miatt más vörös/infravörös részarány a bejövő energiában más határfok arányt hoz létre a napelemekben, azaz hogy a napelemek fajlagos energiatermelésének aránya függ a vörös/infravörös sugárzás energiájának részarányától. Mivel mindkét arányt mennyiséget időfüggvényként ismerjük, a megfelelő időpontban mért mennyiségek összehasonlításával a keresett összefüggés bemutatható. A 10. ábrán a vörös/infravörös sugárzás részarányának és a fajlagos energia-

termelés arányának kapcsolatát ábrázoltuk napsütéses napok átlagértékei alapján.



10. ábra. A sugárzási és fajlagos energia részarány kapcsolata különböző napok esetén

A két ábrázolt mennyiség közötti kapcsolat szignifikáns, de a jelenség további vizsgálatára új kísérleti berendezés került megtervezésre és megépítésre.

A berendezés egy csillagászati távcső forgatómotorjának segítségével lehetővé teszi a vizsgált panel napkövetését, azaz hogy a sugárzás a mérés ideje alatt végig azonos szögben érje a napelemet. (Ez azért fontos, mert a beesési szög változásából adódó teljesítményváltozást nem kell a mérési adatokból kompenzálni).

A berendezés négy oldalról árnyékolja a belehelyezett napelemet, és arra csak a berendezés tetején juthat rá a fény, ahol viszont színszűrők elhelyezésére szolgáló keret került rögzítésre. Így a berendezéssel lehetővé válik, hogy a bejövő sugárzásból csak bizonyos hullámhossztartomány jusson el a napelemre, lehetővé téve ezáltal a hullámhossz-tartományonkénti határfokmérést, azaz a spektrális érzékenység mérésével való megállapítását. A berendezés fényképe a 11. ábrán látható.



11. ábra. A spektrális függés mérésére kifejlesztett berendezés

A berendezéssel elvégzett első mérések elkezdődtek, és megtörtént a használt színszűrők áteresztési tényezőinek meghatározása. A automatizált mérések beindítása közeljövő feladata.

5. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A dolgozatban bemutattuk a gödöllői 10 kW névleges teljesítményű napelemes rendszer főbb elemeit, a kiépített adatgyűjtő rendszert, és a rendszer működtetése során begyűjtött fontosabb működési adatokat.

Az eltérő technológiájú napelemekből álló részrendszerek működésében évszakos periodicitást mutató változás figyelhető meg, aminek értelmezésére többféle vizsgálat zajlott.

Az energiatermelési adatok alapján meghatározott fajlagos energia arány lineáris kapcsolatban van a rendszer napi energiatermelésével, ami a határfokok spektrális függésére enged következtetni.

Emiatt az energia adatok mérésével párhuzamosan egy ideig spektrális mérések is zajlottak a napelemes rendszer területén. Az adatok kiértékelése alapján megállapíthatásra került, hogy a fajlagos energiatermelés

aránya a vörös/infravörös sugárzásban érkező energia arányával mutat korrelációt.

A spektrális függés további vizsgálatára egy napkövető rendszerrel működtetett mérőberendezés került kifejlesztésre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a AT-17/2008 TÉT pályázat és az OTKA K-84150 projektek támogatásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Grottko, M. – Helm, P. – Kiessling, A. – Friesen, G. – Realini, A. – Gehrlicher, K.: PV ENLARGEMENT: PV module technologies in performance comparison - results of a 3 years project programme, Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany, 2006, pp. 3263-3266.
- [2] Nemcsics, Á.: A napelem és fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001

MEREV FALÚ, BIOLÓGIAILAG LEBOMLÓ CSOMAGOLÓESZKÖZÖK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF RIGID WALL, BIODEGRADABLE PACKAGING MATERIALS

Varga Róbert*

ABSTRACT

Internationally and in our country the quantity of plastics which are used for the packaging of the commodities is growing continuously. Onto the alleviation of the environmental loading problems, the development of the biodegradable packaging materials and their application already have been began on international and domestic level. I executed examinations with decomposing wrappers which were developed in the KÉKI. From the samples with different combination I prepared segments and I took pictures of these under a microscope. I was looking for contexts the compression temperature, the compression time and the breaking force. The results is reported in this study

BEVEZETÉS

Világviszonylatban és hazánkban az árucikkek csomagolására felhasznált anyagok mennyisége folyamatosan növekszik. A csomagolásra használt anyagok között az elmúlt évtizedekben, de még jelenleg is a műanyag-tartalmúak képviselik a leggyorsabban növekedő csoportot. A nagy tömegben felhasznált műanyag-csomagolóanyagok hulladékképzése egyre nehezebben megoldható környezetterhelési problémát okoz. A gondok enyhítésére nemzetközi és hazai szinten már megkezdődött a biológia úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztése és alkalmazása, mint az egyik lehetséges megoldás, a környezetterhelés mérséklésére.

Központi Élelmiszer-tudományi Kutató Intézet (KÉKI) az elmúlt években olyan, teljes egészében, illetve részben biodegradálódó, hazai alapanyagokra épülő, gyártási technológiájukban környezetet kímélő, merev falú csomagolóanyagokat/eszközöket hozott létre, amelyek (a felhasználás igényei alapján optimalizált tulajdonságaiknak köszönhetően) széleskörűen képesek helyettesíteni a hagyományos műanyag csomagolóeszközöket az élelmiszeripari csomagolások területén.

A kifejlesztett termékek alapanyaga rendszerint natív vagy módosított keményítő, politejsav, illetve baktériumok által termeltetett polihidroxialkanoát(ok). A felsorolt alapanyagok önmagukban nem elégségesek ahhoz, hogy megfelelő alkalmazástechnikai tulajdonságokkal rendelkező csomagolóanyagot képezzenek, ezért az említett alapanyagok mellett egyéb természetes (illetve esetenként szintetikus, de jó le-

bomlási hajlammal rendelkező) polimereket is alkalmaznak, például cellulózt (a mechanikai tulajdonságok javítására), vagy triglicerideket (zsírokat) az alapanyagok hidrofilitásának csökkentésére.

A biológiailag lebomló csomagolóanyagok alapanyagául szolgáló nyersanyagforrások lehetnek megújuló nyersanyagbázisúak, állati eredetűek: zselatin, kazein, keratin; növényi eredetűek: keményítő, cellulóz, búzasi-kér; fermentációval előállítottak: poli-hidroxialkanoátok, tejsav, politejsav; fosszilis nyersanyagbázisúak: poliészteramid, poliészteruretán, ko-poliészterek valamint megújuló nyersanyagbázisúak és a fosszilis nyersanyagbázisúak keverékei: keményítő/PVAL, keményítő/politejsav [1].

A kutatásom alapjául a KÉKI-ben kifejlesztett biológiailag lebomló, merev falú tálcák szolgáltak, amelyek előállítási és anyagszerkezeti vizsgálati eredményeiről számolok be e tanulmányban.

1. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az élelmiszeripari felhasználásra kifejlesztett biológiailag lebomló tálcák egyik alapanyaga az 1. ábrán látható apróra őrölt búzaliszt.



1. ábra. Búzaliszt

A búzaliszt nagyon fontos összetevő, mert nagy arányban tartalmaz szénhidrátot és fehérjét, ami elősegíti a biológiai lebomlást. Színe fehér, amely meghatározó világos árnyalatot ad a csomagolóeszköznek.



2. ábra. Mustárliszt

*PhD hallgató, témavezető: dr. Benkő János, egyetemi tanár

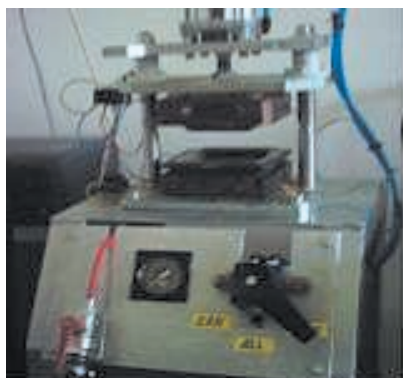
A másik alapanyag az ugyancsak apróra őrölt mustárliszt, amely a 2. ábrán látható. A mustárliszt színe sárga, amely sötétebb árnyalatot kölcsönöz a csomagolóeszköz színének.

Az alapanyag vázanyaga 2-6 mm hosszúra aprított búzaszalma (3. ábra). Az alapanyag lágyító elemeként ivóvíz minőségű csapvíz.



3. ábra. Búzaszalma

Az alapanyag összetevőit, valamint egyéb segédanyagokat megfelelő arányban egy speciális keverő berendezésben összekevertük, majd egy kísérleti, pneumatikus szerszámnyitási és zárású, fűtött szerszámmal sajtoltuk. A sajtoló berendezést az 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Pneumatikus szerszámnyitási és szerszámmáró sajtoló berendezés, fűtőlapos szerszámfűtéssel

Az előállítási paraméterek vizsgálhatósága érdekében a sajtoló berendezés pneumatikus nyomása, és a sajtolószerszámok felfűtési hőmérséklete változtatható volt.

A szerszámnyitást és szerszámmáróást a felül elhelyezett hosszú löketű pneumatikus munkahenger végezte 0,6 MPa nyomással (4. ábra). Az alsó álló szerszámfélhez viszonyítva a felső szerszámfél függőleges irányú mozgást végzett.

A sajtolás paraméterei:

A biopolimerek anyagok szokásos sajtolási hőmérséklete, T_s az összetételüktől függően 120-180 °C között változik, mivel az alap-, és adalékanyagok hőérzékenyséjük miatt csak ezt a hőmérsékleti tartományt viselik el. A sajtolás hőmérsékletét állandó értéken kell tartani, ezért a felső szerszámfél hőmérsékletének T_b , és az alsó szerszámfél hőmérsékletének T_a mindig azonosnak kell lennie. A sajtolási hőmérséklet értéke így megegyezik a szerszámfelek hőmérsékletével.

A optimálisnál alacsonyabb sajtolási hőmérsékleten a biológiailag lebomló tálcá lassabban, az optimálisnál magasabb sajtolási hőmérsékleten pedig gyorsabban készül el, és mindkét esetben előfordulhatnak minőségi hibák. Ennek oka, hogy a merev falú, biológiailag lebomló tálcák előállításakor a sajtolási hőmérséklet meghatározza a keményedési idejét.

A sajtolási erő:

$$F_s = p \cdot A_{mh} \text{ [N]}$$

ahol:

F_s - a sajtolási erő [N],

p - a sajtolás során a munkahengerbe jutó munkaközeg nyomása [Pa],

A_{mh} - a munkahenger felülete [m²].

Az előállítás során a berendezés maximálisan 3000 N sajtolóerő kifejtésre volt képes. A sajtolási időnek (t_s) azt az időt nevezzük, ami alatt a termék megszilárdul, valamint a hő és a nyomás hatására kialakul a formája.

A hőre keményedő nem biopolimereknél az irodalom szerint 15-100 MPa fajlagos nyomáson, 1 mm falvastagságra számítva a keményedési folyamat ideje 30-60 s [3]. A hőre keményedő biopolimerek esetén a sajtolási idő közel azonos, a nyomás pedig nagyságrendekkel kisebb, így a KÉKI-ben kifejlesztett biopolimer alapanyagoknál is az 1 mm falvastagságra vonatkoztatott, javasolt sajtolási időtartam 40 s, a sajtolási nyomás pedig 0,6 MPa.

Tehát a kétféle alapanyag sajtolási időtartama közel azonosnak tekinthető, azonban a hőre keményedő biopolimerek esetén sokkal kisebb sajtolási nyomás is elegendő.

A tálcák fontosabb jellemzői: magassága 16 mm, hosszúsága 136 mm, szélessége 136 mm, vastagsága 3 mm, átlagos tömege 22 g.

2. MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK

Az előállítási folyamat alkalmával a hosszú szálú vázanyagok orientálódnak (műanyagok esetén a textilszálak; biológiailag lebomló anyagok esetén a szalma). Ezt szemlélteti az 5. ábra.



5. ábra. Hosszú szálú vázanyagok orientálódása a sajtolás folyamán [3]

A mérések különböző anyag összetételű, szalma és búzaliszt hozzáadásával készült tálcák viselkedésének tanulmányozására terjedtek ki. A tálcákból a mikroszkópos vizsgálatokhoz mintákat készítettem, amelyeket Zeiss AxioStar mikroszkóp alatt, 40X-es nagyítással analizáltam. A mikroszkópos felvételeket a gödöllői

Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpontban készítettem el, dr. Havelda Zoltán tudományos főmunkatárs segítségével. A szalma hozzáadásával készült tálca a 6. ábrán látható, a minta mikroszkópi képe (40 X-es nagyítás) pedig a 7. ábrán figyelhető meg.



6. ábra. A szalma hozzáadásával készült tálca



7. ábra. A szalma hozzáadásával készült tálca mikroszkóp alatti metszete (40 X-es nagyítás)

A búzaliszt hozzáadásával készült tálca a 8. ábrán, a mikroszkóp preparátuma (40 X-es nagyítás) a 9. ábrán látható.

A mikroszkópos képeken jól látható a laza anyagszerkezet, ami a nem megfelelő tömörségre és kicsi törésszilárdságra utal. E hipotézis igazolására szakítógépen végzett anyagvizsgálatokat végeztem. Az anyagvizsgálatokhoz szalma hozzáadásával készült tálcákat használtam. A vizsgálat célja a tálcák terhelhetőségének, törési szilárdságának a megállapítása volt. A 10. ábrán a vizsgálatra előkészített LLOYD LR5k^{plus} számítógép vezérlésű univerzális szakítógép látható.

A próbatest szerepét betöltő tálcát két egymástól 100 mm távolságra elhelyezkedő téglatesttel támasztottam alá. A törőelemet a szakítógép felső mozgó befogófejében rögzítettem. A törőelem próbatesttel érintkező alsó része lekerekített felületű (10. ábra). A szakítógéphez kapcsolt mérésadatgyűjtőben rögzített adatok feldolgozására a NEXYGEN nevű programot használtam.



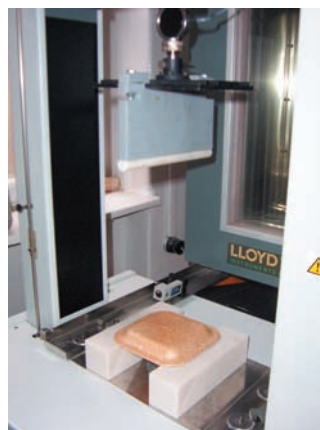
8. ábra. A búzaliszt hozzáadásával készült tálca

A szalma hozzáadásával készült tálcák törési diagramjai a 11. ábrán láthatók.

Az első kísérlet sorozatban 10 db azonos méretű és anyag összetételű tálcát vizsgáltam. Ezek előállításához 160 °C sajtolási hőmérsékletet, 0,6 MPa sajtolási nyomást és 120 s sajtolási időt alkalmaztam. A minták törési ellenállását a korábban ismertetett szakítógéppel és módszerrel vizsgáltam. A kísérletek eredményeit grafikusán 11. ábra szemlélteti. A törés bekövetkezésekor mért legnagyobb erőket az 1 táblázat foglalja össze.

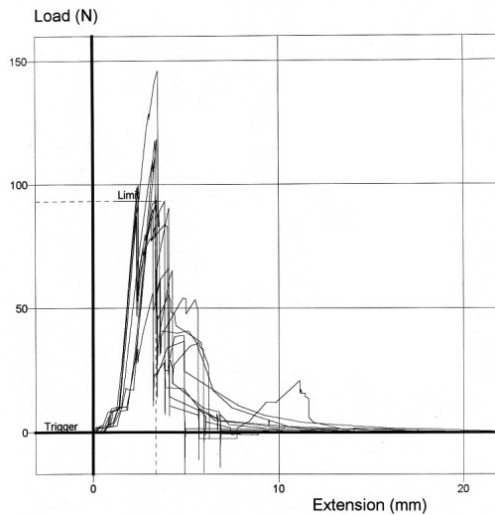


9. ábra. A búzaliszt hozzáadásával készült tálca mikroszkóp alatti hosszirányú metszete (40 X-es nagyítás)



10 ábra. LLOYD LR5k^{plus} számítógép vezérlésű univerzális szakítógép törési vizsgálatra előkészítve

A táblázatból és a törőerő diagramból látható, hogy a legnagyobb törési ellenállás 147,984 N a 6. számú mintánál mutatkozott, ami a biológiailag lebomló csomagolóeszközök estén is kevésnek tűnik. A törési ellenállás változékonysága feltételezhetően az alapanyag változó inhomogenitásával és orientációjával magyarázható.



11. ábra. Többségében szalma hozzáadásával készült tálcák törőerő diagramjai

A második kísérlet sorozatban a sajtolási hőmérséklet, és a sajtolási idő hatását vizsgáltam a törési ellenállásra. A kísérletben a mintatálcák előállításakor a sajtolási hőmérsékletet 140 és 200 °C között, a sajtolási időt pedig 90 és 270 s között változtattam. Az így sajtolt tálcákat (27 változat) az előző kísérlethez hasonlóan törési vizsgálatnak vettem alá. A méréseket ötszörös ismétlésben végeztem.

Minta száma	Törőerő F_t [N]
1.	69,854
2.	95,813
3.	100,13
4.	93,460
5.	61,489
6.	147,984
7.	74,838
8.	49,470
9.	94,866
10.	71,550
Átlag	85,945
Szórás	27,490

1. táblázat. A törési vizsgálat adatai

A második kísérlet sorozat mérési eredményeit a 2. táblázatban foglaltam össze, amelyben jelöletlen, 1, 2 és 3 csillaggal jelölt adatok szerepelnek. A táblázatból szerkesztett 12. ábra a sajtolási idő és hőmérséklet függvényében szemlélteti a törési ellenállás változását.

A mintákat szemrevételezéssel négy csoportba soroltam azok felülete, formája, színe és keménysége alapján.

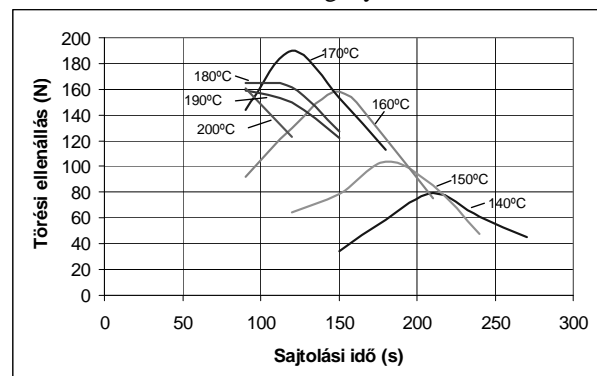
A *jelöletlen* minták mind négy tulajdonság (felület, forma, szín és keménység) szempontjából megfeleltek az elvárásoknak. Elmondható az is, hogy e minták nem deformálódtak, nem repedeztek meg, sem a berendezésből való kivételkor, sem az azt követő tárolás alatt. Ugyanakkor ezeknek a mintáknak volt a legnagyobb a törési ellenállása (2. táblázat). Ez azt jelenti, hogy az előállításukhoz alkalmazott technológiai paraméterek (hőmérséklet, idő) közel optimálisnak tekinthetők az adott termékösszetétel mellett.

Az egy csillaggal jelölt minták az első három kritériumnak (felület, forma, szín) megfeleltek, de csak az alsó és felső felületükön kialakult kéreg szilárdult meg. A két kéreg között az anyag lágy maradt. Ezeket a mintákat rendszerint nehezen lehetett sérülésmentesen eltávolítani a sütőformából. Relatív nagy mennyiségű vizet tartalmaztak, és gyakorta már a kivételkor hajszálrepedések jelentek meg rajtuk, illetve elkenődtek. Ugyancsak a magas víztartalom miatt ezek a minták kivétel nélkül kisebb-nagyobb mértékben deformálódtak a tárolás időtartama alatt.

A kétcsillagos minták a szükségesnél valamivel hosszabb sajtolási ideig készültek. Ezeket a mintákat egyrészt a termékszín égett jellegének előtünése, másrészt pedig, a kivételkor, illetve a tárolás során megjelenő hajszálrepedések jellemezték. A minták deformálódtak, azonban az esetükben jelentkező deformáció rendszerint jelentős mértékben alatta maradt az egy csillaggal jelölt minták deformációinak.

A három csillaggal jelölt minták a szükségesnél lényegesen hosszabb időtartamú, illetve magasabb hőmérsékletű sajtolással készültek. Ennek következtében megégték, a felületükön ún. „ostyás” szerkezet alakult ki, valamint a színük az égés következtében barnára, helyenként feketére változott. Ezeket a mintákat csak nagyon óvatosan kezelve lehetett kiemelni a szerszámból. Könnyen eltörték, felületükön számos hajszálrepedés, illetve egy-két jelentősebb folytonossági hiány mutatkozott. Hosszabb idejű tárolás esetén a hajszálrepedésekből kiinduló, terméktöréshez vezető repedések alakultak ki.

A 12. ábrán látható diagramot a 2. táblázat adatai alapján készítettem el, amely a sajtolási idő függvényében ábrázolja a törési ellenállás változását. Az azonos hőmérsékletekhez tartozó görbék jellege hasonló. A görbék a maximum értéküket különböző sajtolási időnél érik el. Érdekes, hogy ezekhez a pontokhoz azok a jelöletlen minták tartoznak, amelyek a szemrevételezés alapján is a legjobb minősítést kapták. A sajtolási hőmérséklet növelésekor, 140 °C-tól 170 °C-ig a törési ellenállás maximumértéke növekszik, majd 170 °C felett csökken. A diagram jól szemlélteti, hogy a legnagyobb törési ellenállással a 120 másodpercig 170 °C-on sajtolt minta rendelkezik. A diagramból arra lehet következtetni, hogy a törési szilárdság, a sajtolási idő és hőmérséklet helyes megválasztásával jelentős minőség javulás érhető el. A paraméterek közötti összefüggések pontos tisztázása, a $\sigma = f(t_s, T_s)$ függvénykapcsolat feltárása azonban további kísérleteket igényel.



12. ábra. A törési ellenállás változása sajtolási idő és hőmérséklet függvényében

Sajtolási hőmérséklet T_s [°C]	140	150	160	170	180	190	200
Sajtolási idő t_s [s]	Törési ellenállás F_t [N]						
90	-	-	92,4*	144,2*	164,6	158,6	160,7
120	-	64,2*	129,8	189,8	161,4**	150,1**	122,9***
150	34,3*	78,8*	158,5	153,4**	127,6***	122,1***	-
180	58,8	103,4	121,4**	112,6***	-	-	-
210	79,8	85,2**	75,1***	-	-	-	-
240	61,4**	47,4***	-	-	-	-	-
270	44,8***	-	-	-	-	-	-

2. táblázat. A sajtolási hőmérséklet, a sajtolási idő és a törési vizsgálatának eredményei

A kísérletek eredményeként azonban bebizonyosodott a vizsgált biopolimer tálcák törési szilárdsága kisebb, mint a hőre keményedő polimer tálcáké. Valószínűsíthető, hogy a tálcák előállításához nagyobb sajtolási nyomásra, azaz nagyobb sajtolási erőre van szükség ahhoz, hogy tömörebb, nagyobb szilárdságú tálcákat kapjunk. (A sajtolási nyomás változtatására eddig nem volt lehetőségem, mivel az alkalmazott fröccsöntő berendezés erre nem volt alkalmas.)

állás kapcsolatát. A legnagyobb törési ellenállást (189,8 N), a 120 másodpercig 170 °C-on sajtolt mintán mértem. Ugyanakkor küllem, alaktartás és a repedéssel szembeni ellenállás szempontból is ez a minta rendelkezett a legjobb paraméterekkel: nem deformálódott, nem repedt meg sem a berendezésből való kivételkor, sem az azt követő tárolás alatt. A kísérletek körében, adott anyagösszetétel mellett ezek a technológiai paraméterek tekinthetők optimálisnak.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban biológiailag lebomló csomagolóanyagok előállítási paramétereivel és anyagszerkezetével kapcsolatos vizsgálataimat mutattam be. Adott összetételű merev falú, biológiailag lebomló csomagolóeszközök anyagszerkezetét befolyásoló legfontosabb technológia paraméterek a sajtolási hőmérséklet, a sajtolási erő és a sajtolási idő. A különböző anyag összetételű mintadarabok metszeteiről mikroszkópos felvételeket készítettem. A felvételekből arra következtetésre jutottam, hogy az alkalmazott, viszonylag alacsony, 0,6 MPa sajtolási nyomás nem elegendő a megfelelő tömörségű anyagszerkezet kialakulásához. Törési kísérletekkel vizsgáltam sajtolási hőmérséklet, a sajtolási idő és a törési ellen-

4. IRODALOM

- [1] BIACS P. et al.: Biológiai úton lebomló anyagok és eszközök magyarországi bevezetésének előkészítése, MTA tanulmány, Budapest, 2001.
- [2] HALÁSZ L.-MOLNÁR I., -MONDVAI I.: A polimerek feldolgozásának reológiai alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [3] MONDVAI I.: Polimerek előállítása és feldolgozása, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [4] Varga R.: Biológiailag lebomló csomagolóeszközök laborszintű sajtoló berendezése. Gép, LVIII. évf. 2007/4 sz., 58-62 p.

CONTENTS

1. Árvai Cs.; Pálincás I.:
Determination of tensile strength of forged aluminium specimens3
Paper shows the determination the tensile strength of closed die forged aluminium specimens produced from two types of alloyed aluminium grades most commonly used in the Hungarian practice (EN AW 6082 and EN AW 2017).
2. Fledrich G.; Pálincás I.; Keresztes R.:
Cutting force of turning of ZrO₂ ceramic materials8
In order to examining the turning machinability of zirconia (ZrO₂) a cutting force measuring device was assembled for the applied CBN and PCD cutting tools. Authors calculated a regression equation between the cutting forces and the main parameters of hard turning process.
3. Kocsány I.; Seres I.:
Geometry model of active surface of flat plate and vacuum tube collectors12
Operation of solar collectors depends on different meteorological circumstances, such as different radiation and environmental temperature. In case of low radiation – which is usually accompanied with lower temperature - the vacuum tube collector has better energy production.
4. Lefáti R.; Kalácska G.:
Developing small-aircraft maintenance and reconstruction of landing-gear leg support 17
Nowadays there are a few aircraft units and parts (e.g. the landing-gear leg) whose regulation is rather incomplete. This paper presents the authors' research work on the problem of the landing-gear leg and its development.
5. Lengyel A.; Szegedi A.:
Analysis of the underload shifting processes ...23
The critical point in the collaboration between the engine and the transmission is the gear changing in under load conditions. The change of traction force, clutch actuator hydraulic pressure and electric sign were examined during power shifting.
6. Máthé L.:
Examination of motion resistances on different surfaces in case of off-road tracking27
Last summer a complex measurement series was performed by the employees of the Department of Automotive Technology of Szent István University. The main purpose of the project was to create a soil-database for the computer simulation to define the path-leaving vehicle's speed at that moment when it leaves the built road.
7. Nagy N.; Gyarmati B.; Mészáros Cs.; Gottschalk, K.; Bálint Á.:
Convection in cylindrical soil systems36
For studying the convection in cylindrical soil systems a new experimental measuring device equipped suitable instruments was constructed. In this paper authors describe only the measured data characterising the processes taking place in the cylindrical soil columns.
8. Seres I.; Kocsány I.; Farkas I.; Weihs P.:
Investigation of spectral sensitivity of photovoltaic modules41
Paper presents the main elements of a 10 kW solar collector located at Gödöllő, the joined data collecting system and the relevant operational data collected during the working period.
9. Varga R.:
Examination of rigid wall, biodegradable packaging materials46
The quantity of plastics used for packaging different articles and goods is continuously growing. Paper emphasises that in order to the alleviation of the environmental loading problems the development and application of the biodegradable packaging materials have already been begun.

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám
President of Editorial Board

Vesza József
General Editor

Dr. Jármái Károly
Dr. Péter József
Dr. Szabó Szilárd
Deputy

Dr. Barkóczy István
Bányai Zoltán
Dr. Beke János
Dr. Bercsey Tibor
Dr. Bukoveczky György
Dr. Czitán Gábor
Dr. Danyi József
Dr. Dudás Illés
Dr. Gáti József
Dr. Horváth Sándor
Dr. Illés Béla
Kármán Antal
Dr. Kulcsár Béla
Dr. Kalmár Ferenc
Dr. Orbán Ferenc
Dr. Pálincás István
Dr. Patkó Gyula
Dr. Péter László
Dr. Penninger Antal
Dr. Rittinger János
Dr. Szabó István
Dr. Szántó Jenő
Dr. Tímár Imre
Dr. Tóth László
Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Cooperation in the editing:
Dr. Pálincás István

DEAR READER,

It is my pleasure to welcome you, Dear Reader with the special number of GÉP in your hands, in which scholarship and correspondence students of the Engineering Doctoral School of Szent István University (SZIE) offer a brief survey of their latest works.

Since 1993 the doctoral (PhD) courses authorised to Faculty of Mechanical Engineering of SZIE have been working in the frame of the Engineering Doctoral School (MTDI). Apart from the fact that the present educational structure manages the engineering and energetics subjects in stressed manner it tightly ties to the life and environment sciences as well. During the existence of the Doctoral School more than 70 candidates got doctoral degree. Similarly to other doctoral schools, the scientific evaluation and judgement of the MTDI has been taken place in this year in the frame of the national accreditation.

In Doctoral School the three year long education period incorporates four main areas, namely the participation in the courses, research work, educational activity and publication actions. Evaluation of the work carried out in each area is done on the basis of a well defined credit system.

In every year doctoral students have to give an account of progress in their research work. In the first year this means a written report about the state of art in the student's PhD theme. In the second year a research report has to be compiled and it has to be defended against the Research Supervision Subcommittee. At the end of the third year in front of the head of the Doctoral School, the chairman of the Quality Subcommittee and the supervisor of the doctoral theme students have to give an account about the topics completed in the doctoral period and their results in the frame of the final research report. During this discussion the probable new research results have to be outlined. This final account – beyond the other requirements – is the precondition of handing over the absolutorium closing the training period.

It follows from the previous paragraph that it is important for doctoral students to show their new scientific results to professional publicity in highly ranked professional journals as well. This is why we must express our thanks to journal GÉP for supporting the publication of the present special number to fulfil this goal.

According to the professional operation circle of the Doctoral School the presented papers cover wide area of themes, namely:

- in the discipline of mechanical engineering the determination of cutting forces of turning of zirconia and the measuring of tensile strength of aluminium specimens forged in closed die;
- in the topic of vehicles the analysis of the underload shifting; the development of small-aircrafts maintenance and the analysis of the motion resistances of vehicles;
- in the field of energy the investigation of spectral sensitivity of the photovoltaic modules and the geometrical modelling of a solar collector unit;
- in the subject of environment the convection processes taking place in cylindrical soil systems and the investigation of biodegradable packaging materials.

Finally I offer to Reader with warm heart, that through reading and studying of papers he/she let get knowledge about the professional work has been done in Engineering Doctoral Schools of SZIE.

May 2011, Gödöllő



Prof. István Farkas

Head of the Engineering Doctoral School of SZIE

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.
Postage-address: 3501. Pf. 55. Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1027 Budapest, Fő u. 68.
Postage-address: 1371, Bp, Pf. 433
Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Internet: www.gte.mtesz.hu
Responsible Publishere: Dr. Igaz Jenő Managing Director

<http://www.gepujsag.hu>

Printed by Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67.

Price per month: 1260 Ft.

Distribution in foreign countries by Kultúra Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat H-1389
Budapest, Pf. 149. and Magyar Média H-1392 Budapest, Pf. 272.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

SZIE Műszaki Tudományi Doktori Iskola

2011/12. évben induló doktori témái 2/2.

- **PASSÍVHÁZHOZ ALKALMAZHATÓ HŐVISSZANYERŐ BERENDEZÉSEK KLÍMATECHNIKAI ÉS ENERGETIKAI JELLEMZŐI**
 - **LÉTESÍTMÉNYEK ENERGIAFELHASZNÁLÁSA DINAMIKUS ÉPÜLETMODELLEK FELHASZNÁLÁSÁVAL**
 - **SZÉLKEREKEK EGYMÁSRA HATÁSÁNAK ÁRAMLÁSTANI MODELLEZÉSE**
 - **A MEZŐGAZDASÁGI MŰSZAKI FEJLESZTÉS DÖNTÉSMECHANIZMUSAI**
 - **A MAGYAR MEZŐGAZDASÁG ÉRTÉKELHETŐ MŰSZAKI ERŐFORRÁS-KARAKTERE**
 - **ARATÓ-CSÉPLŐGÉPEK TARTÓSÜZEMI VIZSGÁLATA**
 - **A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYTERMESZTÉS TECHNIKAI BÁZISÁNAK MŰSZAKI-ÖKONÓMIAI VIZSGÁLATA**
- **AGRÁR-MŰSZAKI VÁLLALKOZÁSOK MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI RENDSZERÉNEK VIZSGÁLATA ÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI**
 - **PRECÍZIÓS TERMÉKKEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK MODELLEZÉSE**
 - **TERMÉNSZÁRÍTÁSI FOLYAMATOK ENERGETIKAI MODELLEZÉSE**
 - **HŐDILATÁCIÓS FOLYADÉKMOTOROK ELMÉLETE ÉS ENERGETIKAI JELLEMZŐI**
 - **EGYSÉGES TALAJMECHANIKAI PARAMÉTERRENDSZER TEREJÁRÓKHOZ**
 - **FOLYÉKONY ÉLELMISZEREK KÖRNYEZETKÍMÉLŐ HŐKEZELÉSE ELEKTROMÁGNESES TÉRBEN**
 - **NAP ÉS SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSA HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSRA PEM ÜZEMANYAGCELLÁKHOZ**
- **SZÉLERŐMŰ-PARKOK MŰSZAKI GAZDASÁGI OPTIMÁLÁSA AZ ELÉRHETŐ TELJESÍTMÉNYÉNEK MODELLEZÉSÉVEL**
 - **A GEOTERMÁLIS ENERGIAHASZNOSÍTÁS MODELLEZÉSE**
- **A SZÉLBŐL NYERT VILLAMOS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK ÉS TÁROLÁSÁNAK AKTUÁLIS FELTÉTELEI**
- **GEOTERMÁLIS ENERGIAHASZNOSÍTÁS MŰSZAKI-ÖKONÓMIAI FELTÉTELRENDSZERE MAGYARORSZÁGON**
 - **TALAJDEFORMÁCIÓS MODELL TEREJÁRÓ JÁRMŰVEKHEZ**
 - **ABRONCSLEGNYOMÁS DINAMIKUS VÁLTOZTATÁSA TEREJÁRÓ JÁRMŰVEKEN**
 - **NAGYTELJESÍTMÉNYŰ DÍZELMOTOROK FELTÖLTÉSI RENDSZEREI**
- **KOMPLEX HŐ ÁTVITELI ELJÁRÁSOK A FELTÁRÁSOS, SZÁRÍTÁSOS ÉS EXTRAKCIÓS MŰVELETEKNÉL**
- **TARTÓ- ÉS ÉPÜLETSZERKEZETI ELEMKÉSZLET HULLADÉK ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL ELŐÁLLÍTOTT ÜVEGHABKAVICS-BETON ALAPANYAG FELHASZNÁLÁSÁVAL**
 - **REZILIENCIA A VÁROSI ÁRVÍZI KOCKÁZATKEZELÉSBEN**
- **NAGYBERUHÁZÁSOK MEGVALÓSÍTÁSÁNAK KOMPLEX MŰSZAKI ÉRTÉKELÉSE ÉS OPTIMALIZÁLÁSA**

SÍK- ÉS VÁKUUMCSÖVES KOLLEKTOROK HASZNOS FELÜLETÉNEK GEOMETRIAI MODELLJE GEOMETRY MODEL OF ACTIVE SURFACE OF FLAT PLATE AND VACUUM TUBE COLLECTORS

Köcs...

FORGÁCSOLÓ ERŐ KUTATÁSA CIRKÓNIUM-DIOXID (ZrO₂) ESZTERGÁLÁSÁNÁL CUTTING FORCE OF TURNING OF ZrO₂ CERAMIC MATERIALS

Fledrich Gellért*, dr. Pálkás István**, dr. Keresztes Róbert***
ABSTRACT
In place of brittle ceramic used so far have appeared...
The failure of cutting edges were also studied...

ABSTRACT

...azt mutatják, hogy a külsőbből
illetve fényviszonyok esetén az
mértéke ehető a különböző
Az alacsony sugáriszint mellett
lektorok jobb a hatásfoka, mint a

TARTÁSÁNAK EKONSTRUKCIÓ MAINTENANCE AND CONSTRUCTION

TOROK HASZNOS GEOMETRIAI MODELLJEZÉSE

különbőségek
...kből adódóan, azonos
és azonos beéési szög
is és a felfel normál
nti) a két kollektor
felfel megyságot
térke sem egyelő,
esetben elérnek
sikkból (hasznos
eségeiből és
adódik. Az
es kollektor
hat, ami azt
ró részt
-kelő

TELELLÁLLÁSAINAK TALAJFELSZÍNEN RANCES ON DIFFERENT ROAD TRACKING

...szár és a támasztás között
(amennyiben a rugalmas
Ebben az esetben a
és (például) tartózkodás,
1.254 mm lehet. Ha ez
eréni kell,
onsági szempontból
csillapításra és a
szilencblokkok nem
yan eset, hogy a
a megáramlás
gy megőri
) az anyag

ERŐSÍTLÉSI FOLYAMATAK TALAJFELSZÍNEN REINFORCEMENT PROCESSES ON ROAD TRACKING

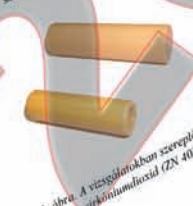
...szorin adott időre kapcsolható lép a
gepantjéről lehet szó.
gyakran alkalmaznak tanulók
ban fűves burkolatú pályán
lások, illetve a fűves pálya
setben ideális). Az emített
járulnak az szilencblokkok
...és a támasztás között
(amennyiben a rugalmas
Ebben az esetben a
és (például) tartózkodás,
1.254 mm lehet. Ha ez
eréni kell,
onsági szempontból
csillapításra és a
szilencblokkok nem
yan eset, hogy a
a megáramlás
gy megőri
) az anyag

ULOK SPEKTRÁLIS VIZSGÁLATA SPECTRAL ANALYSIS OF SPOTS

...sűrűsége
...szár és a támasztás között
(amennyiben a rugalmas
Ebben az esetben a
és (például) tartózkodás,
1.254 mm lehet. Ha ez
eréni kell,
onsági szempontból
csillapításra és a
szilencblokkok nem
yan eset, hogy a
a megáramlás
gy megőri
) az anyag

TERHELÉS ALATTI ÁTTÉTELVÁLTÁS FOLYAMATAinak ELEMZÉSE ANALYSIS OF SHIFTING PROCESSES UNDER LOAD

...esetben könnyen leolvasható az adott munkapont...
...tároló feljáró fogazására is. A belső és külső motorok
...munkapontjait a motor és a munkagép jelleggörvéit
...kialakult nyomóerőhatás határozza meg. A munkagép
...nyomókészletjének a felhasználás módja határozza



1. ábra. A vizsgált anyagok készítése
cirkónium-dioxid (ZrO₂) [3]

KONVEKCIÓ HENY CONVECTION Nagy Norbert*, Gyarmati Berna

MEREG FALÚ, BIOLÓGI GOLÓESZKÉ EXAMINATION OF RICH PACKAGING

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok
...Az elemzés alapját a KEKI-ben kifejlesztett biológiai
...előállítás és anyag szerkezet vizsgálata eredményeire
...származék be a tanulmányban.

1. BEVEZETÉS

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

1. BEVEZETÉS

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

1. BEVEZETÉS

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok



1. ábra. Búzaliszt



2. ábra. Mustárliszt

1. BEVEZETÉS

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

...Azt a felfelé irányuló növekedést az igény olyan
szerkezeti anyagok iránt, amelyek az eddigieknél
magasabb hőszigetelő, erős fizikai és kémiai
igénybevétel mellett használhatók. A szerkezeti
anyagok éppen ebben a sűrűnminőségű, szilárd
anyagok. Itt van a szilárd anyagok szilárd anyagok

* PhD hallgató, lektorozó, dr. Baskó János, egyetemi tanár