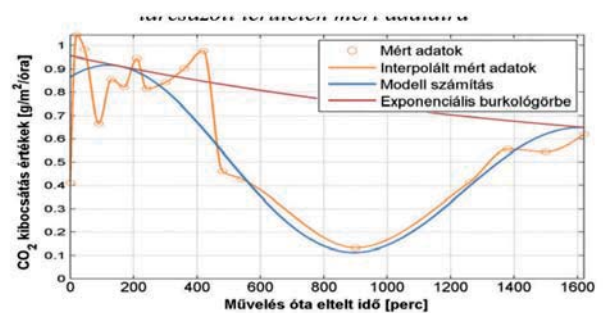
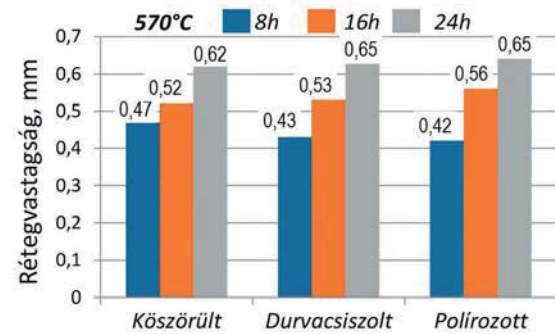
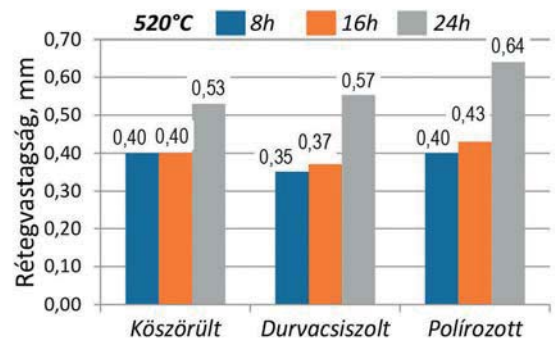
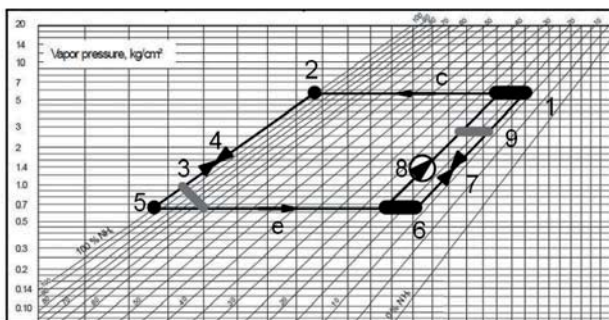
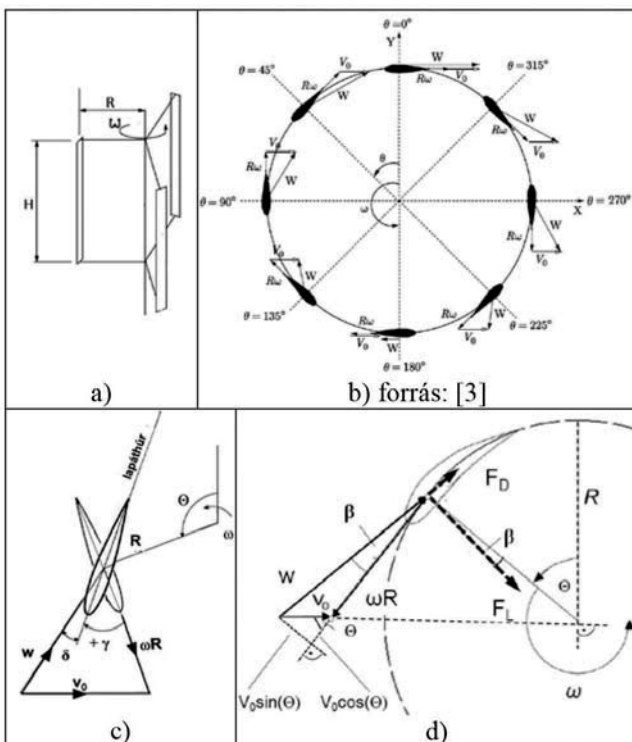


GÉPÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓÍRATA



2014-ben megjelent cikkek

2014. 1. szám

Ecsedi István, Baksa Attila

Felhasított körgyűrű keresztmetszetű rugalmas rúd saint-venant csavarása

Farkas József

Gyűrűbördás kúphéj optimális méretezése költségminimumra külső nyomás esetén

Gönczi Dávid, Dr. Ecsedi István

Időben periódikusan változó hőmérséklet által okozott feszültségek és elmozdulások meghatározása gömbalakú rugalmas testben

Hajdú Sándor, Dr. Kalmár László, Dr. Czibere Tibor

Bánki-turbina járókerék kilépési veszteségeinek optimalizálása

Dr. Kota László, Dr. Jármai Károly

Nagykiterjedésű szolgáltató hálózatok optimalizálása

Kovács László

Magas fordulátú belsőégésű motor szelepvezérlési rendszerének elemző vizsgálata

Lengyel Ákos József, Ecsedi István

Kétrétegű nem tökéletesen kapcsolt kompozit rudak rezgéseinek vizsgálata

Marcák Gábor Zoltán, Dr. Jármai Károly

Futódaru főtartó szerkezetoptimalizálása heurisztikus algoritmusok segítségével

2014. 2. szám

Kovács György, Jármai Károly

Kompozit szendvicsszerkezet optimális tervezése Részecskecsoport optimalizáló módszerrel

Szűrbik Sándor

Feszültségszámítás a síkrugalmasságtan duál rendszerében a hiperszinguláris integrálegenletek módszerével

Virág Zoltán

Merítékklétrás kotró új hegesztett meríték és bontófog kopásának tapasztalatai

Bihari János

Kisméretű műanyag fogaskerekes hajtások hibái

Dömötör Csaba

A természeti intuíció hatása a termékfejlesztés gyakorlatára

Rétfalvi Attila, Dr. Stampfer Mihály, Dr. Szegh Imre

Feature-alapú technológiai modell létrehozása automatizált készüléktervezéshez

Sábitz László, Prof. Dr. Zobory István

Tuskós fékezésű vasúti tömbkerék termo-elasztikus folyamatainak vizsgálata véges elemes módszerrel - i.

Pataki Tamás, Dr. Kári-Horváth Attila

Műanyag alkatrészek erősítésének módszerei szén nanoszerkezetekkel

Bodzás Sándor, Dr. Dudás Illés

Tengelymetszetben ívelt profilú kúpos csigahajtás tányérkerék lefejtőmarójának gyártásgeometriai elemzése

Tvardovska Sofiya

Elektrolit oldattal telített porózus anyag jellemzőinek befolyása a mechano-elektromágneses hullámok eloszlására külső elektromos mező hatásakor

Tóth Bence

Axiális átömlésű ventilátor áramlástechnikai vizsgálata lapátrács-mérési adatok alapján

2014. 3. szám

Ecsedi István, Baksa Attila

Részlegesen kapcsolódó rudakból felépített vékonyfalú zárt szelvényű rúd csavarása

Hajdú Sándor, Dr. Czibere Tibor, Dr. Kalmár László

A Bánki-turbina járókerékének optimális méretarányai

Barkóczy Péter, Koszty Péter, Hoó Csaba

Vasúti felsővezeték rendszer-munkavezetékein alkalmazott felületkezelési eljárás előnyei

Marcák Gábor Zoltán, Prof. Dr. Jármai Károly

Heurisztikus algoritmusok hatékonyságvizsgálata általunk létrehozott tesztfüggvények segítségével

Szemléletváltás az acélok hegesztésében

2014. 4.

Prof. Dr. Bertóti Edgár

A 2014. június 28-i évfolyamtalálkozó résztvevőihöz

Vadász Dr. Bognár Gabriella

Dr. Döbröczeni Ádám Professor Emeritus

Dr. Ecsedi István Professor Emeritus

A „Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Tiszteletbeli Professzora” címet kapta 2013-ban Prof. Dr. Kóczy T. László Professor Úr

A „Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Tiszteletbeli Professzora” címet kapta 2014-ben Thomas Gatzky docens Úr

Patkó Gyula, Takács György:

50 éves a Szerszámgépek Tanszéke

Az NME Gépelemek Tanszékének 2014-ben 90 éves oktatói: Tar Sándor és Nagy Géza

Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet - Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet - Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék

Fizikai Intézet

Gép- és Terméktervezési Intézet

Gyártástudományi Intézet

Informatikai Intézet - Alkalmazott Informatikai Intézeti Tanszék

Informatikai Intézet - Általános Informatikai Intézeti Tanszék

Logisztikai Intézet

Matematikai Intézet - Analízis Intézeti Tanszék

Matematikai Intézet - Alkalmazott Matematikai Intézeti Tanszék

Matematikai Intézet - Ábrázoló Geometriai Intézeti Tanszék

Műszaki Mechanikai Intézet

Szerszám-gépészeti és Mechatronikai Intézet - Robert Bosch Mechatronikai Intézeti Tanszék

Szerszám-gépészeti és Mechatronikai Intézet - Szerszám-gépek Intézeti Tanszéke

Villamosmérnöki Intézet - Automatizálási és Infokommunikációs Intézeti Tanszék

Villamosmérnöki Intézet - Elektrotechnikai Intézeti Tanszék

A Gépészmérnöki és Informatikai Kar kiemelt kutatási témái

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám
elnök

Vesza József
főszerkesztő

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

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. Kalmár Ferenc
Dr. Orbán Ferenc
Dr. Pálkás István
Dr. Patkó Gyula
Dr. Péter László
Dr. Penninger Antal
Dr. Szabó István
Dr. Szántó Jenő
Dr. Tímár Imre
Dr. Tóth László
Dr. Zobory István

Tisztelt Olvasó!

2013-ban lezárult a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt, melynek keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg azok a kutatások, melyek a 4-es Kiválósági Központ keretében **Innovatív Gépészeti Tervezés és Technológiák** címmel folytak a Miskolci Egyetemen. A központ célja volt a kutatási potenciál fejlesztése olyan kutatásokkal, amelyek innovatív modellezést, tervezést és technológiai folyamatokat valósítanak meg, összhangban az Európai Unió azon törekvésével, amely az innováció serkentésére, a leghatékonyabb környezetbarát technológiák alkalmazására, fejlesztésére irányul.

A Kiválósági Központ hét tudományos műhelyre tagozódott, melyek akkor egy-egy tanszék köré szerveződtek. Közben intézetek alakultak a karon es ezek a következők: Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai, Gyártástudományi, Energetikai és Vegyipari Gépészeti, Műszaki Mechanikai, Gép- és Terméktervezési, valamint a Logisztikai Intézet. Az itt dolgozó oktatók BSc, MSc és doktorandusz hallgatókat is bevontak a kutatásokba, amelyek így jó lehetőséget biztosítottak arra, hogy a fiatalok megismerkedjenek a tudományos munkával. A közel két évig működő központ programjához kapcsolódva nem egy hallgató nyújtott már kiemelkedő teljesítményt, illetve készített színvonalas TDK dolgozatot, PhD értekezést.

Az egyes tudományos műhelyek témái nagyon sokrétűek, interdiszciplináris jellegűek, sokszor még egy adott témán belül is. A tervezés témakörében olyan tervezési, modellező eljárásokat fejlesztettek ki, amelyek hatékonyabban és megbízhatóbban modellezik a szerkezeteket és jelenségeket, jobb tervezési megoldásokat adnak. Foglalkoztak szerkezetek és rendszerek optimális méretezésével. Vizsgálták a termékéletpályát, a műszaki rendszerek hajtáslánc felépítését, a környezettudatos elvekhez és az alternatív üzemanyag használatához is kapcsolódó kutatásokat, valamint áramlás és hőtechnikai laboratóriumi és numerikus modellezéshez is számos kutatás kötődött. A gépészeti technológiák területén a környezetbarát, szerves vegyipari, illetve a folyamatos technológiák vizsgálata és energiaracionalizálás történt. Jelentősek a professzionális mechanikai anyagvizsgálatok, valamint a számítógéppel segített technológiai folyamattervezés és modellezés, valamint a befejező precíziós megmunkálások, és a nagyszilárdságú acélok hegesztése területén elért eredmények is.

A Tudományos Műhelyeken belül működő húsz K+F téma nagyon szerteágazó. Néhány közülük az alapkutatásokhoz közelít, míg mások inkább a gyakorlatban alkalmazhatók, egyesek már most látványos eredményt hoztak, mások távlati eredményekkel kecsegtetnek. Annak érdekében, hogy ezeket az eredményeket a szakmai közönség is megismerhesse, a műhely kutatói jelentős számú publikációt készítettek el és jelentettek meg hazai és külföldi konferenciákon, hazai és külföldi szakmai folyóiratokban. Természetesen az oktatásba is beépítésre kerülnek az eredmények. Ez a cikkgyűjtemény is ezt a célt szolgálja, bemutatva a Kiválósági Központ Tudományos Műhelyeinek legújabb tudományos eredményeit.

A Kiválósági Központ tovább tevékenykedik, szeretnének az elért eredményeket továbbfejlesztetni, újjakkal bővíteni. A 2014-2020-as időszakra, a formálódó GINOP és EFOP pályázatokra számos témajavaslatot dolgoztunk ki. Remélhetőleg ezek beépítésre kerülnek az elkövetkező pályázati kiírásokba.

Prof. Dr. Jármai Károly

Stratégiai és fejlesztési rektorhelyettes, a Kiválósági Központ 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

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. *Budai D.; Tisza M.:*

Fejlesztési irányok az alumínium karosszériagyártásban 5

Az alumínium alkalmazása a személyautó gyártásban a legfontosabb tömegcsökkentő eszköz. Az acélhoz szokott gyártók azonban nehezen birkóznak meg az alumínium kedvezőtlen alakítási és kötési tulajdonságaival. A kutatók az alakítási hőmérséklet és sebesség optimalizálásától várják a legkedvezőbb eredményeket.

2. *Hajdú S.; Czibere T.; Kalmár L.:*

Szabadon álló járókerektű, keresztáramú turbina indítása 11

Szerzők a szabadon álló, párhuzamos lapátos, keresztáramú turbina fontosabb működési sajátosságait foglalják össze. Áttekintik az alkalmazhatóság javításához szükséges fejlesztési (többek között) indítási jellemzőket. Az alkalmazott viszonylag egyszerű modell fontos következtetések levonására alkalmas.

3. *Ecsedi I.; Baksa A.:*

Peremén rugalmas gyűrűvel erősített forgó tárcsa szilárdságtani vizsgálata 15

A cikk a hengeres peremén rugalmas gyűrűvel erősített forgó tárcsa feszültségviszonyainak számításával foglalkozik. A feszültség és radiális elmozdulások meghatározására összefüggéseket vezetnek le és meghatározzák a szögsebesség kritikus értékét is.

4. *Farkas J.; Jármái K.:*

Hegesztett szerkezetek minimális térfogatra, illetve költségre optimált változatának összehasonlítása 19

Szerzők a minimális térfogatra való optimalizálás után kidolgozták a jóval bonyolultabb költségmi-

nimum alapú optimalizálást. A kétféle célfüggvény alkalmazása az optimalizálás során egyszerűbb hegesztett szerkezeteknél kisebb, összetettebb szerkezeteknél nagyobb különbségekre vezet.

5. *Krámer Gy.; Siménfalvi Z.; Szepesi L. G.:*

Ammónia-víz rendszerű abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének számítási módszere 24

A cikk egy módszert mutat be a az abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének becslésére. Szerzők célként fogalmazták meg a bonyolult adatbázisok és költséges professzionális szoftverek használatának mellőzését. A számításokhoz szerzők egy korábbi munkájuk hőtani adatait használják.

6. *Marosné Berkes M.; Szilágyiné Biró A.; Lőrincz A.; Koncsik Zs.:*

Műszerezett karcvizsgálat alkalmazása karbonitridált acélok felületi rétegének minősítő eljárásában 28

Nemesíthető ötvözött acélon különböző hőmérsékleteken és hőtartási idővel karbonitridált rétegeket hoztak létre. A felületi rétegek minősítő vizsgálatára a hagyományos keménységmérési és optikai mikroszkópos vizsgálatok mellett újszerű karcvizsgálati eljárást javasolnak.

7. *Rádics J. P.; Jóri J. I.; Fenyvesi L.:*

Talaj CO₂ kibocsátási modell validálása nemlineáris regresszió analízissel 36

A szerzők által kidolgozott emissziós modell és az alkalmazott nemlineáris regressziós analízis lehetővé teszi a talajok gázemissziójának számítását/ becslését. A modell alkalmas különböző földművelő módszerek és eszközök hatására bekövetkező széndioxid kibocsátásának összehasonlítására.

FEJLESZTÉSI IRÁNYOK AZ ALUMÍNIUM KAROSSZÉRIAGYÁRTÁSBAN

DEVELOPMENT TRENDS IN ALUMINIUM CAR BODY PRODUCTION

Budai Dávid*, Tisza Miklós**

ABSTRACT

Building a car body from aluminium is not a recent technology forced by the strict emission rules and the low consumption efforts. This design direction appeared in the middle of the last century as the technology of the future. The aluminium with its different properties compared to steel creates limits for the production technology and tasks for the researchers to solve it. Due to these developments the economical production of a full aluminium body car is not the privilege of the premium segment anymore. With the recent developments, economic production of a medium category aluminium car by mass production has become possible. The goals of the next decades are to increase the number of the aluminium car manufacturers and to find economical solution to product small size aluminium cars. Increasing the formability of aluminium and developing the joining technology are the recent research topics. If the research area finds solutions to these problems, it makes the manufacturers think about the aluminium car technology, since using these solutions makes the production costs lower and finally supports to start the aluminium era in car production.

1. BEVEZETÉS

Az autógyártók csak néhány évtizede kezdték el az alumínium alkalmazását mérlegelni, mivel előtte az autógyártás számára az alumínium még egy új és nehezen használható anyagnak számított. Az 1970-es olajválság hatására intenzív fejlesztések indultak meg az autók fogyasztásának csökkentésére. Az egyik leghatásosabb megoldás az autók tömegének csökkentése, amelyhez új, könnyebb anyagok használata, új tervezési és gyártási filozófia szükséges.

Az alumínium autógyártással kiemelten az Audi és a Jaguar foglalkozott, amelynek köszönhetően a két autógyártó a 2000-es évekre már sorozatgyártásra alkalmas

technológiával rendelkezett. Az Audi és a Jaguar egymástól eltérő módon valósította meg az alumínium autógyártás gazdaságossá tételét, ami jól jelzi ennek a területnek az összetettségét. Az Audi már 1994-ben bemutatta az alumíniumból készült A8-as típusát, amely 239 kg-mal volt könnyebb, mint egy hasonló méretű acél karosszériás modell. A közel 20 évnyi K+F tevékenységnek köszönhetően, az alumínium karosszéria alkalmazása nem csak a nagyméretű luxusautók kiváltsága, hanem a közép- és kiskategóriájú autók számára is egyre inkább elérhető. A Jaguar Land Rover csoport már a 2003-as XJ-ben teljes alumínium karosszériát alkalmazott, amely technológia mára a konszern összes típusában megtalálható. A Jaguar Land Rover jelenleg futó típusai tartalmazzák a legtöbb alumíniumot. E tekintetben a konszern csúcstípusa a közel 600 kg alumíniumot tartalmazó Range Rover, amely ennek köszönhetően közel fél tonnával lett könnyebb elődjénél. Ezek a számok a gyakorlatban azt eredményezik, hogy egy 5-6 méter hosszúságú, felsőkategóriás luxusautó fogyasztása akár 5-7 liter / 100 km közötti érték is lehet, amely korábban elképzelhetetlen volt.



1. ábra: Jaguar XE alumínium lemezből készült karosszéria (Jaguar Land Rover Ltd.)

Mára az alumínium az autógyártás második legnagyobb mennyiségben felhasznált anyaga lett. A jelenlegi átlagos autógyártás 65 millió autót készít évente. Különböző elemzések szerint, ha minden autó az átlagos alumínium mennyiséget (140 kg) tartalmazna a jövőben, akkor 1 év alatt 140 millió tonna szén-dioxidtól kímélénk meg a Földet és 60 milliárd liter olajjal kevesebbet kellene kitermelni a fogyasztáscsökkenés miatt [7].

*doktorandusz, Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet

**egyetemi tanár, intézeti tanszékvezető, Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék

2. ALUMÍNIUM AUTÓK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJÁNAK KÉRDÉSEI

Az autógyártás acélközpontúsága miatt problémaként kezelik a szakemberek az alumínium alkalmazását, mivel a megszokott acél elemek gyártásához képest az alumínium alkatrészek gyártása speciális eljárásokat és tudást igényel, nem elegendő csupán a megszokott acél alapanyagokat alumíniumra cserélni. Az alumínium sűrűsége közel harmada, alakváltozó képessége pedig közel fele az acélénak. E tulajdonságok miatt az alumínium autógyártásra való átállás jelentős költségeket jelent az autógyártóknak, amit jelenleg csak a válság ellenére növekvő eladásokat produkáló prémium autógyártók engedhetnek meg maguknak. Az alumínium karosszériájú autók megjelenésére hatással van az alapanyag tulajdonsága, ugyanis a rosszabb alakíthatóság nem tesz lehetővé bonyolult geometriákat, éles vonalakat, emiatt az alumínium alkalmazásával készült autókat nagy síkfelületek, valamint lágy töréssel rendelkező panelek határolják. A merevség megőrzése érdekében alumíniumból az acél elemeknél masszívabb alkatrészeket kell tervezni, emiatt a falvastagságokat növelni kell. A kevésbé éles lekerekítések, hajlított ívek miatt a lemezalakításnál kompromisszumokat kell kötni, mivel túl éles sarkokon az alumínium elszakadhat alakítás közben. Lemezalakításnál speciálisan szabott előgyártmányokkal javíthatjuk az alumínium lemez alakváltozásának menetét, hogy elkerüljük a kedvezőtlen gyűrődéseket, visszarugózásokat. A kritikus helyeken érdemes külön felületkezeléseket alkalmazni, hogy csökkenjen a súrlódás, ezzel segítve az anyag folyását az adott felületen. Alakítás során ügyelni kell arra, hogy ne keletkezzen túl nagy feszültség olyan helyeken, ahol később peremek lesznek, mert a maradó feszültség hatására a lemez deformálódik. Ezenkívül, lehetőség szerint biztosítani kell az egyenletes feszültségeloszlást az egész darabban. Ehhez ráncgátlókat, húzóbordákat és speciális, vezérelt szerszámokat kell alkalmazni. Mind a szerszámok, mind az alkatrész tervezésénél be kell tartani ökölszabályokat az elemeken található lekerekítések és ívek geometriáját illetően.

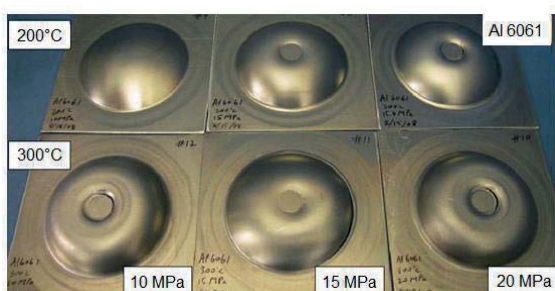
Az elemek gyártása mellett az összeszerelésnek is speciális igényei vannak, hiszen az alumínium hegesztése csak speciális és drága berendezésekkel végezhető el. Emiatt részesítik előnyben a gyártók a repülőgépiparból átvett szegecs- és ragasztott kötéstechnológiákat, amelyeket az alumínium elemek összeszerelésénél nagy számban használnak. Ezekkel az eljárásokkal külön merev kötések hozhatók létre, illetve különböző anyagminőségű lemezek kötése is gond nélkül megoldható. Az alumínium karosszéria kialakításának rengeteg változata született az elmúlt évtizedekben. Minden gyártó saját megoldásokat fejlesztett ki, így nehéz csoportba osztani a karosszéria változatokat a nagyszámú és egymástól eltérő megoldások miatt. A kialakításokat alap-

vetően befolyásolja a gyártási sorozat nagysága, így a csoportokra bontást az alapján készítették el, hogy milyen megoldások jellemzők az egyedi, kis- és nagyszorozat gyártásra. Az alkatrészek minősége a szerelésre való alkalmassággal jellemezhető, azonban ezekkel a költségeket csak igen megfontoltan szabad becsülni. Az alkatrészek költségigénye függ a formától, mechanikai tulajdonságoktól, tűrésektől, stb. Bizonyos technológiák után még kiegészítő megmunkálásokra is szükség van, amelyek tovább növelik a költségeket. Az alkalmazott technológia további fontos meghatározója egy alkatrész egységköltségének, hiszen egy 3D hajlítással, vagy hidroform alakítással készült alkatrész jóval többbe kerül, mint egy hagyományos öntéssel, vagy préseléssel előállított elem. Az alkalmazott szerszámok élettartama további fontos tényezője a rendszer költségeinek. Egy kis tűrésmezővel rendelkező alkatrész gyártásánál a szerszám tűrései is szigorúak, ami tovább növeli a költségeket. Jól látható, hogy az alumínium autók gyártásánál az egész gyártórendszert újra kell gondolni és tervezni, hogy a tömegcsökkentett alumínium autókat gazdaságosan lehessen gyártani. A legfontosabb paraméter a gyártási volumen, amely így alapjaiban határozza meg az autó szerkezeti felépítését, hiszen nagyszorozatgyártásban megtérülnek a drága prészserszámok, így az autó akkor állítható elő gazdaságosan, ha azt minél több lemezalkatrész alkotja. Közepes darabszámnál már az öntött és extrudált profilok jelentik az optimális megoldást.

3. FŐBB KUTATÁSOK, ÉS EREDMÉNYEIK

A szigorú emissziós szabályozások miatt az autógyártóknak rövid időn belül kell jelentős fejlesztéseket véghezvinni, hogy csökkentsék járműveik tömegét. Ennek hatására az autógyárak és a különböző kutatócsoportok együttesen vizsgálják az alumínium ötvözetek tulajdonságait és azok gyárthatóságát. Az alakváltozási képesség korlátai miatt az alumínium ötvözetek nagyszorozatgyártásban való alkalmazása költségessé és nehezzé válik. A tömeggyártáshoz kiváló nyújthatóság és alakíthatóság szükséges, hogy bonyolult geometriai formákat hozzanak létre egyszerűen és gazdaságosan. Ismeretes, hogy az alakítás hőmérsékletének az újrakristályosodás hőmérsékletéig való növelésével javul az alakíthatóság. Például az 5XXX ötvözeteket 300°C-ig, míg a 6XXX ötvözeteket 200°C-ig kell melegíteni, hogy új csúsztási síkok aktivizálódjanak az anyagszerkezetben. Amennyiben a szerszám melegítése megvalósítható lokalizált, külön vezérelhető fűtött szegmensekkel, akkor további javulást lehet elérni az alumínium alakváltozó képességében. Az alumínium ötvözet alakíthatósága nem csak a hőmérséklet emelésével javítható, hanem az alakítás sebességének jelentős csökkentésével. A növelt hőmérsékletű alakítás elvégzéséhez számos új alakító techno-

lógiaát fejlesztettek ki, amelyekkel, nagyobb hatékonysággal lehet elvégezni a komplex geometriák gyártását, mint a hagyományos technológiákkal. Ilyen technológia például a hidroform eljárás, amelyet már régóta alkalmaznak az autóiparban szerkezeti és külső lemezek gyártásához. A súrlódásmentes, biaxiális alakításnak köszönhetően az alakítási határdiagramok területe megnövekedett; ennek köszönhetően az egyenlőtlen falvastagság csökkenés és a befűződés elkerülhetővé vált. A hibrid, növelt hőmérsékletű hidroform eljárás egyesíti a melegalakítás és a hidroform alakítás előnyeit. Bár előnyei egyértelműek, ez a technológia még igen újnak számít, így számos kísérlet témája jelenleg is. Az alumínium ötvözetek alakíthatóságának javítására számos technológiai vizsgálatot végeztek, amelynek köszönhetően ez a terület gazdag irodalommal rendelkezik.

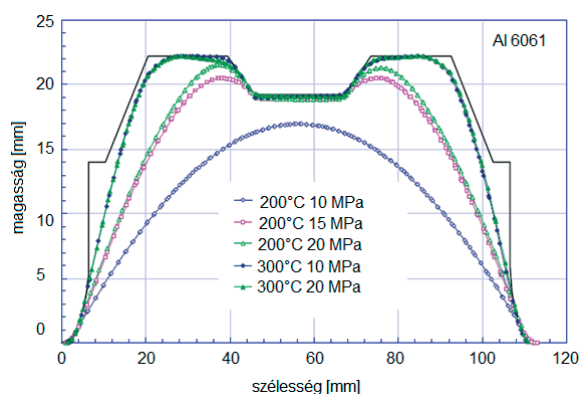


2. ábra: A vizsgálat EN AW-6061 ötvözetből készült próbadarabjai [1]

A Virginia Commonwealth University precíziós alakítási központjában végeztek 2008-2009 között technológiai kísérleteket az EN AW-5052 és EN AW-6061 ötvözetben. A kutatást vezető Mahabunphachai és Koc azt vizsgálta, hogyan változik az anyag alakíthatósága különböző hőmérsékleteken és különböző sebességekkel végzett alakítás során [1]. Az ötvözetet olyan mélyítő berendezéssel vizsgálták, amelyben a tömör, acél tűske helyett melegített olajközeg végezte az alakítást. A vizsgálat alatt mindkét szerszámrész hőmérséklete külön mérhető és szabályozható volt. A gyors reagálású rendszernek köszönhetően a kísérlet alatt a beállított és mért hőmérséklet közötti különbség sosem haladta meg az 5°C-t. A hevítő ciklus után egy 5-10 perces várakozás jött, az egyenletes hőmérséklet biztosítására az egész szerszámtestben. Az alakítási sebesség hatásának vizsgálatánál három alakítási sebességet alkalmaztak. A kísérleteket szobahőmérsékleten, 100°C, 200°C és 300°C-on végezték el 0,013 1/s és 0,13 1/s alakítási sebességgel (2. ábra) [1].

Az eredményekből látszik, hogy 200°C-on végzett alakítás esetén különösen rossz eredményeket értek el az EN AW-6061 ötvözetből készült próbadarabokkal. A 15 és 20 MPa nyomás mellett nem a szerszám alakját vette fel a lemez, hanem repedés, szakadás jelent meg a darab tetején. A repedés oka, hogy a hőmérséklet növelésével a folyáshatár csökken, de a nyújthatóság nem

növekszik kellő mértékben. A hőmérséklet növelése csökkentette az anyag szilárdságát, ami onnan látható, hogy ugyanolyan nyomással, de nagyobb hőmérsékleten végzett vizsgálatok során a lemez jobban felvette a szerszám alakját. A szerszámkitöltési tényezőt a mérések alapján meghatározták. Az EN AW 6061 ötvözetből készült lemez formakitöltési tényezője 60%-ról 83%-ra nőtt a hőmérséklet növelésével. Mivel a kísérletnél alkalmazott nyomás és hőmérséklet kombinációk nagy része okozott szakadást, érdemes tovább kísérletezni, hogy az alkalmazott geometria esetén mik a technológia határai. A kísérlet szemléletesen mutatta be, hogy az alakítási hőmérséklet növelésével jelentősen javul az anyag alakíthatósága (3. ábra) [1].

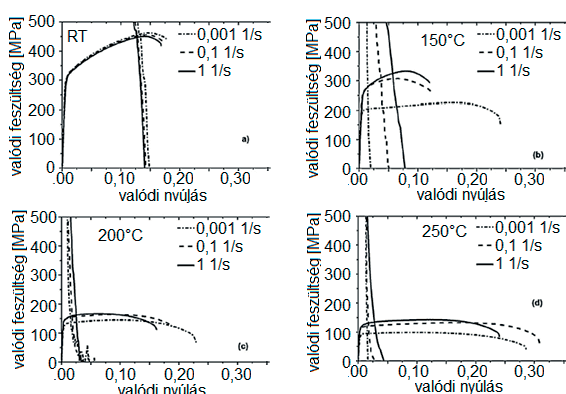


3. ábra: Az alakíthatóság változása a hőmérséklet növelésével [1]

A növelt hőmérsékletű alakítás hatásait hagyományos szakítópróbával is vizsgálhatjuk. Az alábbi kísérletet 2013-ban publikálta a Paduai egyetemről Bariani és Bruschi [2]. A kísérletben EN AW-5083-as alumínium ötvözetben végeztek szakítópróbát 300°C, 400°C, 450°C és 500°C hőmérsékleteken. A vizsgált próbatesteket 10°C/s sebességgel hevítették az alakítási hőmérsékletre, majd 90 másodpercig hűtötték tartották, a homogén hőmérséklet kialakulása érdekében az egész próbatestben. A nyújtást 0,1 1/s sebességgel végezték. Az ötvözet alakítással szembeni ellenállása jelentősen romlott a hőmérséklet növelésével. Alakítási keményedés csupán a 300°C-on végzett kísérletnél figyelhető meg. A folyáshatár a hőmérséklet növelésével drasztikusan csökkent. Az alakítási határdiagramot (FLD) szintén 0,1 1/s alakítási sebességgel vették fel különböző hőmérsékleteken. Az FLD érzékenyen reagált a hőmérséklet változására. A szobahőmérsékleten végzett vizsgálattal összehasonlítva 450°C-on volt a legszélesebb az alakíthatóság tartománya. Tovább növelve a hőmérsékletet, csökkent az alakíthatóság területe, amely az alumínium ötvözetekre jellemző optimális hőmérsékleti tartomány létezését vetíti előre [2].

Kumar, az osztrák Ranshofen GmbH kutatója az EN AW-7020 alumínium ötvözet alakíthatóságát növelt hőmérsékletű szakítóvizsgálattal és az autóiparban szo-

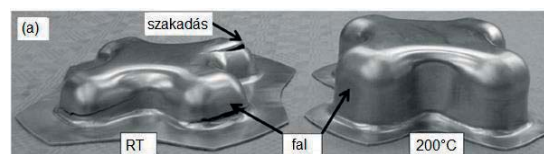
kásos keresztpróbával (Cross-die) vizsgálta. A szakítóvizsgálat során az ötvözetből készült, 2 mm vastagságú lemezből kimunkált próbatestet felmelegítették a vizsgálati hőmérsékletekre (150°C, 200°C, 250°C), majd 4 másodpercig tartották ezen a hőmérsékleten. A húzóterhelést csak ez után alkalmazták. Az alakváltozási sebesség 0,001 és 1 s⁻¹ között volt. A szobahőmérsékleten zajló szakítóvizsgálat a jól ismert anyagviselkedést mutatta. A valódi feszültség növelésével a valódi nyúlás lineárisan növekszik egészen a folyáshatárig. Ezután a közismert alakváltozási keményedés hatására nemlineárisan változik a valódi feszültség - valódi nyúlás kapcsolata. Ezután elkezdődik egy gyors kontrakció, majd elszakad a próbatest. A szobahőmérsékleten, de különböző alakváltozási sebességgel végzett vizsgálatok, mind ugyan ezt a jelleget mutatták (4. ábra) [3].



4. ábra: EN AW-7020 ötvözet szakítópróbáinak eredményei [3]

Ebből megállapítható, hogy az alakváltozás sebessége elhanyagolható hatással van az alakítási keményedés lefolyására szobahőmérsékleten. A növelt hőmérsékletű alakításoknál az alakítás sebessége jelentősen befolyásolja a valódi feszültség és a valódi nyúlás kapcsolatát. 150°C hőmérséklet és 0,001 1/s alakítási sebesség mellett az alakváltozási keményedés és a valódi nyúlás aránya kisebb volt, mint nagyobb sebességnél, de azonos hőmérsékleten. Ennek az arálynak a csökkenése a nagyobb hőmérsékleteken is megfigyelhető. Az alakváltozási sebesség növelése 0,01-ről 1 1/s-ra csak kismértékű változást eredményezett az értékek arányában. Ezeken a növelt hőmérsékleteken a valódi feszültség közel állandó maradt az egyezményes folyáshatár után, ami arra utal, hogy a nagyobb hőmérséklet beindított egy lágyulási mechanizmust. A szakítóvizsgálat után az autógyártásban használt Cross-die tesztet végeztek az ötvözetben. A Cross-die tesztben egy kereszt alakú bélyeggel végeznek mélyhúzást, amelyből meghatározzák az adott lemezanyag alakíthatóságát. A Cross-die tesztet szobahőmérséklet és 250°C között végezték. A kísérlet előgyártmánya egy 231 mm x 231 mm alakú, sarkain lekerekített lemez. A melegítést fűtőszálakkal oldották meg, amelyek melegítik a húzógyűrűt, a bélyeget és a

ránctartót is. A szerszámba helyezett lemezt kenőanyaggal látták el.

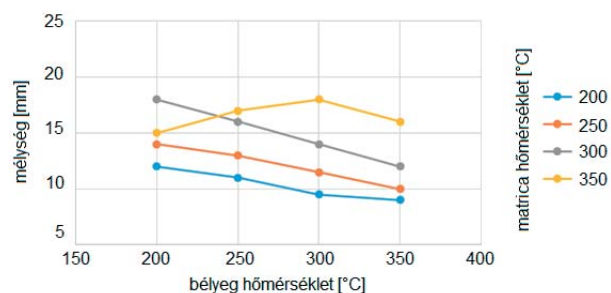


5. ábra: Cross-die próbatestek alakítás után [3]

Szerszám zárás után a lemez 15 másodperc alatt elérte a kísérlet hőmérsékletét, ezután megindult az alakítás. Az alakítás alatt kéttengelyű húzófeszültség ébred a bélyeg fejrészén, ami az alsó rádiusznál az anyag vékonyodását okozza. A mélyhúzhatóság határát az előállított edény magasságával határozták meg. Az edényt addig húzták, amíg azon repedés jelent meg (5. ábra). Szobahőmérsékleten a teljes húzási hossz felénél már bekövetkezett az anyag kiszakadása, amely megerősítette az AW-7020-T6 ötvözet szobahőmérsékleten rossz alakíthatóságát. [3]

A University of Michigan Anyagtudományi Tanszékén Ghosh [4] az EN AW-6111-T4 ötvözet alakíthatóságát vizsgálta. Ez az ötvözet számos autóban megtalálható, így vizsgálata kifejezetten hasznos az autógyártás számára. A kísérletekben mélyhúzási technológiával, különböző hőmérsékleteken alakították a 200 x 140 mm méretű alumínium lemezeket. A bélyeg és a matrica egyaránt melegítve volt. Az alakítási kísérleteket 200-350°C hőmérsékleteken, valamint referenciaként szobahőmérsékleten is elvégeztek néhány alakítást. A bélyeg sebessége 10 mm/s volt, amely a korábban bemutatott vizsgálatokhoz képest kifejezetten gyorsnak számít. A mélyhúzott darab mélységét mérték, amellyel jellemezték az alakíthatóságot. A vizsgálatok azt mutatták, hogy az alakítási hőmérséklet növelésével javult az ötvözet mélyhúzhatósága és nyújthatósága. Az alakíthatóság javulása monoton emelkedést mutat [4]. Ebből a vizsgálatból nem látható, hogy ennek az ötvözetnek is létezik-e optimális alakítási hőmérséklete. A görbe jellegéből adódóan valószínűleg nagyobb hőmérsékleten már megjelenne valamilyen tulajdonságromlás, ám a legnagyobb vizsgálati hőmérséklet már így is közelíti a melegalakítás határát, ami pedig egy teljesen más területre lenne a képlékenyalakításnak. A kísérlet folytatásában nem izotermikus alakítást végeztek, hanem külön hőmérsékletre hevítették a bélyeget és a matricát. Korábbi kutatásokban már észrevették, hogy amennyiben hőmérséklet gradiens jelenik meg a technológiában, az jelentősen befolyásolja az anyag viselkedését. A nem-izotermikus vizsgálatok eredményei azt a jelenséget mutatták ki, hogy az esetek nagy részében akkor a legjobb az alakíthatóság, amikor a matrica hőmérséklete nagyobb, mint a bélyegé. A vizsgálatok alapján az alakíthatóság javítható, amennyiben a matrica hőmérséklete legalább 50°C-kal nagyobb, mint a bélyeg hőmérséklete. Ez azt is jelenti, hogy a matricát melegíteni, míg a

bélyeget hűteni kell az optimális alakítási viszonyok eléréséhez [4].



6. ábra: Nem-izotermikus mélyhúzási vizsgálat eredményei [4]

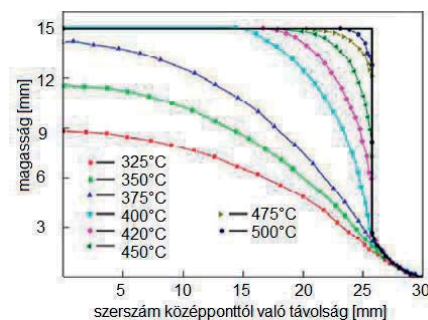
Napjainkban nagy figyelem kíséri az alumínium ötvözetek nagy sebességgel végzett alakítási technológiáit (high strain rate superplasticity - HSRS). A General Motors által fejlesztett HSRS technológia hevített gázközeggel alakítja a lemezt hirtelen fellépő nagy nyomással [6]. A HSRS technológia szuperképlékeny állapotban alakítja a lemezt 10^{-3} 1/s-ál nagyobb sebességgel. Egy lemezalkatrész közel 12 perc alatt készül el. Ezzel a technológiával lehetőség nyílik nagyszorozatban előállítani lemezalkatrészeket (100.000/év). A HSRS technológiában kiemelten kell figyelni az alapanyag előkészítésére. Szabályozott mikrostruktúra és kisméretű szemcsék szükségesek a megfelelő alakításhoz. Számos megoldáson dolgoznak a kutatók, amelyekkel a HSRS technológia kivitelezhetővé és alkalmassá válik az ipar számára. Egyik ígéretes irány a gyors gázformázás (rapid gas forming - RGF). A technológia alapelve, hogy a fémet gyorsan felmelegítjük az alakítás hőmérsékletére egy fűtött szerszámmal, majd nagynyomású gázközeggel alakítjuk néhány másodperc alatt.



7. ábra: Különböző hőmérsékleteken végzett alakítások eredménye [5]

Számos kutatás foglalkozik az optimális alakítási paraméterek meghatározásával, mivel az alumínium ötvözetek érzékenyek az alakítás hőmérsékletére: jellemzően csak bizonyos hőmérséklet tartományban rendelkeznek a kívánt alakíthatósággal. kínai kutatók [5] az alakítás során a hőmérséklet hatását, a gáz nyomását és az alakítás idejét vizsgálták, az optimális paraméterek meghatározása érdekében, nagyszorozatgyártás számára. (7. ábra). A szerszám külső melegítőköpeny segítségével éri el a beállított hőmérsékletet. Az eljárás során a lemez

hőmérséklete megegyezik a szerszám hőmérsékletével, így nem alakulnak ki hőmérsékleti gradiensek. A szerszám belső átmérője 52 mm, a csésze magassága 15 mm. Az RGF alakítás vizsgálata során 5A06 lemezt használtak. A 8. ábra mutatja a rádiusz változását a hőmérséklet és az alakítási időtartam függvényében. A lemez tulajdonképpen szabadon alakváltozott 325°C és 375°C között 2,5 MPa nyomáson 30 másodperces terhelési idővel. Ahogy a hőmérséklet növekedni kezdett, a lemez egyre inkább közelítette a szerszám alakját. A hőmérséklet növekedésével a csésze alján lévő rádiusz mérete csökkent. A legkisebb rádiusz 2 mm volt 500°C-os alakításnál [5].



8. ábra: Az alakítási hőmérséklet hatása a rádiusz változására a szerszám profilhoz viszonyítva [5]

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérletekből látható, hogy a különböző kutatások az alumínium alakíthatóságának növelésére több megoldást is vizsgáltak. A hőmérséklet növelése és az alakítási sebesség csökkentése univerzális módszernek mondható, mivel csaknem minden alakítási technológiában változtatható ez a két paraméter. Az olyan jellemzők, mint az alakító közeg nyomása már technológiától függő. A kísérletek az autóiparban használt alumínium ötvözetek széles körét tanulmányozták. Az eredmények azt mutatták, hogy jelentősen növelhető az alumínium ötvözetek alakíthatósága az alakítási hőmérséklet növelésével. A kivitelezés szempontjából megismerhettünk izotermikus és nem-izotermikus alakításokat, amelyek jól mutatják, hogy a hőmérséklet növelésének többféle megoldása lehetséges, amelyek más-más módon hatnak az alakíthatóságra. Az alakíthatóság növelésére a gyártás számára is használható megoldás a folyamatban résztvevő szerszámelemek hevítése. Ilyen esetben a szerszámelemek ugyanazt a hőmérsékletet veszik fel az alakítás során. Ez egy eredményre vezető megoldás, de nem teljes körűen kidolgozott. Láthattuk néhány kísérletben, hogy amennyiben a matrica és a bélyeg nem azonos hőmérsékletű, az tovább javítja bizonyos ötvözetknél az alakíthatóságot. Ez a megoldás már lényegesen bonyolultabb és számos új feladat elé állítja a kutatókat. Külön kísérletet kíván már csak annak meghatá-

rozása, hogy a szerszám mely részeit fűtsék, és mely részeit hűtsék az optimális hőmérsékleti gradiens elérése érdekében. A hőmérsékleti szegmensek elhelyezkedése geometriafüggő, így minden gyártandó darabhoz ki kell kísérletezni a megfelelő elrendezést. Ezek után pedig a szegmensek hőmérséklet különbségét kellene meghatározni, ami újabb nagyszámú kísérletet jelentene. Ezeket figyelembe véve, látható, hogy az iparban ma még nehezen bevezethető, hasznosítható ez a technológia a jelenlegi állapotában. A nem-izotermikus technológia fejlődését segíthetné egy erre a területre kidolgozott, speciális végeeselemes szoftver, amely az alkatrész geometria alapján képes meghatározni a hevítendő és hűtendő szegmenseket, valamint azok hőmérsékletét. Az izotermikus technológia egyszerűbb és könnyebben hasznosítható az ipar számára. Ebben a szerszámelemek állandó, homogén hőmérséklettel rendelkeznek. Ezzel a módszerrel is növelhető az alakíthatóság, bár a technológia nem olyan kifinomult, mint a nem-izotermikus technológia. Jelenleg a növelt hőmérsékletű alakítások közül ez áll legközelebb az ipari alkalmazáshoz. A technológia elterjedését segíti, hogy a kutatócsoportok számos eredményt publikálnak a különböző ötvözetek optimális hőmérsékleti tartományáról, amelyeket részben az itt ismertetett kísérletekben is láthattuk. A technológia ipari bevezetését az is tovább nehezíti, hogy a hevítés és hőntartás mindig költséges és a szerszámok árában elérhető megtakarítás nem feltétlen fedezi a megnövekedett energiaigény költségét. A technológia csak akkor kerülhet a megvalósítás stádiumába az autógyártásban, ha sikerül úgy összekötni a gyár energia-gazdálkodását, hogy a folyamat hulladék hőjét más technológia fel tudja használni. Az optimális hőmérsékleti tartomány általában 180°C és 250°C között található, ami azt jelenti, hogy egy kisebb hőmérsékletet igénylő folyamattal összekötve gazdaságos lehet az alkalmazása. Ez nyilván gyárfüggő, illetve az autógyárak jellemzően kiszervezik a lemezalakítást, de mindenképpen érdemes a megvalósíthatóságát energia oldalról is elemezni. Az alakítási sebesség csökkentése szintén javítja az alumínium ötvözetek alakíthatóságát, azonban ez az ipar számára szintén nem kedvező. Az autókba épített lemezalkatrészek 3-5 másodperces ciklusidővel készülnek, amely nem engedheti meg, hogy az alakítás sebességét jelentősen csökkentsék. A tömeggyártás számára biztosan nem járható út az alakítás sebességének csök-

mentése, ezért a jövőben inkább az alakítási sebesség növelésére érdemes koncentrálni, hiszen a szuperképlékeny állapot úgy is elérhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] S. MAHABUNPHACHAI; M. KOC; Investigations on forming of aluminium 5052 and 6061 sheet alloys at warm temperatures; *Materials and Design* 31 (2010); pp. 2422-2434.
- [2] P. F. BARIANI, S. BRUSCHI, A. GHIOTTI, F. MICHIELETTO: Hot stamping of AA5083 aluminium alloy sheets; *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62; 2013; pp. 251-254.
- [3] M. KUMAR, N. SOTIROV, C.M. Chimani; Investigations on warm forming of AW-7020-T6 alloy sheet; *Journal of Materials Processing Technology* 214; 2014; pp. 1769-1776.
- [4] D. Li, A. Ghosh, 2004. Tensile deformation behaviour of aluminium alloys at warm forming temperatures. *J. Mater. Process. Technol.* 145, pp. 281-293.
- [5] F. XIAO-BO, H. ZHU-BIN, Y. SHI-JIAN; Deformation behavior of 5A06 aluminium alloy sheet for rapid gas forming at elevated temperature; *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 22; 2012; pp. 389-394.
- [6] Rashid, M. S. et. al.: Quick plastic forming of aluminium alloy sheet, US Patent, No. 6,253,588 B1, July 3. 2001.
- [7] C. KOFFLER – K. ROHDE-BRANDENBURGER, On the calculation of fuel savings through lightweight design in automotive life cycle assessments, *International Journal of Life Cycle Assessment* (2010) 15, pp. 128-135.

SZABADON ÁLLÓ JÁRÓKEREKŰ KERESZTÁRAMÚ TURBINA INDÍTÁSA

STARTING BEHAVIOUR OF CROSS FLOW TURBINE

Hajdú Sándor*, Dr. Czibere Tibor**, Dr. Kalmár László***

ABSTRACT

The dynamics specific of a cross flow turbine can be quite complex. The flow field is very unsteady and largely three-dimensional. There is much interference between the shed vortices and blades. In addition, dynamic stall behavior is very prevalent as the blade encounters rapidly changing angles of attack throughout its rotation. Despite this complexity, relevant conclusions are available using a simple calculation model. The paper analyses the changes in the lift and the drag on the airfoil as a function of the angle θ , describing the position of the blade, and of the tip speed ratio λ on the basis of the lifting-line theory. Our calculations were not limited to a single tip speed ratio but we studied the whole relevant rotational speed range of cross-flow turbine.

1. BEVEZETÉS

A keresztáramú turbinák (az angol nyelvű irodalomban gyakran: cross-flow turbine) esetében a közeg *ugyanazon a kerületen* lép be a járókerék lapátozott terébe, amelyen a lapátozott téren való áthaladást követően azt elhagyja.

A keresztáramú turbinák egyszerűen osztályozhatóak aszerint, hogy a beérkező áramlás áthalad-e a lapátozott téren történő átáramlást megelőzően egy vezetőcsatornán, vagy pedig ilyen vezetőcsatorna nincs és az áramlás a szabadon álló járókereket éri el.

A vezetőcsatorna *nélküli*, szabadon álló járókerékű keresztáramú turbinák a szerint csoportosíthatóak, hogy működés közben a járókerék kerületi sebessége kisebb, vagy nagyobb, mint a párhuzamos áramlás v_0 sebessége a járókeréktől távol. Az üzemiállapotot a λ gyorsjárású szám jellemzi (az angol nyelvű irodalomban: „tip speed ratio”, TSR), amely a kerületi sebesség és a közeg áramlási sebességének a hányadosa.

Ha a működés olyan, hogy a kerületi sebesség kisebb az áramlás sebességénél („lassú járású” járókerék), akkor Savonius-turbináról van szó (az angol nyelvű irodalomban gyakran: „drag driven turbine”), ha pedig a működés olyan, hogy a kerületi sebesség meghaladja az áramlás sebességét („gyors járású” járókerék), akkor Darrieus-turbináról (az angol nyelvű irodalomban gyakran: „lift driven turbine”). A szabadon álló járókerékkel működő keresztáramú turbinák koncepcióját Sigurd Johannes Savonius (1884. november 2.– 1931. május 31.) finn mérnök és Georges Jean Marie Darrieus (1888. szeptember 24. – 1979. július 15.) francia aeronautikus a XX. század első felében dolgozta ki [1],[2].

A Savonius-turbinára jellemző, hogy a járókerék kerületi erői *főleg ellenállás-jellegűek* és aszimmetrikus eloszlásúak a lapát kerületén olyan módon, hogy bizonyos üzemiállapot tartományban forgatónyomaték tud kialakulni.

A Darrieus-turbina esetében a lapáton ébredő felhajtóerő kerületi komponensének és az ellenállás kerületi komponensének a különbsége mutat aszimmetrikus eloszlást a járókerék kerülete mentén szintén olyan módon, hogy bizonyos üzemiállapot tartományban forgatónyomaték tud kialakulni.

A vonzóan egyszerű szerkezetű, szabadon álló járókerékű gyorsjárású keresztáramú turbinák gyakorlati elterjedésének egyik jelentős akadálya az indulás bizonytalansága és a megfelelő üzemiállapothoz tartozó járókerék fordulatszám elérésének a problémája. Az ilyen turbinák az indulási és ezt követően az alacsony fordulatszámok melletti, éppen aktuális üzemiállapota jelentősen eltér a tervezési üzemiállapottól. A működés sajátosságai olyanok, hogy segédüzem alkalmazása nélkül nem megbízható a felgyorsulási folyamat és ciklikus állásszög változtatás nélkül az átlagos kerületi erő is kisebb az elvileg elérhetőnél.

A cikk első részében a szabadon álló, párhuzamos tengelyű lapátokkal rendelkező keresztáramú turbina működési sajátosságait meghatározó alapvető összefüggéseket foglaljuk össze. A cikk második részében a gyakorlati

* doktorandusz

Miskolci-Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

** Akadémikus, Professzor Emeritus

Miskolci-Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

*** egyetemi docens

Miskolci-Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

alkalmazhatóság javítása szempontjából szükséges feltételeket tekintjük át.

A műszaki kérdések mellett a gyakorlat szempontjából szintén alapvető jelentőségű a gazdaságos alkalmazás feltételeinek a vizsgálata. Ez az elemzés azonban messze meghaladná a cikk terjedelmi korlátait, ezért ebben a cikkben ezt az összetett problémakört egyáltalán nem érintjük.

2. ALAPÖSSZEFÜGGÉSEK

Az 1. ábrán nem szereplő, de a cikkben alkalmazott további jelölések:

C_D : ellenállás tényező [-];

C_L : felhajtóerő tényező [-];

Megjegyzés: Adott szárnyprofil esetében a C_L és a C_D tényező értékei a megfúvási iránytól és a lokális Reynolds-számtól függenek

ρ : a közeg sűrűsége [kg/m^3];

λ : gyorsjárás szám: $\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v_0}$

c : a szárnyprofil-húr (lapáthúr) hossza [m]

D : a járókerék átmérője [m] $D = 2R$

μ : a közeg dinamikai viszkozitása [Ns/m^2]

ν : a közeg kinematikai viszkozitása [m^2/s]

$Re_{rel} = \frac{\rho \cdot w \cdot c}{\mu} = \frac{w \cdot c}{\nu}$: lokális Reynolds-szám

N : lapátszám [-]

Feltesszük, hogy a járókerék kerületén elhelyezkedő lapátózás (1.a ábra) a v_0 sebességű zavartalan áramlásban mozog, így a w relatív sebességnek a kerületi sebesség irányába és a párhuzamos áramlás irányába eső vetülete egyaránt állandó nagyságú a kerület mentén (az 1.b ábra ezt egy rögzített üzemállapotra vonatkozóan szemlélteti). Ekkor áll, hogy

$$w(\Theta) = \sqrt{v_0 \cdot \sin^2(\Theta) + (\omega \cdot R + \cos(\Theta))^2} = \quad (1)$$

$$= v_0 \cdot \sqrt{\sin^2(\Theta) + (\lambda + \cos(\Theta))^2}$$

és

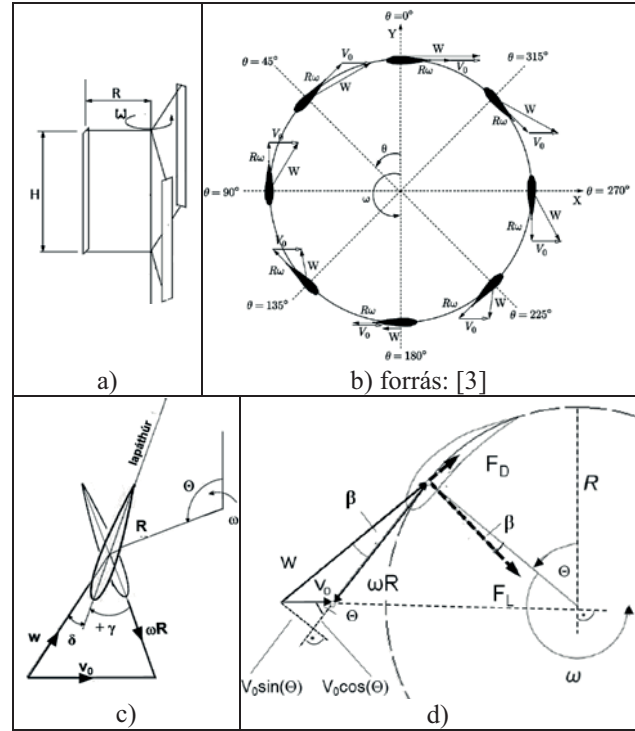
$$\beta(\Theta) = \arctan\left(\frac{v_0 \sin(\Theta)}{\omega \cdot R + v_0 \cos(\Theta)}\right) = \quad (2)$$

$$= \arctan\left(\frac{\sin(\Theta)}{\lambda + \cos(\Theta)}\right).$$

A lapátállás γ szöge a lapáthúr és a kerületi sebesség iránya által bezárt szög. A szög előjeles ($\pm \gamma$) és az óramutató járása szerinti elfordulás esetében pozitív előjelű. A megfúvás iránya a w relatív sebesség iránya és a lapáthúr által bezárt δ szög (1.c ábra). Állítható lapátózás esetén a lapátállás szöge általános esetben a kiszemelt kerületi pont, azaz Θ függvénye. Fix lapátózás esetén a lapáthúr vagy egybe esik a kerületi sebesség irányával, vagy azzal valamilyen állandó értékű szöget zár be. A kerületi sebesség és a relatív sebesség iránya

által bezárt β szög, a δ megfúvási szög és a $\pm \gamma$ lapátállási szög kapcsolatát $\lambda = const$ mellett a (3) írja le.

$$\beta(\Theta) = \pm \gamma(\Theta) + \delta. \quad (3)$$



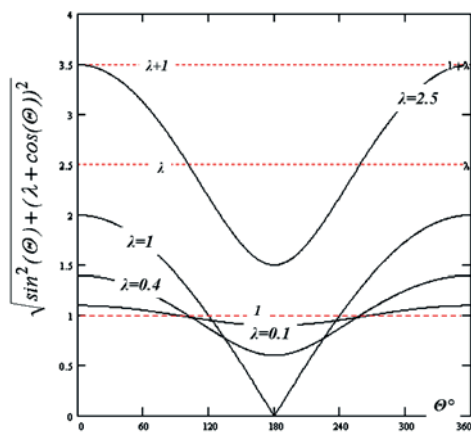
1. ábra. Jelölések.

2.1 A \bar{w} megfúvási sebesség üzemállapot függése

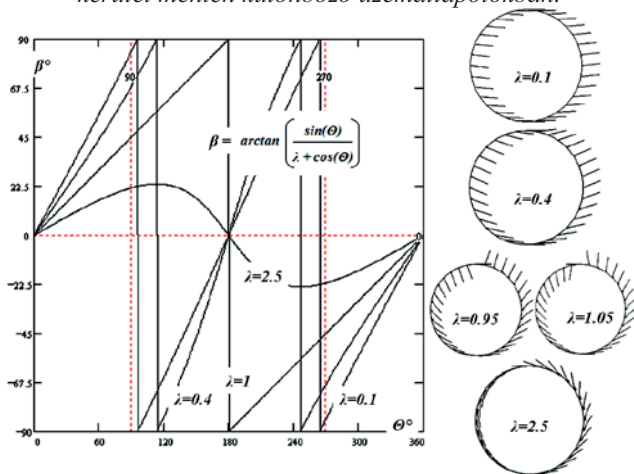
Az (1) szerint a megfúvás sebességének, és így a lokális Reynolds-számnak a kerület menti változása a $\sqrt{\sin^2(\Theta) + (\lambda + \cos(\Theta))^2}$ függvény szerint alakul (2. ábra). A 2. ábra úgy lett megszerkesztve, hogy kiemelje a szorzó tényezőt képező függvény sajátosságait.

A kerületi sebesség és a relatív sebesség iránya által bezárt szög a (2) szerint változik a kerület mentén (3. ábra). A 3. ábra úgy lett megszerkesztve, hogy kiemelje a (2) függvény sajátosságait. A \bar{w} -nek a β szög értékével meghatározott, az adott gyorsjárás számhoz tartozóan a kerület mentén számított irányeloszlásait a 3. ábra jobb oldalán rajzoltuk fel. A 2. és a 3. ábra szerint

- ha a λ gyorsjárás szám megváltozik, akkor a $\sqrt{\sin^2(\Theta) + (\lambda + \cos(\Theta))^2}$ tényező kerület menti relatív ingadozásának a mértéke, ezzel a tényező legkisebb és legnagyobb értékének az aránya is megváltozik (2. ábra),
- ha a λ gyorsjárás szám megváltozik, akkor a (2) szerint a kerületi sebesség és a relatív sebesség iránya által bezárt β szög kerület menti ingadozásának a mértéke, ezzel a β szög legnagyobb és legkisebb értékének a különbsége is megváltozik (3. ábra).



2. ábra. A megfúvási sebesség és a lokális Reynolds-szám ingadozását meghatározó tényező alakulása a kerület mentén különböző üzemi állapotokban.



3. ábra. A megfúvási sebesség és a kerületi sebesség közötti szög alakulása a kerület mentén különböző üzemi állapotokban. Jobbra: a \vec{w} -nek az üzemi állapotokhoz tartozóan számított irányeloszlása

Az a) és a b) pontban említett kerület menti változások tendenciája a gyorsjárás szám három tartományában eltérő:

- A $\lambda > 1$ tartományban a kerületi sebesség növekedésével az $\vec{\omega} \cdot R$ és a \vec{w} vektorok egyre kevésbé térnek el egymástól, ezért λ növekvő értékeinél a megfúvási sebesség nagysága és ennek a kerületi sebességgel bezárt szöge, valamint a lokális Reynolds-szám egyre kevésbé ingadozik a kerület mentén, azonban a legkisebb és legnagyobb érték különbsége nem változik (2. ábra, 3. ábra).
- A $\lambda < 1$ tartományban a kerületi sebesség csökkenésével a \vec{v}_0 és a \vec{w} vektorok egyre kevésbé térnek el egymástól, ezért a kerület mentén a megfúvási sebesség és a lokális Reynolds-szám λ csökkenő értékeinél egyre kevésbé ingadozik, azaz a legnagyobb és legkisebb érték különbsége csökken (2. ábra). A \vec{w} -nek a kerületi sebességgel bezárt szöge a teljes $0-360^\circ$ tartományt átfedően változik (3. ábra).
- A $\lambda \sim 1$ tartományban a kerületi sebesség és \vec{v}_0 nagysága közel azonos, és így a sebességi háromszög saját-

tosságai miatt a \vec{w} nagysága ebben az üzemi állapot tartományban mutatja a legnagyobb mértékű relatív ingadozást a kerület mentén (2. ábra) úgy, hogy eközben a \vec{w} -nek a kerületi sebességgel bezárt szöge is a teljes $0-360^\circ$ tartományban változik (3. ábra).

2.2. Kerületi erők, teljesítmény

Az F_D ellenállás a \vec{w} irányába esik, az F_L felhajtóerő erre merőleges (1.d ábra) és szárnyelméleti alapon számíthatóak (4) és (5) szerint. Az (1) szerint meghatározott w relatív sebesség és így a lokális Reynolds-szám is a θ lapáthelyzet és a λ üzemi állapot-jellemző függvénye. A δ megfúvási szöget (2) és (3) határozza meg.

$$F_L(\lambda, \theta) = \frac{1}{2} \cdot C_L(\theta) \cdot \rho \cdot H \cdot c \cdot (w(\lambda, \theta))^2 \quad (4)$$

$$F_D(\lambda, \theta) = \frac{1}{2} \cdot C_D(\theta) \cdot \rho \cdot H \cdot c \cdot (w(\lambda, \theta))^2 \quad (5)$$

A (4) és (5) képletekkel kiszámított F_L és F_D erők eredőjének kerületi irányú összetevője a (6) szerint számítható. A teljesítmény a tangenciális eredő erő kerületi átlagértékével kerül meghatározásra a (7) szerint.

$$F_t(\lambda, \theta) = F_L \cdot \sin(\beta(\theta)) - F_D \cdot \cos(\beta(\theta)) = \frac{1}{2} \cdot C_t(\theta) \cdot \rho \cdot H \cdot c \cdot (w(\lambda, \theta))^2 \quad (6)$$

$$C_t = C_L \cdot \sin(\beta(\theta)) - C_D \cdot \cos(\beta(\theta))$$

$$M_t = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta=0}^{2\pi} F_t(\theta) \cdot R \cdot d\theta = \frac{R}{2\pi} \int_{\theta=0}^{2\pi} F_t(\theta) \cdot d\theta \quad (7)$$

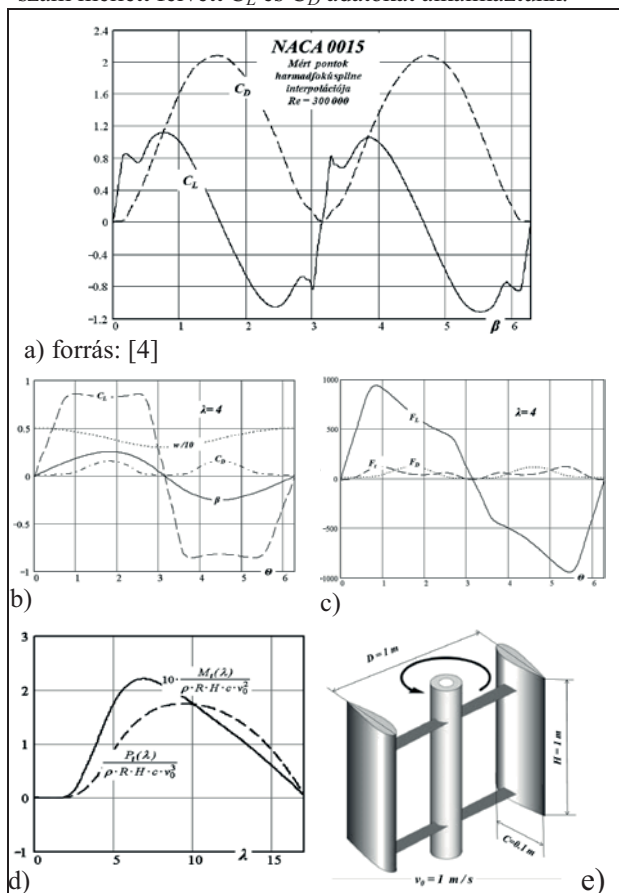
$$P_t = M_t \cdot \omega = M_t \cdot \frac{\lambda \cdot v_0}{R}$$

A 4. ábra foglalja össze a bemutatott összefüggések felhasználásával elvégzett számítás eredményeit. A kiinduló adatok: NACA 0015 dúcprofillal rendelkező fix lapátok, a lapáthúr egybe esik a kerületi sebesség irányával, a lapátózás egyéb adatai a 4.e ábra szerint. A λ teljes szöbajóvő tartományát megvizsgáltuk. A 4.b és 4.c ábrán egy kiragadott üzemi állapot ($\lambda=4$) diagramjai szerepelnek. A 4.d ábrán szerepel a számítás végeredménye: a vizsgált konfiguráció dimenzióatlanított nyomatóka és teljesítménye a λ gyorsjárás szám függvényében.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben röviden áttekintettük a szabadon álló, vezetőcsatorna nélküli keresztáramú turbina működését. Az alapösszefüggések a legegyszerűbb modellre vonatkoznak, mert a levezetés során csak annyit tételeztük föl, hogy a relatív sebesség kerületi és v_0 irányú vetülete mindenhol egyforma nagyságú. Ez a valóságban nem teljesül teljes mértékben, mert a lapátok a turbina szerkezet (oszlop, karok, lapátok) turbulens nyomában mozognak. Másik, szintén egyszerűsítést jelentő körülmény, hogy a próbaszámítás során (4. ábra) a párhuzamos áramlásban,

oszilláló mozgást nem végző profilon, állandó Reynolds szám mellett felvett C_L és C_D adatokat alkalmaztunk.



4. ábra. A keresztáramú turbina dimenziótlán nyomatéka és teljesítménye λ függvényében

A valóságot jobban közelítő elemzés során figyelembe kell venni az egyszerre keringő- és oszilláló mozgást végző profil és a változó Reynolds-szám hatását a profil dinamikus átesési tulajdonságaira és ezzel az optimális megfúvási irányra.

A fentiek előrebocsátásával az alábbi következtetések adódnak.

1) Általában:

- Az 1 lapátra megállapított teljesítmény N lapát esetében látszólag N-szereződik, a valóságban azonban ez csak $N=2$ esetében igaz elfogadható közelítéssel. A valós üzem közben fellépő turbulens nyom lényegesen befolyásolja a kerületi erőket. A hatás több tényező függvénye és a lapátok számával erősödik.
- Az átlagos teljesítmény maximalizálására a lapátok geometriájának a jellemzői (N , c/H , R , szárnyprofil,) a megfúvási sebesség középértéke és ingadozása valamint a jellemző λ gyorsjárás szám figyelembevételével optimalizálандóak („helyesen tervezett járókerék”).
- Az optimalizáláshoz vizsgálni kell a keringő és oszilláló profil dinamikus viselkedését is az átesés tartományában C_L maximalizálása érdekében.
- Az optimalizálás során adott gyorsjárás mellett a helyről helyre változó állásszög (azaz $\pm \gamma(\Theta)$) cél-

szerű megválasztásával biztosítható a kerület mentén az optimális megfúvási irány.

2) Indulás, felgyorsulás:

- A lapátok milyenségétől függetlenül a $\lambda < 1$ tartományban elegendően nagy megfúvási sebesség esetén a járókerék forgásba jön, de csak lassú járású („drag driven”) működésmód tud megvalósulni.
- A $\lambda \sim 1$ átmeneti tartományban a lassú járású működésmód már nem, a gyors járású működésmód még nem termel elegendő nyomatékot, ami a $\lambda \sim 1$ tartományon való áthaladást (a gyorsulást) megghiúsítja.

3) Összegzés:

- Az indításhoz és az üzemi fordulatszám tartomány eléréséhez segédüzemi berendezés szükséges.
- A gyorsjárás adott tartományához meghatározott $\pm \gamma(\Theta)$ állásszög ciklikus állításához segédüzemi berendezés szükséges.
- A „segédüzem” a kiegészítő gépészeti berendezések, az összetett szabályozási feladatok ellátását biztosító eszközök és a segédberendezések energiaellátását biztosító eszközök összefoglaló elnevezése.
- A fenti elveket megtestesítő (helyesen tervezett és megfelelő segédüzemmel támogatott) szabadon álló keresztáramú turbina alkalmas a gyakorlatban is a megújuló energiaforrások hasznosítására. Ezzel ellentétben, a fenti elveket részben- vagy egészben figyelmen kívül hagyó konstrukciók általában hasznavehetetlenek, felhasználhatóak azonban a laikus, de környezettudatos közönség félrevezetésére.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] DARRIEUS, G. J. M.: U.S. Patent No. 1,835,018 "Turbine having its rotating shaft transverse to the flow of the current", Patented 8 December 1931
- [2] SAVONIUS, S. J.: US Patent US000001766765A "Wind rotor", Patented 24 June 1930
- [3] S. ANTHEAUME, T. MAITRE, J. ACHARD: Hydraulic Darrieus turbines efficiency for free fluid flow conditions versus power farms conditions. Renewable Energy, 33(10):2186- 2198, 2008.
- [4] SHELDAL R.E., KLIMAS P.C.: Aerodynamic characteristics of 7 symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine. Sandia National Laboratories SAND-2114
- [5] OKULOV V. L., SØRENSEN J. N., An Ideal Wind Turbine with a Finite Number of Blades, Doklady Physics, Vol. 53, No. 6, pp. 337–342. 2008.

PEREMÉN RUGALMAS GYŰRŰVEL ERŐSÍTETT FORGÓ TÁRCSA SZILÁRDSÁGTANI VIZSGÁLATA

STRESS ANALYSIS OF ROTATING DISK REINFORCED BY A RING ON ITS BOUNDARY

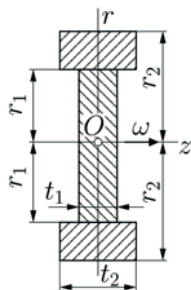
dr. Ecsedi István*, dr. Baksa Attila**

ABSTRACT

This paper deals with the stress analysis of rotating elastic disk reinforced by an elastic ring on its cylindrical boundary surface. The bond between the disk and elastic ring is perfect. Formulae of stresses and radial displacement are derived and the critical value of angular velocity is also determined.

1. BEVEZETÉS

Az 1. ábra szemlélteti a vizsgált forgó tárcsát, amelyeknek a külső pereméhez egy rugalmas gyűrű kapcsolódik. A tárcsa és a gyűrű kapcsolata tökéletes, az összekapcsolt szerkezeti elemek közös határfelületi pontjainak elmozdulása azonos. A mechanikai modell szilárdságtani vizsgálatához kapcsolódó egyenletek felírására az $O r \varphi z$ henger-koordináta rendszert használjuk. A tárcsa szögsebességét ω jelöli, továbbá a tárcsa anyagának rugalmassági modulusa E_1 , Poisson száma ν_1 . A rugalmas gyűrű anyagának rugalmassági modulusa pedig E_2 . A tárcsa és a gyűrű geometriai adatai az 1. ábrán adottak.



1. ábra: Peremén rugalmas gyűrűvel forgó tárcsa

A feladat megoldása a rugalmasságtan alábbi egyenleteinek felhasználásával történik [1,2,3]:

$$\sigma_r = \left(C - \frac{3+\nu_1}{8} \rho_1 r^2 \right) \omega^2, \quad (1)$$

$$\sigma_\varphi = \left(C - \frac{1+3\nu_1}{8} \rho_1 r^2 \right) \omega^2,$$

$$u = \frac{r}{E_1} (\sigma_r - \nu_1 \sigma_\varphi) = \quad (2)$$

$$\frac{r(1-\nu_1)}{E_1} \left(C - \frac{1+\nu_1}{8} \rho_1 r^2 \right) \omega^2,$$

ahol σ_r , σ_φ a tárcsa anyagában forgás hatására fellépő normál feszültséget, u pedig a radiális elmozdulást jelöli. A C állandó értékét az $r = r_1$ peremre vonatkozó peremfeltétel alapján tudjuk meghatározni. Peremen szabad, gyűrűvel nem erősített tárcsára [1,2]

$$C = \frac{3+\nu_1}{8} \rho_1 r_1^2, \quad (3)$$

peremén merev gyűrűre erősített tárcsa esetén a (2) egyenlet alapján azt kapjuk, hogy

$$C = \frac{1+\nu_1}{8} \rho_1 r_1^2. \quad (4)$$

Az (1)-(4) egyenletekben ρ_1 a tárcsa anyagának tömegsűrűségét jelöli.

Az ideálisan rugalmas-tökéletesen képlékeny anyagú tárcsa folyáshatára σ_y . Könnyen belátható, hogy a szabad peremű tárcsa alakváltozása mindaddig rugalmas míg

$$\omega \leq \omega'_E = \sqrt{\frac{8\sigma_y}{(3+\nu_1)\rho_1 r_1^2}}, \quad (5)$$

A peremén merev súlytalan gyűrűvel erősített tárcsa alakváltozása rugalmas, ha

* Professor emeritus, dr. habil, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet

** egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet

$$\omega \leq \omega''_E = \sqrt{\frac{8\sigma_y}{(1+\nu_1)\rho_1 r_1^2}}. \quad (6)$$

A következő fejezetben a rugalmas súlyos, illetve súlytalan gyűrűvel erősített tárcsához tartozó C állandó meghatározásával foglalkozunk.

2. RUGALMAS GYÜRŰVEL ERŐSÍTETT TÁRCSA

A rugalmas gyűrű forgás hatására kialakult alakváltozása tengelyszimmetrikus. A gyűrűt terhelő f_r radiális erőrendszer és a gyűrű pontjainak radiális irányú u elmozdulására az alábbi egyenlet érvényes [4]

$$u = \frac{R f_r}{A E_2}, \quad (7)$$

ahol

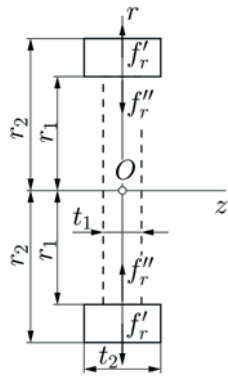
$$A = t_2(r_2 - r_1), \quad R = \frac{r_2 - r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (8)$$

Az f_r radiális erő forrása a tárcsáról a gyűrűre átadódó radiális normál feszültség és a gyűrű forgásából származó centrifugális erőrendszer. A [4] tanulmány alapján írható, hogy (2. ábra)

$$f_r = f_r' - f_r'', \quad (9)$$

$$f_r' = \omega^2 \rho_2 t_2 \frac{r_2^3 - r_1^3}{3}, \quad (10)$$

$$f_r'' = \omega^2 \left(C - \frac{3+\nu}{8} \rho_1 r_1^2 \right) r_1 t_1.$$



2. ábra: Rugalmas gyűrű terhelése

A (10) egyenletben ρ_2 a gyűrű anyagának tömegsűrűségét jelöli. A tárcsa és gyűrű tökéletes kapcsolatából az következik, hogy $U = u(r_1)$. Ez utóbbi egyenletet kombinálva a (7), (9) és (10) egyenletekkel nyerjük az alábbi képletet a $C = C_1 + C_2$ állandóra:

$$C_1 = \frac{\rho_2 t_2 (r_2^3 - r_1^3)}{3 \left(r_1 t_1 + (1 - \nu_1) \frac{E_2}{E_1} \frac{r_1}{R} A \right)}, \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\frac{(3 + \nu_1) R r_1^3 \rho_1 t_1}{8 A E_2} + \frac{(1 - \nu_1^2) \rho_1 r_1^3}{8 E_1}}{\frac{R r_1 t_1}{A E_2} + \frac{r_1 (1 - \nu_1)}{E_1}}. \quad (12)$$

A fenti képletekből merev súlytalan gyűrűvel erősített forgó tárcsára, amikor $\rho_2 = 0$, $E_2 = \infty$ azt kapjuk, hogy

$$C_1 = 0, \quad (13)$$

$$C_2 = C = \frac{(1 + \nu_1) \rho_1 r_1^2}{8}.$$

Ez utóbbi eredmény megegyezik a (4) képlet alapján nyerhető C értékkel.

Merev, de súlyos gyűrű esetében $\rho_2 \neq 0$, $E_2 = \infty$. Ez utóbbi értékkel számolva az alábbi eredményre jutunk:

$$C_1 = \frac{\rho_2 t_2 (r_2^3 - r_1^3)}{3 r_1 t_1}, \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{(1 - \nu_1) \rho_1 r_1^2}{8}. \quad (15)$$

Rugalmas, de elhanyagolható tömegű gyűrűvel történő merevítés esetén $E_2 \neq 0$, $\rho_2 = 0$ a (11) és (12) egyenletekből az következik, hogy

$$C_1 = 0, \quad (16)$$

$$C_2 = \frac{\frac{(3 + \nu_1) R r_1^3 \rho_1 t_1}{8 A E_2} + \frac{(1 - \nu_1^2) \rho_1 r_1^3}{8 E_1}}{\frac{R r_1 t_1}{A E_2} + \frac{r_1 (1 - \nu_1)}{E_1}}.$$

3. KRITIKUS SZÖGSEBESSÉG

Jelölje Ω az ω szögsebesség azon értékét, amikor is ideálisan rugalmas-tökéletesen képlékeny anyagú rugalmas tárcsában a Tresca féle folyási feltétel alapján megjelenik a képlékeny alakváltozás.

A Tresca féle folyási feltétel alapján akkor kezdődik el a tárcsa képlékeny alakváltozása, ha

$$\sigma_y = \max \left\{ \begin{array}{l} \max_{0 \leq r \leq r_1} |\sigma_r(r)|, \max_{0 \leq r \leq r_1} |\sigma_\varphi(r)|, \\ \max_{0 \leq r \leq r_1} |\sigma_\varphi(r) - \sigma_r(r)| \end{array} \right\} \quad (17)$$

fennáll. A (17) folyási feltétel tekintettel a $\sigma_r = \sigma_r(r)$ és $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ normál feszültségek képleteire az alábbi alakban is megfogalmazható

$$\sigma_y = (\max\{c_1, c_2, c_3, c_4\})\omega^2, \quad (18)$$

ahol

$$c_1 = C, \quad (19)$$

$$c_2 = \left| C - \frac{3+\nu_1}{8} \rho_1 r_1^2 \right|,$$

$$c_3 = \left| C - \frac{1+3\nu_1}{8} \rho_1 r_1^2 \right|, \quad (20)$$

$$c_4 = \left| \frac{1-\nu_1}{4} \rho_1 r_1^2 \right|.$$

Legyen

$$c = \max\{c_1, c_2, c_3, c_4\}. \quad (21)$$

A (18) és (21) egyenletekből az következik, hogy a tárcsa alakváltozása rugalmas, ha

$$\omega \leq \Omega = \sqrt{\frac{\sigma_y}{c}}. \quad (22)$$

A gyűrűben ébredő $\sigma_\varphi = \sigma$ normál feszültség a gyűrű egyensúlyának vizsgálata alapján határozható meg. Értékére azt kapjuk, hogy

$$\sigma = \frac{1}{A} \left[\frac{\rho_2 t_2 (r_2^3 - r_1^3)}{3} - \left(C - \frac{3+\nu_1}{8} \rho_1 r_1^2 \right) r_1 t_1 \right] \omega^2. \quad (23)$$

4. PÉLDÁK

A kidolgozott példákban az alábbi numerikus adatokkal számoltunk:

$$r_1 = 1 \text{ m}, \nu_1 = 0,25,$$

$$\omega = 180 \text{ rad/s},$$

$$E_1 = 210 \times 10^9 \text{ Pa},$$

$$\rho_1 = 7000 \text{ kg/m}^3,$$

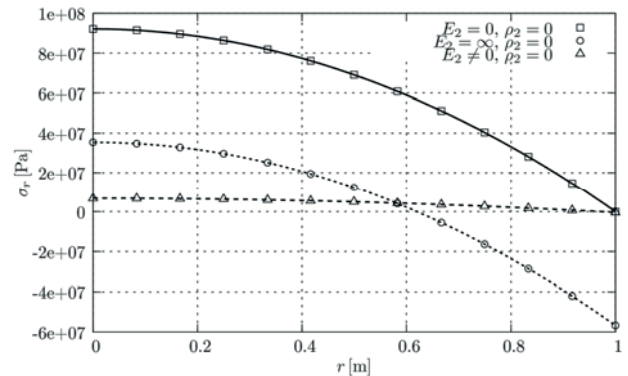
$$r_2 = 1,3 \text{ m}, t_1 = 0,1 \text{ m},$$

$$t_2 = 0,4 \text{ m}, E_2 = 105 \times 10^9 \text{ Pa},$$

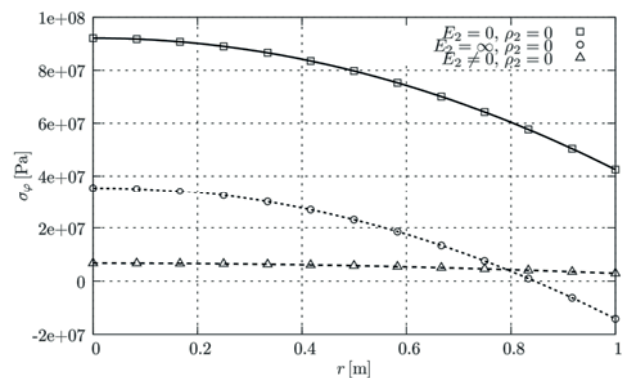
$$\rho_2 = 4507 \text{ kg/m}^3,$$

$$\sigma_y = 250 \times 10^6 \text{ Pa}.$$

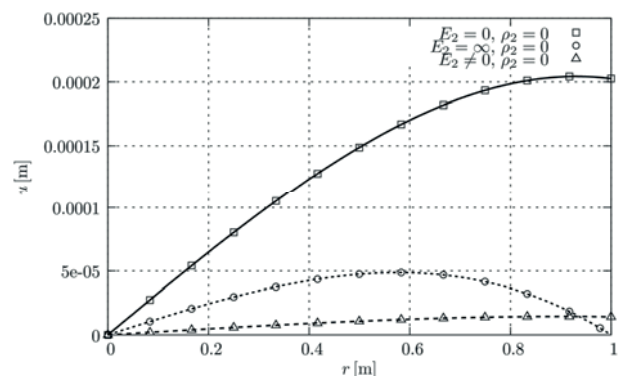
A 3-4. ábrák a normál feszültségek függvényeit szemléltetik, mint az r radiális koordináta függvényei. Az $u = u(r)$ függvényt az 5. ábra mutatja be.



3. ábra: $\sigma_r = \sigma_r(r)$ szemléltetése.

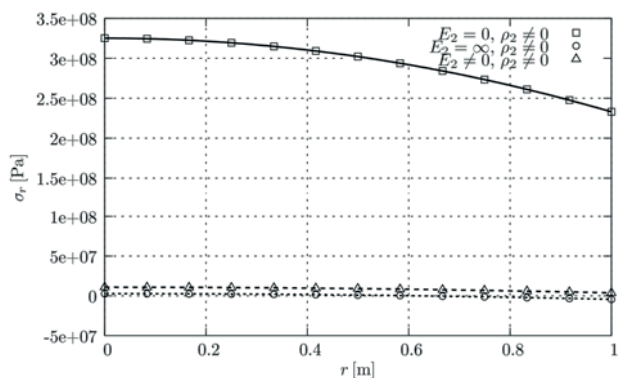


4. ábra: $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ szemléltetése.

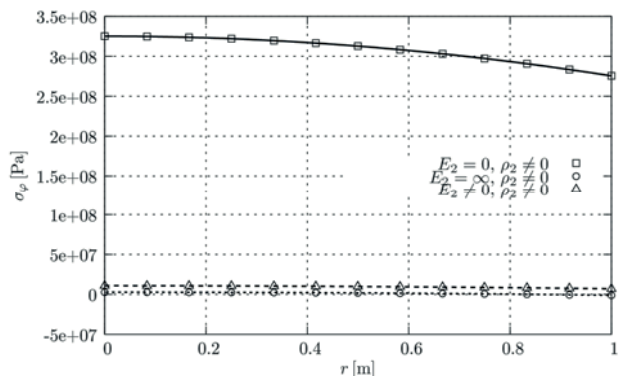


5. ábra: $u = u(r)$ szemléltetése

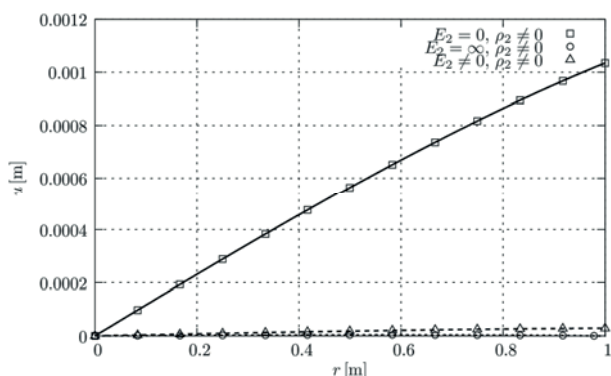
A rugalmas gyűrűben ($E_2 = 105 \text{ GPa}$) ébredő σ normál feszültségre azt kapjuk, hogy $\sigma = 13,34 \text{ MPa}$ ha $\rho_2 = 4507 \text{ kg/m}^3$. A 6-7. ábrákon a normál feszültségek függvénygörbéi láthatóak E_2 és ρ_2 azon kombinációja esetén, amelyek nem szerepelnek a 3-4. ábrákban. A 8. ábra a $u = u(r)$ radiális elmozdulást szemlélteti, ha $\rho_2 \neq 0$.



6. ábra: $\sigma_r = \sigma_r(r)$ szemléltetése, ha $\rho_2 \neq 0$.



7. ábra: $\sigma_\varphi = \sigma_\varphi(r)$ szemléltetése, ha $\rho_2 \neq 0$.

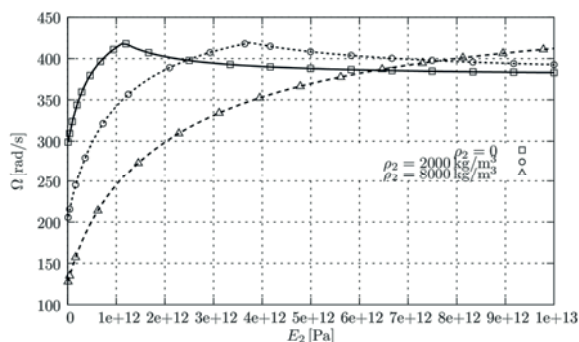


8. ábra: $u = u(r)$ szemléltetése, ha $\rho_2 \neq 0$.

Tekintsük $E_2 = x$ változó értékűnek. A 9. ábra az $\Omega = \Omega(x)$ függvényt ábrázolja a ρ_2 különböző diszkrét értékeire.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A dolgozat tárgyát a peremen rugalmas gyűrűvel erősített forgó tárcsa szilárdságtani vizsgálata alkotja. A számítások azt mutatják, hogy a gyűrű rugalmassági modulusának és sűrűségének jelentős hatása van a tárcsa szilárdságtani állapotára.



9. ábra: A kritikus szögsebesség diagramja.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg, a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0001 jelű projekt eredményeire támaszkodva – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.

7. IRODALOM

- [1] SOLECKI R., CONANT R.J.: Advanced Mechanics of Materials, Oxford University Press, Oxford, 2003.
- [2] BORESI A.P., SCHMIDT R.J., SIDEBOTTOM O.M.: Advanced Mechanics of Materials, John Wiley, New York, 5th edn., 1993.
- [3] RAGAB A.R., BAYOUMI S.E.: Engineering Solid Mechanics. Fundamentals and Applications, CRC Press, New York, 1999.
- [4] ECSEDI I., DLUHI K.: A linear model for the static and dynamic analysis of non-homogeneous curved beam, Applied Mathematical Modelling, 29, pp. 1211-1231, 2005.

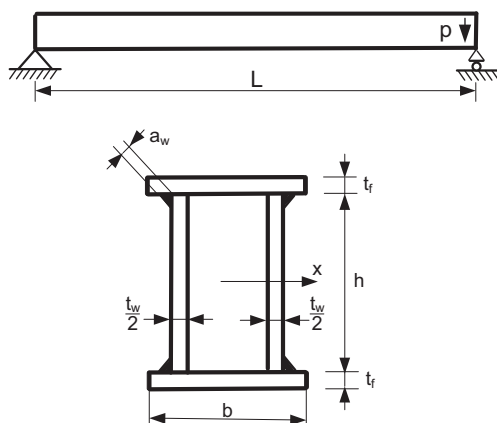
Hegesztett szerkezetek minimális térfogatra illetve költségre optimált változatának összehasonlítása

Comparison of welded structures optimized for minimum volume and cost

Farkas József*, Jármai Károly**

ABSTRACT

The study shows the difference between structures optimized for minimum volume and minimum cost. The cost function contains the cost of material, cutting and grinding of circular hollow section rod ends, assembly, welding and painting. A simply supported welded box section beam and a cantilever tubular truss are investigated. The minimization of the volume and cost results in different structural sizes, but the cost difference between the two optima is small. In the case of more complicate structures the difference between the costs of optima can be larger, since the fabrication (welding) cost can be larger.



1 BEVEZETÉS

A minimális térfogatra való optimalás előnye, hogy a célfüggvény matematikailag aránylag könnyen kezelhető. A gazdaságosság követelménye viszont a költségek minimalizálását kívánja. Ezért kidolgoztuk a hegesztett szerkezetekre jól alkalmazható költség-számítást [1,2,3,4], így célfüggvényként matematikailag bonyolultabb költségfüggvényt alkalmazunk. A kétféle célfüggvénnyel optimált szerkezetek összehasonlítása hasznos következtetéseket eredményez a tervezők számára. Ezért e tanulmányban elvégezzük ezt az összehasonlítást egy szekrényszelvényű kéttámaszú tartó és egy rácsos csőszerkezetű konzolos tartóra.

2 SZEKRENYSZELVÉNYŰ KÉTTÁMASZÚ TARTÓ

2.1 Optimálás minimális térfogatra (keresztmetszeti területre)

Az 1. ábrán vázolt szekrényszelvényű kéttámaszú tartó esetén négy változót kell optimalálni (h , t_w , b , t_f). Ha a keresztmetszet a tartó mentén állandó, térfogat helyett elég a keresztmetszeti területet optimalálni.

A keresztmetszeti terület

$$A = ht_w + 2bt_f \quad (1)$$

* Prof. Emeritus, **Professzor, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc

1. ábra. Szekrényszelvényű kéttámaszú tartó

A feszültségi feltétel hajlításra

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_x} \leq f_{y1} \quad \text{vagy} \quad W_x \geq \frac{M}{f_{y1}} = W_0 \quad (2)$$

A másodrendű nyomaték és a keresztmetszeti tényező

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{6} + 2bt_f \left(\frac{h}{2}\right)^2; W_x = \frac{I}{h/2} = \frac{h^2 t_w}{3} + bt_f h \quad (3)$$

A hajlító nyomaték egyenletesen megoszló teher esetén

$$M = p_s L^2 / 8, \quad (4)$$

Ha a tartó saját tömegéből származó terhet is figyelembe vesszük, akkor az alábbi megoszló teherintenzitással számolnánk

$$p_s = 1.5p + 1.1\rho_1 A, \quad \rho_1 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3 \quad (5)$$

az 1.5 illetve az 1.1 részbiztonsági tényezők. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért a második tagot elhanyagoljuk.

A gerinclemezek horpadási feltétele

$$\frac{h}{t_w/2} \leq \frac{1}{\beta}; \quad \text{vagy} \quad t_w \geq 2\beta h \quad (6)$$

ahol

$$1/\beta = 69\varepsilon; \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (7)$$

A felső nyomott övlemez horpadási feltétele

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta} = 42\varepsilon, \quad \text{vagy} \quad t_f \geq \delta b \quad (8)$$

A számítások szerint a horpadási feltételeket aktívnak vehetjük, így

$$W = \frac{\beta h^3}{3} + bt_f h \geq W_0 \quad (9)$$

bt_f -et a (9)-ből az (1)-be helyettesítve

$$A = \frac{2W_0}{h} + \frac{4\beta h^2}{3} \quad (10)$$

A

$$\frac{dA}{dh} = 0 \quad (11)$$

feltételből a feszültségi feltételt kielégítő optimális tartómagasság

$$h_\sigma = \sqrt[3]{\frac{3W_0}{4\beta}} \quad (12)$$

2.2 Optimálás költségminimumra

A szükséges sarokvarrat-méret a tartómagasság függvényében

$$a_w = 0.3t_w/2 = 0.3\beta h \quad (13)$$

de $a_{wmin} = 3$ mm.

A költségfüggvény tartalmazza az anyag-, hegesztési és festési költséget

$$K = K_M + K_W + K_P \quad (14)$$

$$K_M = k_M \rho AL, \rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3, k_M = 1 \text{ \$/kg} \quad (15)$$

Hegesztési költség a négy sarokvarratra [1,2,3,4]

$$K_W = k_w \left(C_1 \Theta_c \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 C_w a_w^2 L_w \right), k_w = 1.0 \text{ \$/min} : \\ C_1 = 1.0 \text{ min/kg}^{0.5} \quad (16)$$

Az összeállítás bonyolultsági tényezője $\Theta_c = 2$, az összeszerelendő elemek száma $\kappa = 4$, a hegesztési egyítható $C_w = 0.3394 \times 10^{-3}$, a varrathossz $L_w = 4L$.

Festési költség

$$K_P = k_p S, k_p = 28.8 \times 10^{-6} \text{ \$/mm}^2, S = 4bL \quad (17)$$

2.3 Szám adatok és eredmények

$p = 90$ N/mm, $L = 15$ m, $f_y = 235$ MPa. A (6) szerint a szükséges keresztmetszeti tényező $W_0 = 1841 \times 10^4$ mm³. Megjegyezzük, hogy a számítások szerint az öntömeg hatása kicsi.

A közelítő (12) képlet szerint $h_{opt} = 972$ mm.

Az optimálást a szisztematikus keresés módszerével, MathCAD programmal végeztük. Felvett h-hoz kerestünk a feszültségi feltételt kielégítő b értéket. A kapott térfogatokat és költségeket az 1. táblázat adja meg.

1. táblázat. Az optimálás eredményei. Az optimumokat vastag betűkkel jelöltük. W_x mm³-ben

h mm	b mm	$W_x \cdot 10^{-4}$	A mm ²	$t_w/2$ mm	a_w mm	K_M \\$	K_W \\$	K_P \\$	K \\$
1000	756	1844	56200	14.5	4.35	6618	826	1517	8961
995	759	1844	56130	14.4	4.33	6609	820	1515	8945
990	763	1841	56130	14.3	4.30	6609	816	1515	8940
985	767	1841	56140	14.2	4.28	6610	811	1514	8935
980	771	1842	56140	14.2	4.26	6611	806	1513	8930
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
940	802	1841	56240	13.6	4.09	6622	768	1505	8895
930	810	1842	56310	13.5	4.04	6631	758	1503	8893
920	818	1842	56400	13.3	4.00	6641	749	1502	8892
910	826	1842	56490	13.2	3.96	6652	741	1500	8893
900	834	1843	56600	13.0	3.91	6665	732	1498	8895

Látható, hogy az optimális tartómagasságok különböznek. Minimális térfogatra $h_{opt} = 990$ mm, minimális költségre $h_{opt} = 920$ mm, de a vonatkozó optimumokhoz tartozó költségek különbsége kicsi $100(8940 - 8892)/8940 = 0.5\%$. Az optimumok közti különbséget az eltérő varratméretek okozzák. A hegesztési költség csökkentése érdekében a varratméretet kell csökkenteni, de ez a $t_w/2$ -n keresztül függ a h -tól.

3 RÁCSOS CSŐSZERKEZETŰ KONZOL

3.1 Optimális térfogatminimumra

Az N-típusú síkbeli rácsos tartó (1. ábra) vékonyfalú körcső-szelvényű (circular hollow section CHS) rudakból van csomólemezek nélkül összehegesztve. Négyféle CHS szelvényt alkalmazunk az alsó, felső övekhez ill. átlókhöz és oszlopokhoz.

1. rúdcsoport: a felső húzott rudak, ezekben a legnagyobb húzóerő

$$S_1 = 2aF / h \quad (18)$$

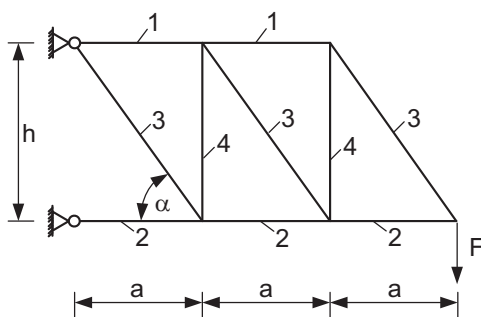
a szükséges keresztmetszet adatai

$$A_1 = S_1 / f_{y1}, f_{y1} = f_y / 1.1, D_1 = \sqrt{A_1 \delta / \pi}, t_1 = D_1 / \delta \quad (19)$$

f_y a folyáshatár, $\delta = D/t$ a CHS rúd karcsúsági tényezője max $\delta = 50$, amelyet a [5] ír elő. Megjegyezzük, hogy a gyártott CHS szelvényeknél ez általában kisebb.

2. csoport: az alsó nyomott övrudak, ezekben a max. erő

$$S_2 = 2aF / h \quad (20)$$



2. ábra. Párhuzamos övű rácsos csőszerkezetű konzol

Ezeket a rudakat kihajlásra kell méretezni. Az optimaláláshoz szükségünk van a rudak keresztmetszeti területére. Az Eurocode 3 [6] által megadott kihajlás-számítási képletekből nem lehet közvetlenül kifejezni

ezeket, ezért a japán Közúti Hídszabályzat közelítő képleteit használjuk.

$$\frac{S}{A} \leq \chi f_{y1} \quad (21)$$

$$\chi = 1 \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda} \leq 0.2 \quad (22a)$$

$$\chi = 1.109 - 0.545\bar{\lambda} \quad \text{ha} \quad 0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 1 \quad (22b)$$

$$\chi = \frac{1}{0.773 + \bar{\lambda}^2} \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda} \geq 1 \quad (22c)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E}, \lambda = \frac{kL}{r}, r = \sqrt{\frac{I_x}{A}}, \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (23)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{\delta}, I_x = \frac{\pi D^4}{8\delta} \quad (24)$$

Bevezetjük az alábbi tényezőket

$$\vartheta = \frac{100D}{L}, c = \frac{100k\sqrt{8}}{\lambda_E}, v = \frac{10^4 S \delta}{L^2 \pi f_{y1}} \quad (25)$$

ezekkel

$$\bar{\lambda} = \frac{c}{\vartheta} \quad (26)$$

és a kapott zárt képletek

ha $0.2\vartheta \leq c \leq \vartheta$

$$\vartheta = 0.24572c \left(1 + \sqrt{1 + \frac{14.93475v}{c^2}} \right) \quad (27a)$$

ha $\vartheta \leq c$

$$\vartheta = \left[0.3865v \left(1 + \sqrt{1 + \frac{6.69424c^2}{v}} \right) \right]^{1/2} \quad (27b)$$

Ismerve ϑ -t, a keresztmetszeti jellemzők

$$D = \frac{\vartheta L}{100}, t = \frac{D}{\delta}, A = \frac{\pi D^2}{\delta} \quad (28)$$

A 2. csoport rúdjaira

$$k=0.9, L=a, \delta = 50, S = S_2. \quad (29)$$

k a kihajlási hossz-tényező [7] szerint övrudakra 0.9, rácsos rúdra 0.75.

3. csoport: húzott rácsrudak, rúderejük

$$S_3 = F \sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1} \quad (30)$$

és a keresztmetszeti területük

$$A_3 = \frac{S_3}{f_{y1}}, D_3 = \sqrt{\frac{A_3 \delta}{\pi}}, t_3 = \frac{D_3}{\delta} \quad (31)$$

4. csoport: nyomott rácsrudak, rúderejük

$$S_4 = F, \quad (32)$$

$$k = 0.75, L = h, \delta = 50, S = S_4 \quad (33)$$

A tartó térfogata

$$V = 2aA_1 + 3aA_2 + 3A_3 \sqrt{a^2 + h^2} + 2hA_4 \quad (34)$$

3.2 Optimálás költségminimumra

A költségfüggvényben figyelembe vesszük a CHS szelvényű rudak végeinek levágási és köszörülési költségét is.

Anyagköltség

$$K_M = k_M \rho V, k_M = 1.0 \text{ \$/kg} \quad (35)$$

A rúdvégek levágási és köszörülési költsége [1,2,3,4]

$$K_{CG} (\$) = \frac{2.5\pi D}{(350 - 2t)0.3 \sin \alpha} \quad (36)$$

350mm/min a vágási sebesség, 0.3 hatásfok, D és t mm-ben, α az átlók hajlásszöge, esetünkben

2. táblázat. Térfogat és költség a h függvényében. Az optimumokat vastag betűkkel jelöltük. Méretek mm-ben, térfogat mm³-ben, költségek \\$-ban

h	$D_1 \times t_1$	$D_2 \times t_2$	$D_3 \times t_3$	$D_4 \times t_4$	V	K_{CG}	K_W	K_P	K
8500	187x3.7	262x5.2	185x3.5	231x4.6	2075	441	509	1376	3956
8000	192x3.8	268x5.4	185x3.7	227x4.6	2049	437	512	1345	3903
7500	198x4.0	275x5.5	189x3.8	222x4.4	2034	436	517	1317	3866
7000	206x4.1	283x5.7	191x3.8	218x4.4	2031	436	523	1292	3845
6500	213x4.3	292x5.8	193x3.7	214x4.3	2042	438	532	1271	3844
6000	222x4.4	302x6.0	196x3.9	209x4.2	2069	443	544	1255	3867
5500	232x4.6	314x6.3	200x4.0	205x4.1	2117	451	561	1243	3918

Meg kell jegyezni, hogy nem használtunk gyártott rúdszelvény méreteket, mert azokkal nem lehetett volna a különbségeket az optimumok között megállapítani.

$$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{a^2 + h^2}} \quad (37)$$

Az optimálandó tartó esetén

$$K_{CG} = \Theta_{CG} 2.5\pi \left[\frac{4D_4}{(350 - 2t_4)0.3} + \frac{6D_3}{(350 - 2t_3)0.3 \sin \alpha} \right], \Theta_{CG} = 3 \quad (38)$$

A hegesztési költség SMAW (kézi ívhegesztésű) sarokvarratokra

$$K_W = k_W \left[\Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \times 0.7889 \times 10^{-3} \left(4\pi D_4 t_4^2 + \frac{6\pi D_3 t_3^2}{\sin \alpha} \right) \right] \quad (39)$$

$k_W = 1.0$ \\$/min, $\kappa = 7$.

Festési költség

$$K_P = k_P S_P, k_P = 28.8 \times 10^{-6} \quad (40)$$

a festendő felület

$$S_P = 2a\pi D_1 + 3a\pi D_2 + 2h\pi D_4 + 3\pi D_3 \sqrt{a^2 + h^2} \quad (41)$$

A teljes költség

$$K = K_M + K_{CG} + K_W + K_P \quad (42)$$

3.3 Szám adatok és eredmények

$F = 600$ kN, $a = 5000$, $f_y = 355$ MPa, $E = 2.1 \times 10^5$ MPa.

h -t lépcsőzetesen változtatva a szükséges rúdméreteket, a térfogatot és költséget MathCAD programmal számítottuk ki. Az eredményeket a 2. táblázat adja meg.

Látható, hogy a tartómagasság a minimális térfogat esetén más, mint minimális költség esetén. Viszont a hozzájuk tartozó költségek csak kis mértékben térnek el.

4 KÖVETKEZTETÉSEK

A minimális térfogathoz illetve minimális költséghez tartozó szerkezeti méretek mindkét tartónál különbözők. Viszont a térfogat- ill. költségminimumhoz tartozó költségek nagyon kis mértékben térnek el egymástól. Ebből következik, hogy a térfogatminimum elég jól jellemzi az optimális szerkezetet.

A fenti következtetést nem lehet általánosítani, ugyanis az optimumok jelentősen függenek attól, hogy milyen a gyártási költség részaránya a teljes költséghez képest. Ez viszont szerkezetenként változó. Az 1. és 2. táblázatból látható, hogy a gyártási (hegesztési) költségek mindkét tartónál nem túl nagyok, viszont másfajta szerkezeteknél, amelyeknél sokkal több varratot kell alkalmazni, ezek sokkal jelentősebbek is lehetnek. Példa erre egy cellaszerkezetű lemez optimalása [8], ahol a vonatkozó minimális térfogatok illetve költségek a 3. táblázat szerint alakultak.

3. táblázat. A [8]-ban tárgyalt cellalemez minimális térfogatai illetve költségei

$V \times 10^{-9} \text{ mm}^3$	K \$
1.523	29980
1.803	24570

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást

biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg. A kutató munka részben a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg, valamint az OTKA T 109860 projekt támogatásával.

IRODALOM

- [1] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Economic design of metal structures*. Millpress, Rotterdam, 2003.
- [2] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Design and optimization of metal structures*. Horwood , Chichester UK., 2008.
- [3] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Optimum design of steel structures*. Springer, Heidelberg etc, 2013.
- [4] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Fémszerkezetek innovatív tervezése*. Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc 2015.
- [5] WARDENIER J. et al: *Design guide for circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading*. Köln, TÜV Rheinland, 1991.
- [6] *Eurocode 3. Design of steel structures*. Part 1-1. General structural rules. EN 1993-1-1., Brussels, CEN, 2002.
- [7] RONDAL J. et al.: *Structural stability of hollow sections*. Köln, TÜV Rheinland, 1992.
- [8] FARKAS J.: *Minimum volume and cost design of a welded square cellular plate with welded T-stiffeners*. In “Design, fabrication and economy of metal structures. Int. Conf. Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, K. Jármái & J. Farkas eds” 3-9.

AMMÓNIA-VÍZ RENDSZERŰ ABSZORPCIÓS HŰTÉSI FOLYAMAT HATÁSOSAGÁNAK ÉS HŐIGÉNYÉNEK SZÁMÍTÁSI MÓDSZERE

METHOD FOR CALCULATION OF EFFECTIVENESS AND HEAT-REQUEST OF AMMONIA-WATER BASED ABSORPTION COOLING SYSTEM

Krámer Gyula¹, Dr. Siménfalvi Zoltán², Dr. Szepesi L. Gábor²

ABSTRACT

This article contains calculations and estimations of the effectiveness and heat request of the absorption refrigeration systems, avoiding the use of difficult databases, and to make the planning without expensive software background possible, using MathCAD.

1. BEVEZETÉS

E cikkben ismertetjük az abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének becslését, egyszerű módszerekkel, drága és nehezen hozzáférhető professzionális programok nélkül.

E cikk a korábban [1] közölt ammónia-víz rendszer hőtani adatainak becslésére támaszkodik, amiből az itt közölt számítások kiinduló értékei meghatározhatóak. A legfontosabb érték a jósági fok, amely az áthelyezett hasznos hőmennyiséget vetíti az áthelyezéshez szükséges befektetett energiára.

$$COP = \frac{Q_{hasznos}}{W_{befektetett}} \quad (1)$$

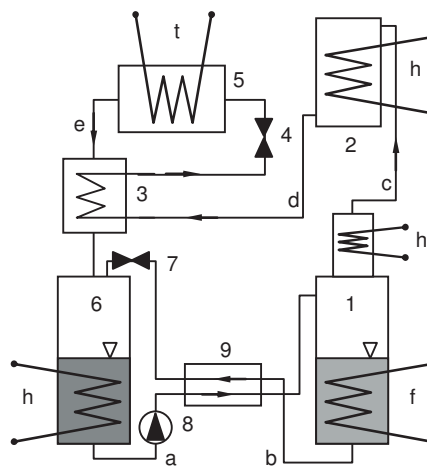
(hőszivattyú üzemmódban, amikor a fűtött oldalt hasznosítjuk, a $Q_{hasznos}$ -ba beleszámít a $W_{befektetett}$ is)

2. OLDATSZIVATTÚS ABSZORPCIÓS RENDSZER

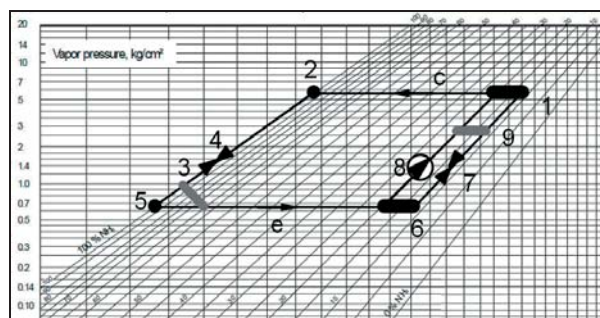
Alapvetően kétféle abszorpciós hűtési eljárás létezik. A Carré-féle, azaz az oldatszivattyús rendszer (jelen cikk) és a Platen-Munters-féle, ún. állandó nyomású rendszer. Mivel utóbbi rossz hatásfokú, így ipari jelentősége nincs.

A működés rövid leírása: (a rendszer felépítése, az 1. a körfolyamat állomásai a 2. ábrán láthatók). A generátorban 80-120 °C -on kiűzzük a hűtő-közeget az

oldatból. A generátor hőmérséklete adja ezen oldal nyomását. Ezután a magasnyomású közeg belép a kondenzátorba, ahol lehül 20-40 °C-ra.



1. ábra: Oldatszivattyús abszorpciós rendszer
1. generátor, 2. kondenzátor, 3. utóhűtő, 4. a hűtőközeg fojtószelepe, 5. elpárologtató, 6. abszorber, 7. az oldat fojtószelepe, 8. oldatszivattyú, 9. oldat hőcserélője.
a. hűtőközegben gazdag oldat, b. szegény oldat, c. hűtőközeg gőze, d. folyékony hűtőközeg, e. elpárologtató hűtőközeg, f. fűtés, h. hűtés, t. a hűtött tér terhelése



2. ábra: Körfolyamat [2]
(a jelölések az előző ábrával azonosak)

¹ PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

² egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

Ezután, már folyékony állapotban, áthalad a fojtószelepen, és belép az alacsony nyomású térbe, ahol hőelvonás kíséretében elpárolog. Az innen kilépő közeg szolgáltatja az utóhűtést, majd a 20-40°C-os abszorberben a hűtőközeg újra elnyelődik. A generátor és az abszorber között szivattyú keringeti az oldatot, itt is van egy hőcserélő, és egy szabályozószelep.

3. PARAMÉTEREK RÖGZÍTÉSE

Célszerű a COP -t és a $Q_{hasznos}$ -t egységnyi hűtőközeg tömegáramra vetíteni (m_{hkz}), és azzal számolni.

Rögzítenünk kell a generátor és az abszorber állandósult oldatkonzentrációit (x_{abs} , x_{gen}), és hőmérsékleteit (t_{abs} , t_{gen} - e két hőmérséklet többnyire adott), valamint a kondenzátor és az elpárologtató hőmérsékletét (t_{kond} , t_{elp} - hűtésnél az első adott, a második elérni kívánt érték – hőszivattyúnál fordítva).

4. OLDATKERINGETÉS TÖMEGÁRAMA

Első lépésben a keringtetett tömegáramot szükséges meghatározni. A koncentrációkat a korábbi cikkünk [1] alapján határoztuk meg.

Generátorból abszorberbe áramló ammóniában szegény oldat: (2)

$$\dot{m}_{gen} := \frac{cc_{hkz} - x_{abs}}{x_{abs} - x_{gen}} \cdot \dot{m}_{hkz} \quad (2)$$

Abszorberből generátorba szivattyúzott gazdag oldat.

$$\dot{m}_{abs} := \dot{m}_{hkz} + \dot{m}_{gen} \quad (3)$$

5. GENERÁTOR FOLYAMATAI

A generátornak két része van (3. ábra): A tulajdonképpeni generátor, és a deflegmátor. Az első ammóniában dús gőzt állít elő, a második pedig azt tovább finomítja. Mivel az ammónia sokkal illékonyabb a víznél, belőle gyakorlatilag tiszta ammónia távozik.

A generátor nyomását a hőmérséklet és a koncentráció határozza meg: (4)

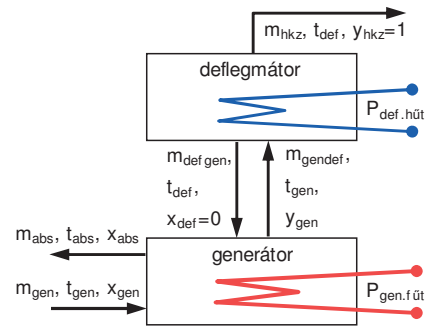
$$P_{gen} := P(t_{gen}, x_{gen}) \quad (4)$$

Majd a generátorból a deflegmátorba áramló közeg paramétereit kapjuk meg: (5)

$$y_{gendef} := y(P_{gen}, x_{gen})$$

$$\dot{m}_{gendef} := \frac{\dot{m}_{hkz}}{y_{gendef}} \quad (5)$$

Ezt a gőzt vissza kell hűteni annyira, hogy csak a víz kondenzálódjon belőle.



3. ábra: Generátor felépítése, és anyagáramai

Ez a gyakorlatban 30-40 °C-os visszahűtést jelent. (6)

$$t_{def} := t_{gen} - 30^\circ C \quad (6)$$

Adódik a deflegmátorból generátorba visszaáramló közeg tömegárama. (ez gyakorlatilag víz) (7)

$$\dot{m}_{defgen} := \dot{m}_{gendef} - \dot{m}_{hkz} \quad (7)$$

A becslések megadják a közegek entalpiáit, ezek rendre (8): generátorból deflegmátorba áramló gőz, deflegmátorból generátorba áramló víz, abszorberből érkező, és oda távozó oldat értéke:

$$h_{gendef} := h_{vapor}(P_{gen}, y_{gendef})$$

$$h_{defgen} := h_{liquid}(t_{def}, 0)$$

$$h_{old,abs} := h_{liquid}(t_{gen}, x_{abs})$$

$$h_{old,gen} := h_{liquid}(t_{gen}, x_{gen}) \quad (8)$$

Ezen adatok ismeretében felírhatóak az anyag és energiamérlegek, és kiszámítható a hűtőközeg generálásának hőigénye: (9)

$$P_{gen} := m_{gen} \cdot h_{old,gen} + m_{gendef} \cdot h_{gendef} - m_{abs} \cdot h_{old,abs} - m_{defgen} \cdot h_{defgen} \quad (9)$$

A hatásfok ismeretében a fűtési teljesítményigény is számolható: (10)

$$P_{gen,füt} := \frac{P_{gen}}{\eta_{füt}} \quad (10)$$

Továbbá meghatározható a deflegmátor hűtési igénye: (11) (bár ez nem jelentős)

$$P_{def,hüt} := m_{gendef} \cdot h_{gendef} - m_{hkz} \cdot h_{hkz,gen} - m_{defgen} \cdot h_{defgen} \quad (11)$$

A folyamat végterméke a deflegmátorral megegyező hőmérsékletű, generátor-nyomású, gyakorlatilag tiszta ammónia lesz, melynek entalpiája: (12)

$$h_{hkz,gen} := h_{vapor}(P_{gen}, 1) \quad (12)$$

6. KONDENZÁTOR

Hűtés hatására a kondenzátorban a deflegmátorból érkező ammónia lehül, és folyékony halmazállapotúvá válik.

Itt is a generátor nyomása uralkodik: (13)

$$P_{kond} := P_{gen} \quad (13)$$

Bár túl is hűl a folyadék, entalpiája a telítéttel lesz egyenlő, mivel az gyakorlatilag csak a hőmérséklettől függ. (14)

$$h_{hkz.kond} := h_{liquid}(t_{kond}, cc_{hkz}) \quad (14)$$

A fajlagos entalpia változása: (15)

$$\Delta h_{kond} := h_{hkz.gen} - h_{hkz.kond} \quad (15)$$

A hűtési teljesítmény: (16)

$$P_{kond} := \dot{m}_{hkz} \Delta h_{kond} \quad (16)$$

7. FOJTÓSZELEP

A fojtószelep előtt a generátornyomás, utána pedig az abszorber-nyomás uralkodik. Ez is meghatározható a korábban felírt összefüggésünkkel: (17)

$$P_{abs} := P(t_{abs}, x_{abs}) \quad (17)$$

Expanzió után a hűtőközeg hőmérséklete a következő lesz: (18)

$$t_{exp} := t(p_{abs}, cc_{hkz}) \quad (18)$$

A fojtószelepen az állapotváltozás izentalpikus, mivel lecsökken a folyadék hőmérséklete, a felszabaduló hő elgőzölögteti annak egy részét - ez régi szóhasználattal az ún. sarjúgőz.

A felszabaduló hő mennyisége: (19)

$$\Delta h_{liquid} := h_{liquid}(t_{kond}, cc_{hkz}) - h_{liquid}(t_{exp}, cc_{hkz}) \quad (19)$$

Szükséges ismerni a párolgáshőt: (20)

$$r_{hkz} := h_{vapor}(p_{elp}, cc_{hkz}) - h_{liquid}(t_{exp}, cc_{hkz}) \quad (20)$$

Ebből adódik a képződött gőz mennyisége: (21)

$$m_{hkz.göz} := m_{hkz} \frac{\Delta h_{liquid}}{r_{hkz}} \quad (21)$$

A maradék hűtőközeg: (22)

$$m_{hkz.liq} := m_{hkz} - m_{hkz.göz} \quad (22)$$

E két fázissal indul az elpárologtató munkája.

8. ELPÁROLOGTATÓ

Itt elpárolog a maradék hűtőközeg, majd az összes felmelegszik az elpárologtató hőmérsékletére. (az, hogy a hűtő képes-e tartani a t_{elp} -ot, az a hűtött rész szigetelésének a kérdése)

Az elpárolgásból adódó hűtőteljesítmény: (23)

$$P_{elp.elp} := m_{hkz.liq} \cdot (h_{vapor}(p_{elp}, cc_{hkz}) - h_{liquid}(t_{exp}, cc_{hkz})) \quad (23)$$

A felmelegedéssel elvont hő számításához ki kell számítani a hőmérsékletkülönbséget. Ezt az expanzió utáni, és az elpárologtató hőmérsékletek különbsége adja: (24)

$$\Delta t_{elp} := t_{elp} - t_{exp} \quad (24)$$

A gőz fajhőjére szintén van becslésünk:

$$c_{p.elp} := c_{p.v}(t_{exp}, cc_{hkz}) \quad (25)$$

A gőz túlhevítéséből származó hűtőteljesítmény: (26)(ez elhanyagolható)

$$P_{elp.til} := c_{p.elp} \cdot \dot{m}_{hkz} \cdot \Delta t_{elp} \quad (26)$$

Az össz-hűtőteljesítmény: (27)

$$P_{elp} := P_{elp.elp} + P_{elp.til} \quad (27)$$

A folyamat végén a közeg fajlagos hőtartalma: (28)

$$h_{hkz.elp} := h_{vapor}(p_{elp}, cc_{hkz}) + c_{p.elp} \cdot \Delta t_{elp} \quad (28)$$

9. ABSZORBER

Ismert a hőmérséklete (t_{abs}), a benne lévő oldat koncentrációja (x_{abs}), érkezik bele a hűtőközeg az elpárologtatóból, és cserélődik benne az oldat. Az anyag- és a hőmérleg felírásával a szükséges hűtési teljesítmény kiszámítható.

Az, hogy a rendelkezésre álló hűtővíz hőmérsékletéből, (generátornál pedig az adott hőforrásból) létre lehet-e hozni a kívánt hőmérsékleteket, az az abszorber (ill. generátor) hőcserélőin múlik. Ez további tervezéssel határozható meg.

10. HŐCSERÉLŐ

Eddig a generátor hőigényénél szándékosan nem vettük figyelembe az abszorberből érkező gazdag, de hideg oldat felmelegítését, mert hogy mekkora teljesítmény kell hozzá, az alapvetően a visszaforgatott oldatmennyiségen (m_{abs}), illetve oldat-arányon, (idegen szóval Flow Ratio) (29)

$$FR := \frac{\dot{m}_{abs}}{\dot{m}_{hkz}} \quad (29)$$

és az abszorber, ill. generátor közti hőcserélő hatásfokán múlik ($\eta_{rec.hcs}$). (30)

$$P_{recabs} := m_{hkz} \cdot FR \cdot \int_{t_{abs}}^{t_{gen}} c_p(t, x_{abs}) dt$$

$$P_{rec.füt} := \frac{1 - \eta_{rec.hcs}}{\eta_{füt}} \cdot P_{recabs} \quad (30)$$

Ez összemérhető az elpárologtatáshoz szükséges hőmennyiséggel (50...100...120%-a). Ennek következtében nem javul a COP a generátor hőmérsékletének emelésekor.

11. SZIVATTYÚ-TELJESÍTMÉNY

Először határozzuk meg a keringetett oldat térfogatáramát: (31)

$$Q_{sziv} := \frac{\dot{m}_{abs}}{\rho(t_{abs}, x_{abs})} \quad (31)$$

A kialakuló nyomáskülönbség a generátor, ill. abszorber közötti, valamint a szerelvényekből adódó veszteség összegeként határozható meg: (32)

$$\Delta p_{össz} := p_{gen} - p_{abs} + \Delta p_{egvéb} \quad (32)$$

Így a szivattyúteljesítmény: (33)

$$P_{sziv.hidr} := Q_{sziv} \cdot \Delta p_{össz}$$

$$P_{sziv} := \frac{P_{sziv.hidr}}{\eta_{hydr}} \quad (33)$$

Ez elhanyagolható az előző két főteljesítmény mellett.

12. JÓSÁGI FOK SZÁMÍTÁSA

A teljesítmények ismeretében, ezek hányadosaként számítható a rendszer jósági foka: (34)

$$COP := \frac{P_{elp}}{P_{gen.füt} + P_{rec.füt} + P_{sziv}} \quad (34)$$

Ezen modell viselkedése összecseng más, kísérletileg alátámasztott modellekével. [3], [4], [5]

13. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben összefoglaltuk az ammónia-víz rendszerű abszorpciós hűtés főbb paramétereinek számítását, mely a korábbi cikkünkben [1] ismertetett hőtani adatok becslésére támaszkodik.

Ezen modellre alapozva egyszerű számítógépes háttérrel nehezen hozzáférhető és költséges szoftverek

alkalmazása nélkül is vizsgálható a hőszivattyús rendszer. Továbbá feladatul tűztük ki, hogy olyan technológiai kapcsolást keressünk, mely segítségével a COP érték jelentős mértékben növelhető.

14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

15. IRODALOM

- [1] KRÁMER G., SIMÉNFALVI Z., SZEPESI G. Ammónia-víz rendszer adatainak számítása abszorpciós hűtési eljárások tervezéséhez, GÉP, LXV. 2014/08 30-33
- [2] M. R. CONDE, Conde Engineering Zürich, Thermophysical Properties of NH₃-H₂O solutions for industrial design of absorption refrigeration equipment, 2004
- [3] D. MICALLEF, C. MICALLEF, Mahemathical model of a vapor absorption refrigeration unit. Int j simul model 9 (2010) 2, 86-97
- [4] R. SINGH, R. KUMAR, Theoretical Analysis of Nh3-H2o Refrigeration System Coupled With Diesel Engine: A Thermodynamic Study. e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X. Volume 11, Issue 3
- [5] S. RAGHUVANSI, G. MAHESWARI: Analysis of Ammonia –Water (NH₃-H₂O) Vapor Absorption Refrigeration System based on First Law of Thermodynamics, International Journal of Scientific and Engineering Research. Volume 2, Issue 9, September 2011

JELÖLÉSJEGYZÉK

Jel	Megnevezés	Mértékegység.
Δh	Entalpiaváltozás	kJ/kg
Δp	Nyamáskülönbség	Pa
Δt	Hőmérséklet-különbség	°C
ρ	Sűrűség	kg/m
η	Hatásfok	- η
c_{Chkz}	NH ₃ koncentráció a hűtőközegben	-
COP	Coefficient of Performance	-
c_p	Fajhő	kJ/kg°C
FR	Flow Ratio	-
h	Entalpia	kJ/kg
p	Nyomás	bar
P	Teljesítmény	W
r	Párolgáshő	kJ/kg
t	Hőmérséklet	°C
x	NH ₃ tömegkoncentráció az oldatban	-
y	NH ₃ tömegkoncentráció a gőzben	-

MŰSZERZETT KARCVIZSGÁLAT ALKALMAZÁSA KARBONITRIDÁLT ACÉLOK FELÜLETI RÉTEGÉNEK MINŐSÍTŐ ELJÁRÁSÁBAN

APPLICATION OF SCRATCH TEST IN THE QUALIFYING PROCESS OF GAS NITRIDED SURFACE LAYER OF STEELS

Marosné Berkes, M.¹, Szilágyiné Biró, A.², Lőrincz, A.³, Koncsik, Zs.⁴

ABSTRACT

One of the most important objectives of surface treatments is the enhancement of the wear resistance of engineering components. There are several test methods applied for the evaluation of the efficiency of these heat treatment technologies. In this paper - based on the results of comparative scratch tests accomplished with increasing (2-100 N) normal load on gas nitrocarburized, 51CrV4 ferritic-pearlitic steels of polished and ground initial surface quality - a possible novel application of the scratch test is introduced for the characterization of the wear behaviour and quantitative grading of nitrided surface layers. Analysis of the friction coefficient-scratch length diagrams of nitrocarburized layers produced by gas ferritic nitrocarburizing at 520 °C and 570 °C, for 8, 16 and 24 h showed an unambiguous and quantitative connection between the technological parameters and the friction- and wear properties of the carbonitrided layer, that provides a possibility for technological optimization as well.

1. BEVEZETÉS

1.1. A karbonitridálás jelentősége és technológiája

A felülettechnológiák, amelyek közé a karbonitridálás is sorolható nagy jelentőségűek napjaink alkatrészgyártásában. Ennek fő oka, hogy az alkatrészek döntő többségének felülete úgy van koptató igénybevételnek kitéve, hogy közben a teljes térfogatnak szívósnak kell maradnia, hogy a fellépő, teljes térfogatra kiható dinamikus igénybevételeket elviselje. A felülettechnológiák erre az összetett problémára nyújtanak megoldást.

¹ egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet (ME, ATI)

² egyetemi tanársegéd (ME, ATI)

³ változtatás mérnök, Robert Bosch Energy and Body System Kft.

⁴ egyetemi adjunktus (ME, ATI)

Ezekkel a hőkezelésekkel képesek vagyunk olyan – az anyagtulajdonságok és az ezeket meghatározó anyag-szerkezet szempontjából heterogén – alkatrészeket előállítani, amelyek képesek hosszú ideig elviselni az előzőekben említett összetett igénybevételt.

A felülettechnológiákon belül a nitridálás a termokémiai kezelések egyik meghatározó képviselője, amelynek során a felületbe diffundáltatott elem – nitridálás esetében a nitrogén – segítségével válik a felület kopásállóvá. A nitrogén oldódik az acélban, valamint a vassal és annak ötvözőivel olyan vegyületeket alkot, amelyek keménységük révén hozzájárulnak az alkatrész koptató igénybevétellel szembeni ellenállásának növeléséhez.

A karbonitridálás alapvetően olyan nitridálási eljárás, amelynek során a felületbe jutó nitrogén mennyiségéhez képest kisebb mennyiségű karbon is bejut. Mindkét technológia hőmérséklete az esetek döntő többségében 590 °C, amely a vas-nitrogén kétalkotós állapotábrában az eutektoidos reakció hőmérséklete. Így az eljárás nem jár allotróp átalakulással, ami jelentősen csökkenti és tervezhetőbbé teszi a hőkezelés okozta mérettorzulás, vetemedés mértékét [1, 2].

A gáznitridálás során a kemencéterbe ammóniából és nitrogénből álló gázkeveréket vezetnek. Az ammónia részlegesen disszociál. A képződött atomos, reakcióképes nitrogén atomok egy része adszorbeálódik a nitridálendő darab felületén, míg a többi molekulává alakul és távozik a felülettől. A nitridálás technológiai ideje a kívánt rétegmélységtől függően meglehetősen hosszú is lehet, ráadásul egy idő után a technológiai idő növelése már nem gazdaságos, nem lehet elérni további jelentős rétegnövekedést. Ennek meggyorsítása az adszorpció sebesség növelésével lehetséges. Ez valósul meg karbonitridáláskor, amelynek során az ammónia mellé széndioxidot adagolnak. A széndioxid reakcióba lép az ammónia bomlástermékeként keletkező hidrogénnel és víz kíséretében szénmonoxid keletkezik, ami a technológia hőmérsékletén nem stabil, így széndioxiddá alakul, és eközben egy szabad karbon atom keletkezik. Az aktív karbon atomok egy része megkötődik a felületen. Így nemcsak nitrogén, hanem karbon is jut a felületbe. Ezért nevezik ezt az eljárást karbonitridálásnak.

1.2. A karcvizsgálat és alkalmazási területei

A karcvizsgálat egy olyan anyagvizsgáló módszer, amelyet eredetileg a felületi bevonatok adhéziós kötéseinek erősségének összehasonlító vizsgálatára fejlesztettek ki. Hasznosítása egyéb feladatokban, például a különféle felületötvtöző hőkezelések hatásának elemzésében nem új keletű. Azonban az ilyen jellegű vizsgálatok elsősorban a felületkezeléssel létrehozott réteg, vagy a különféle duplex kezelések során kialakított bevonatok leválását okozó kritikus terhelés meghatározását, a karc morfológiai elemzését tűzték ki célul [3, 4, 5].

Karcvizsgálat során egy karctűt (általában egy 200 μm -es lekerekítési sugarú Rockwell C vizsgálófej) húznak végig a test felületén [6]. Bevonatok vizsgálata során az elsődlegesen meghatározott jellemző az az erő, amely a bevonat leválását eredményezi. Emellett meghatározható a súrlódási tényező is, amelyet egy beépített piezoelektromos erőmérő segítségével a tangenciális és normál irányú erő hányadosaként határoz meg a berendezés és rögzíti a karctű elmozdulásának függvényében.

Habár a karbonitridálás nem bevonatechnológia, a súrlódási tényező értékének mérése hasznos információt adhat a hőkezelés eredményéről. Ismert a karcvizsgálat egyéb „rendhagyó” alkalmazása is, például üvegek maradó feszültségének mérésére [7].

A cikkben ismertetett kutatás célja annak vizsgálata, hogy alkalmas lehet-e ez a vizsgálati módszer nitridált rétegek minősítésére, hasznos információk szolgáltatására a hőkezelési technológia, vagy a hőkezelt alkatrész felületi rétegének tulajdonságai tekintetében.

2. KÍSÉRLETI MUNKA

2.1. A kísérleti minták jellemzése

A vizsgált próbatestek 22×22×5 mm méretű karbonitridált, ferrit-perlites szövetszerkezetű 51CrV4 (MSZEN 10027-1) minőségű acéllapok voltak, a nitridálást megelőzően polírozott ($R_a=0,125$), durvacsiszolt ($R_a=0,252$), és kőszőrült ($R_a=0,343$) felületminőséggel. Az érdességi vizsgálatokat Altisurf 520 típusú profilometriai berendezéssel végeztük.

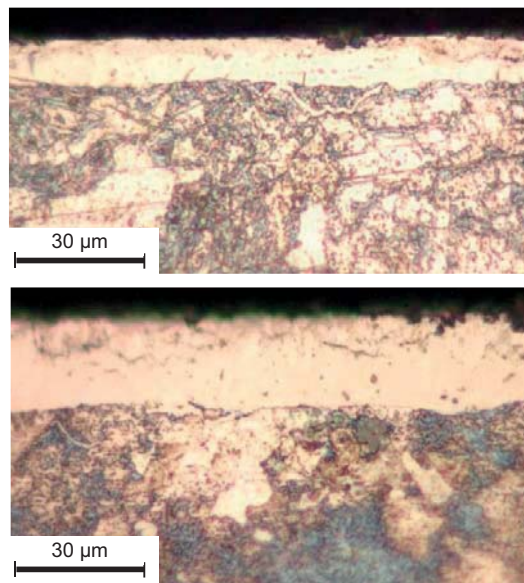
A karbonitridálás technológiai paraméterei a következők voltak: Gázösszetétel: 250 l/h NH_3 + 10 l/h CO_2 + 50 l/h N_2 ; Hőmérséklet: $T=520^\circ\text{C}$ és 570°C ; Hőntartási idő: $t=8\text{ h}$; 16 h ; és 24 h , tehát az adott anyagminőségen hatféle réteget tanulmányoztunk. A karbonitridálás után a próbatestek 200°C -ig nitrogén-gázban hűltek, utána levegőn.

A próbatesteket a felületelőkészítés során mechanikus befogóban rögzítettük a karbonitridált felületet rézlappal védve. A marószert 2%-os Nitál volt. A szövetszerkezetvizsgálat és a nitridált réteg vastagságának meghatározása

Az Axio Observer D1m (Zeiss) inverz optikai mikroszkóppal, a réteg keménységeloszlásának vizsgálata 1N terhelőerővel Mitutoyo-HVK mikrokeménységmérővel történt.

A nitridált réteg mélységének megállapítására a legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott módszer a mikrokeménység mérés. A felületkezelést követően a próbatestek keménységét 1 N terhelőerővel, 10 s terhelési idővel mértük. Minden mérési eredmény 3 mérés átlaga. A diffúziós zóna mélysége a keménységmérési eredmények alapján a magkeménységet $50\text{HV}_{0,1}$ értékkel meghaladó keménységnél lett kijelölve.

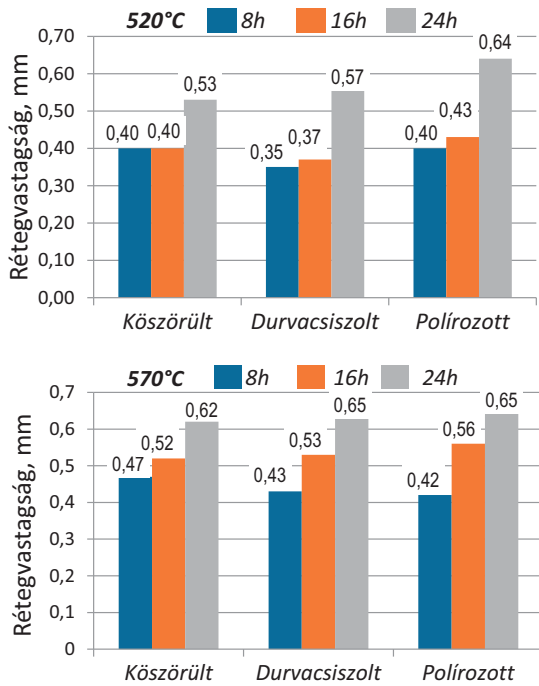
Az 1. ábrán az 520°C -on 24 h időtartamú hőkezeléskor kialakult nitridált rétegek láthatóak. A mikroszkópi képen jól elkülönül a fehéren maradó vegyületi kéreg és az alatta lévő diffúziós zóna. A gáznitridálásra jellemző módon a vegyületi kéreg a felületen kis mértékben porózus, amelynek oka, hogy a felületen megtapadt nitrogén atomok diffúziós sebessége nem volt kellően nagy ahhoz, hogy megakadályozza a nagyméretű, diffúzióra nem képes nitrogén molekulák képződését.



1. ábra. Kőszőrült kiinduló felületű 51CrV4 acél karbonitridált rétegének szövetszerkezete; felül: $T=520^\circ\text{C}$ $t=24\text{ h}$, alul: $T=570^\circ\text{C}$ $t=24\text{ h}$;

A különböző kiinduló felületminőségű minták rétegvastagság értékeit a 2. ábra tünteti fel. Megfigyelhető, hogy a kisebb hőmérsékletű és rövidebb idejű felületkezelések után nem mutatható ki egyértelmű kapcsolat a kiinduló – kőszőrült, durvacsiszolt és polírozott – felületminőség és a nitridált réteg mélysége között. Az 520°C -os karbonitridálás során a technológiai idő csekély hatással van a rétegmélységre, ahogyan az a 2. ábra 520°C , 8 h és 16 h paraméterekhez tartozó eredményekből látható. A nagyobb, 570°C -os hőmérsékleten és hosszabb idő alatt kialakult nitridált rétegek mélysége viszont kis mértékben növekedett a kiinduló felületi ér-

desség csökkenésével. Ezt igazolják a 2. ábrán az 520 °C, 24 h, illetve az 570 °C, 16 és 24 h paraméterű kezelésekhez tartozó rétegvastagság értékek.

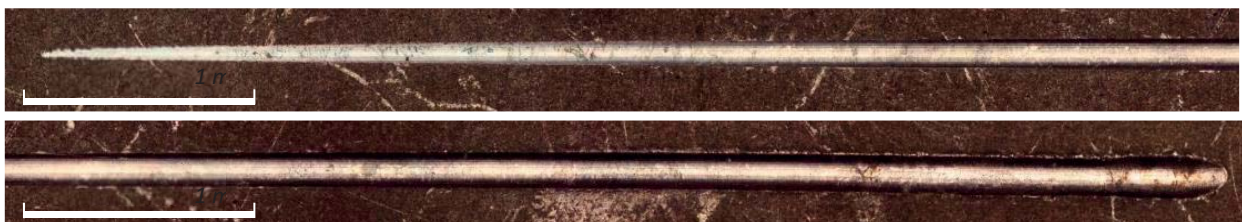


2. ábra. A karbonitridált réteg mélysége az 520 °C (felül) és 570 °C (alul) hőmérsékletű kezelés után

A vegyületi kéreg vastagsága – amelyet mikroszkópos vizsgálattal határoztunk meg, mintánként 7 különböző helyen – rendkívül nagy szórást mutatott. Értéke az 520 °C-os kezelések után 7-13 μm, az 570 °C-os kezelések után 18-25 μm tartományban mozgott.

A 3. ábrán bemutatott keménységeloszlási görbék a nitridálásra jellemző alakúak. A nitridálás előtti felületminőség a keménységlefutás jellegét nem befolyásolta, ezért itt csak a polírozott kiinduló felületű minták keménységeloszlási görbéit mutatjuk be.

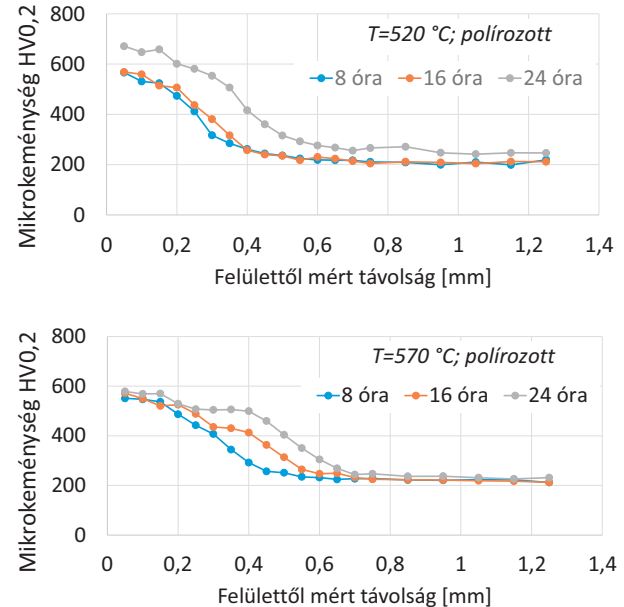
A karbonitridálás technológiai paramétereit tekintetben a görbék alapján is egyértelmű megállapítások tehetők. Kisebb hőmérsékleten a nitridálás ideje csak kisebb mértékű hatással van a rétegmélységre, ahogyan azt a 3. ábra 520 °C, 8 h és 16 h paraméterekhez tartozó összesített keménységeloszlási görbéi mutatják.



4. ábra. Karbonitridált (520 °C, 8h) 51CrV4 acél felületén növekvő ($F=2-100\text{ N}$) terhelőerővel húzott karcnyom felső kép: a karc kezdőszakasza ($F=2-50\text{ N}$), alsó kép: a karc befejező szakasza ($F=50-10\text{ N}$)

Ugyanakkor a kisebb hőmérsékletű karbonitridálásakor a felület közelében nagyobb lesz a keménység, mivel a lassabb diffúzió következtében több nitrogén marad a felületközeli tartományban, növelve ezzel a réteg keménységét.

A 3. ábra alsó diagramján az 570 °C-os karbonitridálásra vonatkozó keménységeloszlási görbékből egyértelműen látható, hogy a technológiai idő növelésével a keménységlefutás meredeksége csökken.

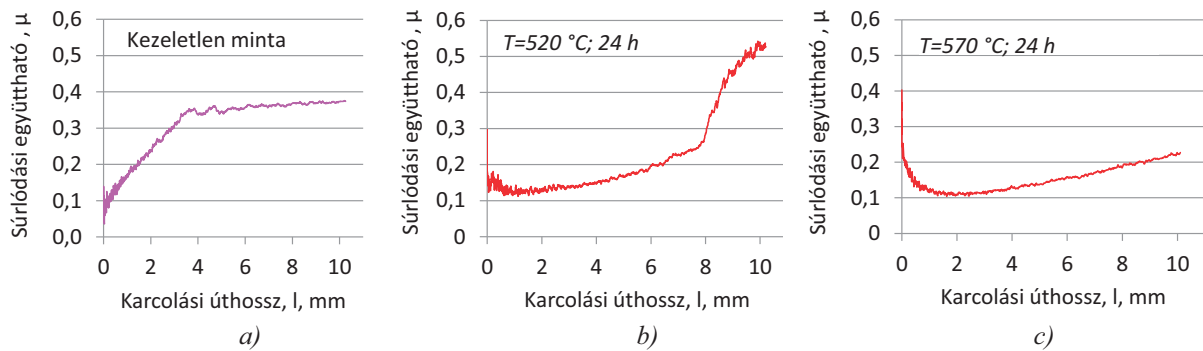


3. ábra. Keménységeloszlás 51CrV4 acél karbonitridált rétegében, $T=520$ (felül); $T=570$ °C (alul); mindkét esetben: polírozott kiinduló felületminőség

2.2. Műszerezett karcvizsgálatok

A felületkezelés nélküli referencia mintákon és a karbonitridált darabokon $F=2-100\text{ N}$ tartományban növekvő terhelőerővel karcokat húztunk (4. ábra). A karcnyomok optikai vizsgálatát Stemi 200C (Zeiss) sztereó fénymikroszkóppal és Axio Observer D1m mikroszkóppal végeztük.

A karcvizsgálat során on-line rögzített sűrűdési együttható diagramok jellege a kiinduló felületminőségtől függetlenül hasonló volt. Az 5. ábrán a köszörült karbonitridálás nélküli, illetve az 520 °C és 570 °C-on 24 h ideig karbonitridált minták diagramjai láthatók.



5. ábra. 51CrV4 acél karcvizsgálattal felvett súrlódási együttható-úthossz diagramjai
 a) nitridálatlan minta; b) $T=520\text{ °C}$, 24 h; c) $T=570\text{ °C}$, 24 h köszörült, karbonitridált minták

A nitridálatlan darabokon a súrlódási együttható állandósult értéke $\sim 3\text{ mm}$ karcút megtétele után, azaz $F \geq 30\text{ N}$ terhelések esetén $\sim 0,4$ körül állandósult (5./a ábra). Ezzel az értékkel jellemezhető az alkalmazott gyémánt karctű és az alapanyag között ébredő súrlódási ellenállás a tú lehetséges maximális behatolása-kor.

A karbonitridálás után a súrlódási tényező jelentősen csökkent (5/b. és c. ábrák). Az 520 °C -os hőkezelés után az $F=60\text{ N}$ terhelésig a μ értéke $0,1-0,2$ között változott és csak $F=80\text{ N}$ terhelőerő elérésekor mutatott hirtelen növekedést. Feltehetően ekkor hatolt a tű a nitridálás által már hatékonyan nem érintett anyagrészbe. A közel 20%-kal nagyobb nitridált rétegmélységet (2. ábra) eredményező 570 °C -os karbonitridálás után pedig a súrlódási együttható értéke a teljes vizsgálati szakaszon, azaz $F=100\text{ N}$ terhelőerőig $0,25$ alatt maradt. A kisebb súrlódási együttható oka, hogy a karbonitridáláskor kialakuló új, kemény, keramikus fázisok és a karctű között kisebb súrlódás lép fel.

3. A KARCDIAGRAMOK ELEMZÉSE

3.1. A karbonitridált és kezeletlen minták karcdiagramjainak összehasonlítása

Hasznos megállapításokat tehetünk a hőkezelés hatékonyságára vonatkozóan, ha a nitridálatlan és a különböző módon karbonitridált minták súrlódási együttható görbéit közös diagramban ábrázoljuk, feltüntetve a terhelőerő változását is.

A 6. ábrán bemutatott súrlódási tényező-karcolási úthossz diagramok alapján megállapítható, hogy az 520 °C -os karbonitridálás esetén mindhárom hőtartási idő után közel azonos módon változott a súrlódási tényező: a terhelőerő növelésével fokozatosan, majd $F \sim 80\text{ N}$ elérésekor ugrásszerűen megnőtt.

Míg a kezdeti, egyenletesen növekvő szakaszon a karbonitridálás hatására kialakult nitridált rétegben a súrlódási tényező jelentősen kisebb értékű, $0,1-0,2$ körüli volt – szemben a kezeletlen darabon hasonló terhelő-

erőnél mért $0,4$ értékhez képest –, addig az ugrásszerű növekedés után a súrlódási tényező a karbonitridált mintáknál jelentősen meghaladta a hőkezeletlen darabokon mért maximális (állandósult) súrlódási tényező értékét.

Ennek magyarázata, hogy a karcolás során a rétegből leváló keményebb anyagrészecskék feltorlódhatnak a karctű előtt és a karcnyomban rekednek, így az alapanyaghoz képest egy kevert zóna alakul ki a tű útja előtt, amely a lágyabb alapanyagot és a keményebb nitridált réteg anyagát is tartalmazza. Emiatt feltételezhetően háromtestes abrazív kopáshoz hasonló állapot alakulhatott ki, megnövelve a súrlódási tényezőt.

A diagramok kezdeti szakasza is érdekes információval szolgál: a súrlódási együttható diagramokon látható kezdeti ugrások a hőkezelési idő növelésével (8 h, 16 h és 24 h), és a hőmérséklet növekedésével (520 °C és 570 °C) egyre kifejezettebbek, nagyobbak.

Ezek a kezdeti ugrások abból eredhetnek, hogy a karcolás kezdetén a vegyületi kéreg roncsolódásakor rideg, kemény részecskék keletkeznek, amelyek akadályozzák a karctű haladását. Ezt az is elősegítheti, hogy a hőmérséklet és hőtartási idő növelésével a vegyületi kéreg porozitása is nő, emiatt a rideg, kemény réteg könnyebben szakad fel és intenzívebb a törmelékképződés.

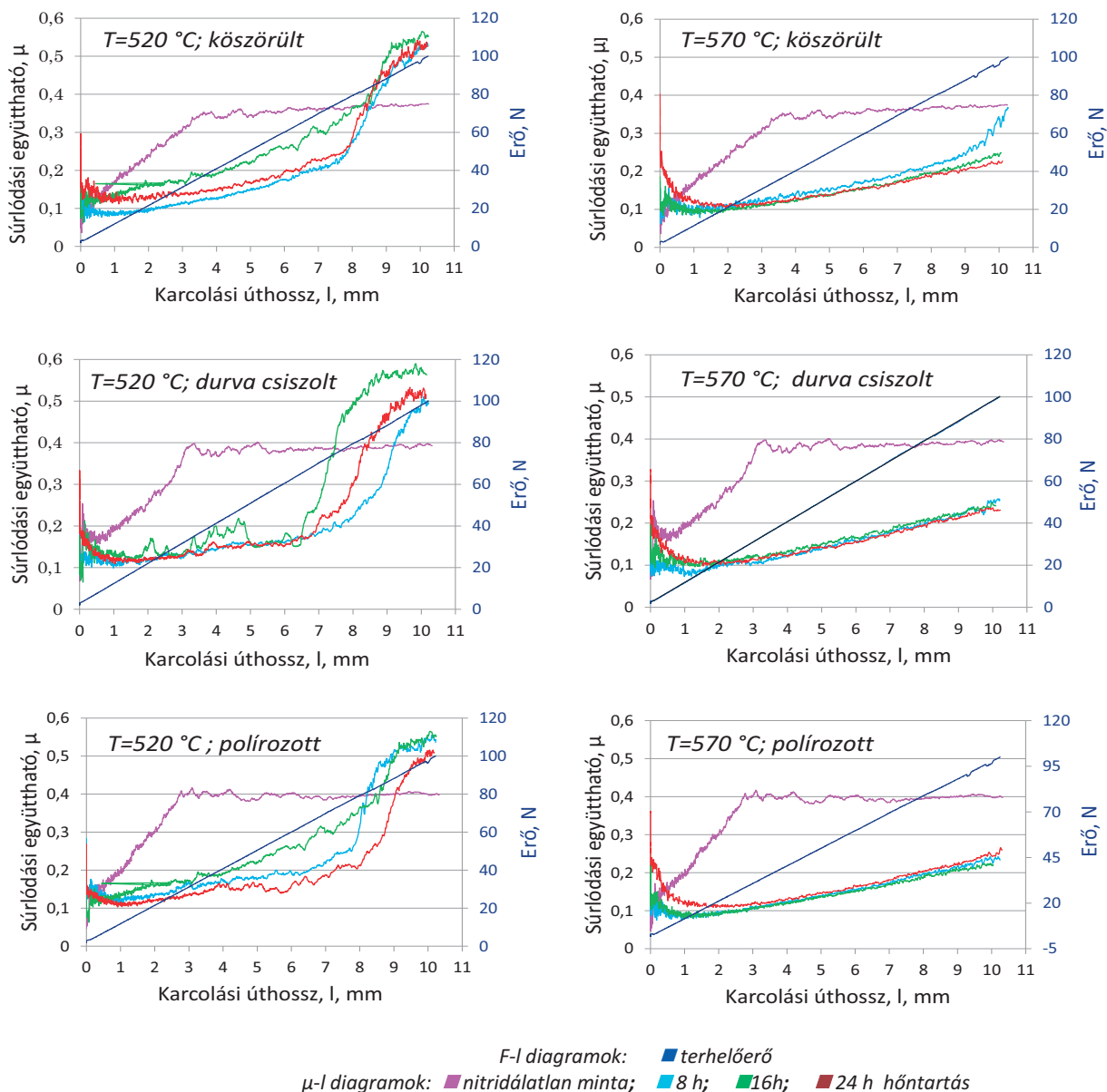
A karbonitridálást megelőző felületelőkészítés hatását elemezve megállapítottuk, hogy a vizsgált köszörült, durvacsiszolt és polírozott próbatestek karcdiagramjai között nincs jelentős eltérés [8]. Az alkalmazott különböző felületelőkészítés tehát nem okozott szignifikánsan eltérő viselkedést a karcolás szempontjából.

Ugyanakkor a 2. ábrán bemutatott rétegvastagság értékek vonatkozásában egy korábbi munkában [9] azt a következtetést vontuk le, hogy a felületminőség hatással lehet a karbonitridált réteg mélységére, de annak jelentősebb növekedését csak az intenzívebb, azaz nagyobb hőmérsékletű és hosszabb hőtartási idejű hőkezelések esetén tudtuk kimutatni a vizsgált anyagminőségnél és alkalmazott hőmérsékleteken.

A megfigyelt összefüggés szerint, minél finomabb volt a hőkezelést megelőzően a darabok felülete, annál nagyobb volt az 520 °C -on 24 h hőtartási idő esetén

kialakult réteg mélysége. Az 570 °C-on karbonitridált minták esetén ez a tendencia már mind 16 h, mind a 24 h időtartamú karbonitridálás esetén megmutatkozott.

Az eredmények további, kvantitatív értékelésére ad lehetőséget, ha megvizsgáljuk, hogy a hőkezeletlen és a hőkezelt próbatesteken mért súrlódási együtthatók számszerűen hogyan viszonyulnak egymáshoz.



6. ábra. A karcvizsgálattal felvett súrlódási tényező-úthossz (μ -l) és terhelőerő-úthossz (F-l) diagramok

3.2. A hőkezeletlen és karbonitridált darabok súrlódási tényezőjének viszonya

Ha összehasonlítjuk a karbonitridált és a felületkezelés nélküli mintadarabokon mért súrlódási tényezők arányát, amelyeket az 7. ábrán a %-ban megadott $\mu_k/\mu_{n,áll}$ értékek képviselnek, akkor könnyen áttekinthetővé válik, hogy a karbonitridált mintákon mért súrlódási tényező értéke mely tartományban kisebb, mint a kezeletlen darabokon mért állandósult érték.

A súrlódási tényezők arányának meghatározásakor a vizsgált tartományok kezdete ahhoz a karcossúsághoz tartozott, ahol a referencia minták karcdiagramja elérte az állandósult súrlódási tényező értékét, a végpontjuk pedig az a karcossúság, ahol a hőkezelt minták súrlódási tényezője ugrásszerű növekedést mutatott.

Ahol ilyen jellegű változás nem volt, ott a vizsgálati szakasz vége a karcólási út végpontja volt. A fenti megfontolások alapján meghatározott intervallumokat mutatja a 1. táblázat.

1. táblázat Az 51CrV4 karbonitridálatlan darabok esetében az állandósult sűrűdési tényező intervalluma

$T^1, ^\circ\text{C}$	Felületminőség					
	Köszörült		Durvacsiszolt		Polírozott	
	F^2 [N]	l^3 [mm]	F [N]	l [mm]	F [N]	l [mm]
520	30-70	3,3-7,3	30-70	3,1-6,8	25-75	2,6-7,7
570	30-100	3,3-10,3	30-100	3,0-10,3	25-100	2,8-10,3

¹Karbonitridálás, hőmérséklete

²Normálirányú terhelőerő

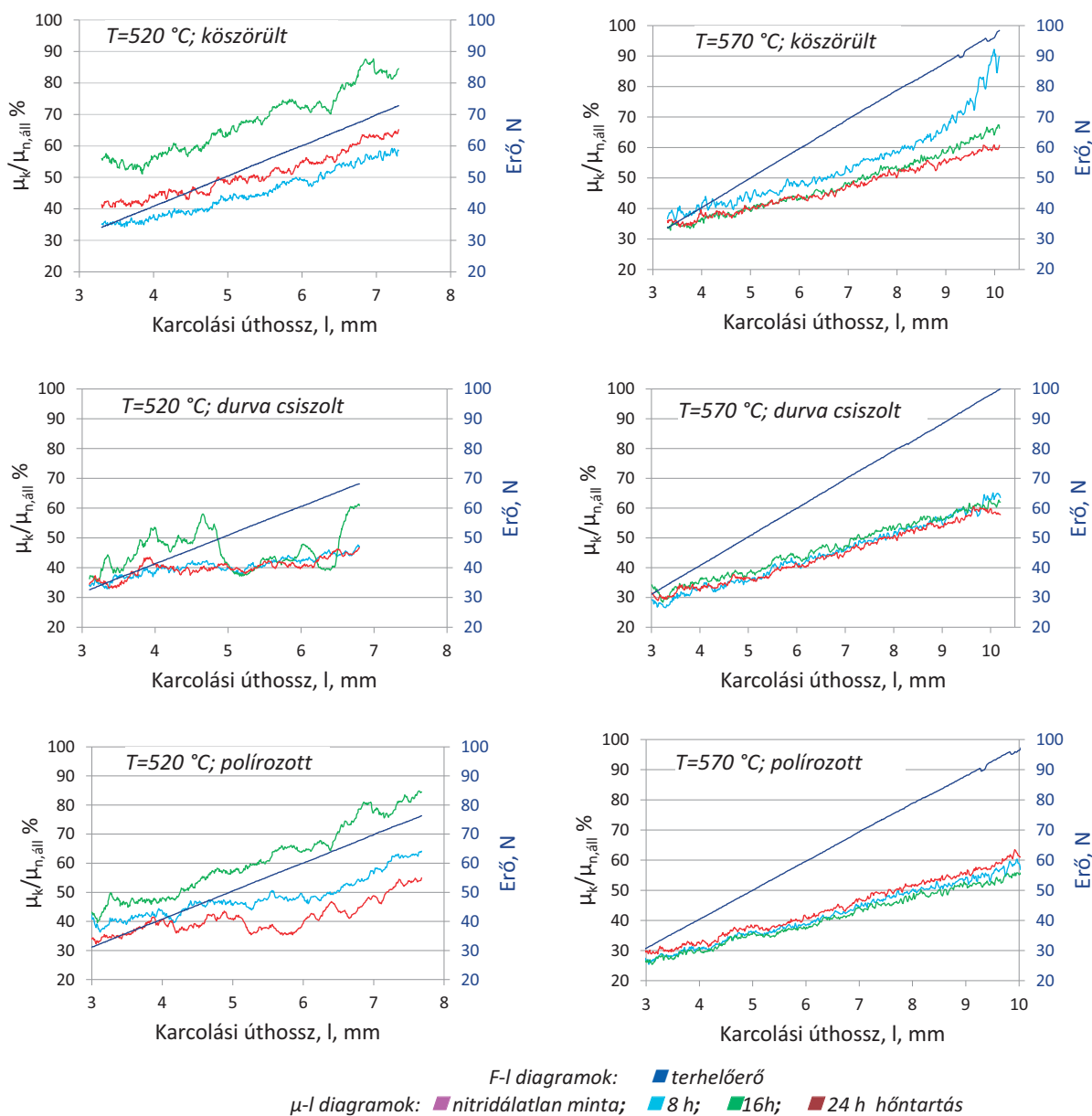
³Karcolási úthossz

Az 7. ábra baloldali diagramjain megfigyelhető, hogy az 520 °C-on hőkezelt mintákon mért sűrűdési tényező értéke a szakaszok kezdetén a hőkezeletlen darabo-

kon mért állandósult értékeknek (egy kivételtől eltekintve) mindössze 30-40 %-a, tehát jelentősen kisebb.

Ezek az értékek a mélyülő karcnyomban, azaz növekvő terhelések mellett az ugrásszerű növekedést megelőzően a hőkezelés időtartamától függően 45-85% -ra növekedtek. A 6. ábra baloldali diagramjain megfigyelhető, hogy az 520 °C-os karbonitridálás esetén a hőkezelt minták karcdiagramjainak ugrásszerű változása 50-85 N terhelésnél megkezdődik, ugyanakkor a kezeletlen mintákon mért állandósult sűrűdési együttható értékét esetenként csak jóval nagyobb, jellemzően 80-90 N terhelésnél érték el.

A sűrűdési együttható ugrásszerű változásához tartozó terheléseket úgy tekinthetjük, mint az adott karbonitridált darabok karcjellegű terhelhetőségének határát.



7. ábra. A karbonitridált és a hőkezelés nélküli mintákon mért sűrűdési tényezők aránya – $\mu_k/\mu_{n,all}$, %

Sokkal egységesebb képet mutattak az 570 °C-on hőkezelt minták, amelyek súrlódási tényező arányait a 7. ábra jobboldali diagramjai illusztrálják. Ennek magyarázata, hogy a nagyobb hőmérsékleten kialakuló, mélyebb és N-ben dúsabb fázisokat nagyobb mennyiségben tartalmazó nitridált réteg viselkedése sokkal egységesebb volt, és a súrlódási együttható a vizsgálati szakaszok kezdetén mindössze 25-35 %-a volt a kezeletlen mintán mért állandósult értéknek.

A diagramokból az is jól megfigyelhető, hogy az előzetes felületelőkészítés hatása itt már egyértelműen és szisztematikusan érzékelhető: a kiinduló felületminőség finomodásával a súrlódási együttható értékek csökkentek.

A terhelőerő növekedésével a kiinduló 25-35 %-os arány ugyan folyamatosan nőtt, de még a 100 N maximális terhelőerőnél sem érte el a kezeletlen mintákon mért állandósult értéket, egy kivétellel mindössze annak 60-65%-áig nőtt, vagyis nagy valószínűséggel a maximális terhelésig a nitridált rétegben maradt a karctű, amely a 2. ábra alsó diagramja az 570 °C-os hőkezelés után jellemzően nagyobb volt, különösen a 24 h hőntartási idejű hőkezelések után.

Bár szisztematikus összefüggés a hőntartási idő és a terhelhetőség között nem volt megállapítható, de fontos megjegyezni, hogy ebben szerepet játszhatnak olyan tényezők, mint a réteg tulajdonságainak inhomogenitása, az emiatt fennálló mérési bizonytalanságok, továbbá a kisebb nitridálási hőmérsékletnek megfelelő lassabb N diffúzió, ami miatt a bekövetkező tulajdonságváltozások megjelenése nem mutatható ki minden esetben markánsan.

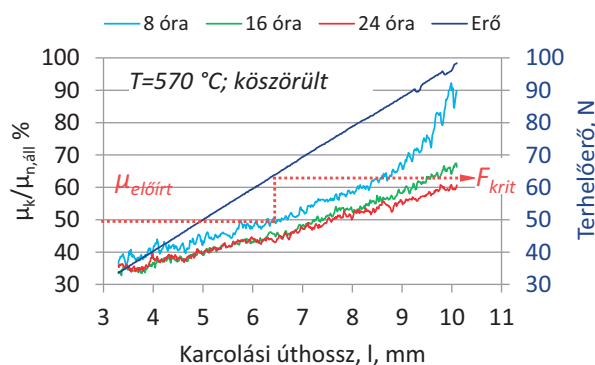
A vizsgálat lehetőséget ad a hőkezelési technológia paramétereinek optimalizálására, azaz adott előírt terhelés esetén annak gyors becslésére, hogy milyen hőmérsékletű és időtartamú karbonitridálás szükséges egy adott kritikus terhelést elviselő nitridált réteg létrehozásához. Az 520 °C-os karbonitridálással létrehozott réteg nem biztosít kellő ellenállást a 100 N nagyságú karcolóerővel szemben, míg az 570 °C-os hőntartással kialakított réteg vastagsága és minősége már nagy biztonsággal megfelelő. Ebben az esetben az optimális hőntartási hőmérséklet a két vizsgált érték között helyezkedik el [8].

3.3. Adott súrlódási tényezőhöz tartozó kritikus terhelés kijelölése

Az 7. ábrán látható diagramokból megállapítható egy olyan határterhelés is, amely esetén a karbonitridált darab kellően kis súrlódási tényezővel rendelkezik és kedvezőbb kopási viselkedést mutathat, mint karbonitridálatlan darabok esetében.

A 8. ábrán az 570 °C-on 8 h ideig karbonitridált mintára előírt megengedett súrlódási tényező értéke a kezeletlen minta állandósult értékének 50%-a, azaz $\sim 0,2$. A

diagram alapján a hasonló karcszerű igénybevétel esetén a terhelés nem haladhatja meg a 60-63 N értéket.



8. ábra. Előírt súrlódáshoz tartozó terhelés becslése

Természetesen a bemutatott egyszerű modell nem írhatja le a működő felületek valós állapotát, amikor az igénybevételek a karcvizsgálat során megvalósuló terhelési állapottól eltérőek lehetnek. A legfontosabb különbség, hogy a terhelés az üzemelő szerkezetek esetén tartósan fennáll és jellemzően ismétlődő, koptató jellegű, valamint a lényegesen nagyobb az érintkező felület. Ugyanakkor, ha figyelembe vesszük, hogy a súrlódásnak kitett szerkezetekben az enyhe és az erős kopás szakaszához tartozó súrlódási tényezők az eltérő károsodási mechanizmusok következtében jellegzetesen eltérő értékek [10], akkor a bemutatott eljárás gyakorlati jelentősége abban áll, hogy egyszerű eszközökkel, gazdaságos módon nyújt lehetőséget adott terhelési feltételek esetén a megengedhető igénybevétel becslésére.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Különböző kiinduló felületminőségű, nemesíthető 51CrV4 minőségű acél gázközegű, két különböző hőmérsékleten (520 °C és 570 °C), 3-3 technológiai idővel (8, 16 és 24 h) végzett karbonitridálásával kapott nitridált rétegeken hagyományos keménységmérési, mikroszkópos, valamint újszerű karcvizsgálati kísérleteket végeztünk.

A hagyományos vizsgálatok eredményei röviden az alábbiakban foglalhatók össze:

- A keménységeloszlási görbék az alkalmazott felületkezelésre jellemzőek voltak. Az 570 °C-os kezelekés esetén a technológiai idő növelésével a keménységletfutás meredeksége kimutathatóan csökkent, növekedett a nitridált réteg vastagsága.
- A nitridálás előtti felületminőség a keménységletfutás jellegét nem befolyásolta.
- A kisebb hőmérsékletű és rövidebb idejű felületkezelések esetén nem volt kimutatható kapcsolat a kiinduló felületminőség és a nitridált réteg mélysége között, a magasabb hőmérsékleten és hossz-

szabb idő alatt kialakult nitridált réteg mélysége viszont egyértelműen növekedett a kiinduló felületi érdesség csökkenésével.

A karcvizsgálati kísérleteink alapvető célja az volt, hogy tapasztalatot szerezzünk arra vonatkozóan alkalmazható-e a műszerezett karcvizsgálat a nitridált rétegek minősítésére.

- A műszerezett karcvizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy a karcvizsgálat során rögzített súrlódási együttható-karcolási úthossz diagramok számos gyakorlatban hasznosítható információval szolgálhatnak.
- A hőkezeletlen és karbonitridált darabok súrlódási tényező görbéinek ismeretében következtethetünk a karbonitridált felület teljesítőképességének, kopásállóságának változására a kezeletlen felülethez képest, illetve lehetőségünk van ennek számszerű jellemzésére, például a súrlódási tényező várható csökkenésének %-ban való megadásával, továbbá optimalizálhatók a hőkezelés technológiai paramétereit a kívánt rétegvastagság eléréséhez.
- Emellett meghatározható az a kritikus terhelés, amelyet a hőkezelt darab karcolás jellegű érintkezési feltételek esetén még nagyobb mértékű károsodás nélkül elvisel.

Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a karcvizsgálattal meghatározott jellemzők csak nagyvonalú becslésre adnak lehetőséget, hiszen a tribológiai rendszerek tényleges viselkedését a teljes rendszer minden elemének együttese határozza meg. A karctű jellemzői – mérete, geometriája és anyaga – pedig nem azonosak a nitridált alkatrész valós súrlódó párjának tulajdonságaival.

A műszerezett karcvizsgálatok itt közölt tapasztalatai azt igazolják, hogy a módszer a karbonitridált alkatrészek felületi sajátosságainak minősítésében egy újszerű, értékes kiegészítő eljárás lehet, amely a hőkezelés eredményességének mind minőségi, mind mennyiségi jellemzésre lehetőséget nyújt.

Emellett hasznos segédeszköz lehet a hőkezelés-technológiai paraméterek optimalizálásában is. Alkalmazásával, egy jól reprodukálható, gyors és könnyen értékelhető, számos értékes információt nyújtó vizsgálati módszerrel bővíthet a felületkezelt rétegek minősítő eljárásainak választéka.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

5. IRODALOM

- [1] David Pye: Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, December 1, 2003., ISBN: 978-0871707918
- [2] G. Krauss: Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1997. ISBN: 0-87170-370-X, p. 305-315
- [3] Nikolova, M., Danev, P., Dermendzhiev, I.: Structure, Mechanical and Tribological Properties of Vacuum Oxy-nitrocarburized 42CrMo4 Steel, J. Mats. Sci. Techn. - - 01/2013; Vol.21. (2). pp. 84-96.
- [4] Kolaříková, M., Suchánek, J.: Tribological Characteristics of Plasma Nitrided and PVD Coated Cr-Mo-V Steels, Scientia agriculturæ bohémica, 43, 2012 (2) pp. 58–63.
- [5] Kamminga, J.-D., Alkemade, P.F.A. Janssen, G.C.A.M.: Scratch test analysis of coated and uncoated nitrided steel, Surface and Coatings Technology 177 –178 (2004) pp. 284–288.
- [6] Kocsisné dr. Baán Mária: Bevonatok adhéziós kötési-erősségének vizsgálata – Karcvizsgálat, Oktatási segédlet, TEMPUS 8066/1998 p. 1-7
- [7] Sz. Szeghalmy, Zs. Koncsik, M. B. Maros, A. Fazekas, P. Barkóczy: Üvegfelületek elemzése képelemző módszerrel kiegészített karcvizsgálattal, CD Proceedings of KEPAF 2009. pp. 9.
- [8] Szilágyiné Biró A, Tisza M.: Karbonitridált 51CRV4 anyagminőség súrlódási együtthatójának mérése karcvizsgálattal, OGÉT 2012: XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, pp. 444-447.
- [9] Lőrincz, A.: Nitridált kéreg vizsgálata műszerezett karcvizsgálat segítségével, BSc Szakdolgozat, Miskolci Egyetem, 2014. pp. 1-72.+mellékletek.
- [10] Ludema, K. C: Friction, in: Modern Tribology Handbook, Vol. 1. Principles of Tribology, ed.: Bushan, B., ISBN 0-8493-8403-6, CRC Press LLC, 2001, pp205-234.

TALAJ CO₂ KIBOCSÁTÁSI MODELL VALIDÁLÁSA NEMLINEÁRIS REGRESSZIÓ ANALÍZISSSEL

VALIDATION OF SOIL CO₂ EMISSION MODEL USING NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS

Rádics János Péter¹, Jóri J. István¹, Fenyvesi László²

¹ BME Gép- és Terméktervezés Tanszék, ² NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet

ABSTRACT: Tillage has prominent role in the climate change mitigation and reversal. Our aim was to measure the initial and altered emission of soils after tillage by different tillage machines and to use the measured data to accurately determine the mathematical description of emission process. Intermediate-term field experiments were made to determine the carbon dioxide emissions of soils after tillage using different tillage machines on several experimental fields. Emission model and fitting algorithm was developed by defining environmental and biochemical laws of soil carbon dioxide emissions after tillage. As the result, regression analysis of the measured data was done to exactly describe the effect of different tillage methods on carbon-dioxide emission of soil.

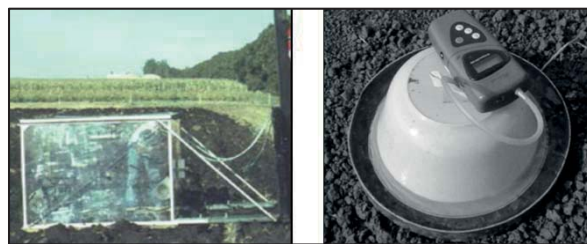
1. BEVEZETÉS

A fenntartható fejlődés olyan folyamat, amely a jelen generációk igényeit és törekvéseit úgy elégíti ki, hogy az a jövő generációk igényeinek kielégítését nem veszélyezteti [1]. Az elmúlt 150 év ipari tevékenysége Földünk légkörének olyan mértékű változását idézte elő, amelynek hosszú távú hatásai, jelenlegi ismereteink szerint csak nagy bizonytalansággal becsülhetők meg. Klímánk megváltozása jelenleg a kezdeti szakaszában van, de a korábban megszokottól eltérő időjárási jelenségek miatt, hatásait folyamatosan tapasztaljuk [2]. A változást előidéző, megnövekedett üvegházhatású gázok (ÜHG-k) légköri koncentrációjának emelkedéséért elsősorban az energia előállítás, az ipar és az intenzív mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás felelős [3]. Az üvegházhatás éves növekedését előidéző gázok mintegy 20 %-a származik a mezőgazdaságból, összességében az antropogén eredetű metán 50-75 %-a és a szén-dioxid 5 %-a. Az erdőirtások, a biomassza elégetése és a földhasználatban előidézett egyéb változások további 14 %-ot tesznek ki [4]. A klímaváltozás mérséklésében és visszafordításában a mezőgazdasági talajok művelésének kiemelt szerepe van [5]. A különböző innovatív talajművelési módszerek (no-tillage, gypepítés stb.) segítségével csökkenthető a talaj ÜHG kibocsátása, vagy másképpen növelhető az ÜHG megkötő képessége [6]. A mezőgazdasági talajok szén-dioxid kibocsátásának abszolút értéke jól megbecsülhető, de a földhasználat tekintetében inkább a művelési eljárások megváltoztatásából adódó potenciálra, a légkörbe jutó üvegházhatású gázok talajhasználatból adódó megtakarítására érdemes figyelmet fordítani, amellyel számszerűsíthető a talajhasználat klímára kedvező hatása [7, 8].

A talaj pórusterének a nedvesség által el nem foglalt részét levegő tölti ki. A talaj levegőtartalma állandóan változik. Átnedvesedéskor a pórusok egy részéből a víz kiszorítja a levegőt, a száradó talajban pedig fokozatosan nő a gázfázis térfogata. A talajok felső rétegében nagy jelentősége van a levegőztetésnek [9]. A talajlégzés során keletkező szén-dioxidot, a növények gyökérzetének légzése, a szerves anyagok lebontása során, a talajban található mikroorganizmusok tevékenysége, a fauna légzése, valamint néhány nem-biológiai folyamat, mint például a kémiai oxidáció eredményezi [10]. A talajlégzésből adódó szén-dioxid kibocsátás vizsgálatára elméleti megközelítések

[11, 12] valamint laboratóriumi és „in situ” vizsgálatok is rendelkezésre állnak [13–15]. A talaj szén-dioxid kibocsátásának közvetlen szántóföldi körülmények között történő vizsgálatára a leggyakrabban használt eljárások a kamrás módszerek. Ezek alapelve szinte minden esetben megegyezik: a vizsgált talajfelszín meghatározott területét egy kamrával fedik le, amely izolálja a mintavételi területet a környezeti levegőtől, így a talajból távozó szén-dioxid mennyisége a kamrakoncentráció változása alapján meghatározható [10].

Az egységes validációs rendszer hiánya miatt, az optimális mérőkamra kialakítás több kutatás tárgyát is képezi. Az egyes kutatók különböző alakú és méretű, általában egyedi kialakítású kamrákat használnak. A [16] 3,25 m³ térfogatú, hasáb alakú, légkeveréses kamrával végzett vizsgálatról számol be, a [17] jóval kisebb térfogatú, hengeres és hasáb alakú, légkeverés nélküli kamrák használatát javasolja, a [18] csonkakúp alakú kamra használatát mutatja be (1. ábra).



1. ábra. Hasáb [16] és csonkakúp alakú mérőkamra [19]

A tapasztalatok szerint, zárt mérőkamrák légkörtől eltérő CO₂ koncentrációja befolyásolja a talaj kibocsátási intenzitását, azonban a kibocsátás szén-dioxid mennyiségének mérésére jelenleg ez a legpontosabb eljárás. A talaj mikroklímájára gyakorolt hatásból adódó hibát minimalizálhatjuk a kamra megfelelő méretével, az inkubációs idő csökkentésével, a mért levegő kiszivattyúzásával, gáz-analizátoros mérőrendszer használatával, a kamralevegő keverésével, tapasztalaton alapuló ürítés-telítés módszerének kidolgozásával.

A szakirodalomban jelentős mennyiségű szántóföldi mérések alapján meghatározott intenzitási és kumulált érték található a bolygaton [20] és a művelt talaj pl.: [16] CO₂ kibocsátására. Hiányosak azonban azok az ismeretek, amelyek segítségével a művelési eljárások szén-dioxid kibocsátásának modellezése lehetővé válik és a pontosan meghatározható, hogy a különböző művelési eljárások és talajművelési rendszerek használata milyen irányban és mértékben befolyásolja a talaj szén-dioxid kibocsátását.

A talajlégzés modellezésének és mérésének nehézségét a talaj komplex természete adja, hiszen a talajt különböző típusú organo-minerális részecskék és aggregátumok alkotják, miközben számtalan különböző fiziológiai jellemzővel rendelkező organizmust tartalmaz. A talajtulajdonságok változását térbeli, időbeli, horizontális és vertikális eltérések jellemzik [21].

A biokémiai folyamatok, így CO₂ kibocsátás hőmérséklet függősége a 19. század végétől ismert, melyet az Arrhenius egyenlet ír le [22]. A mikroorganizmusok aktivitásában a hőmérséklet hatása a legjelentősebb, e miatt

a műveletlen talajok CO₂ kibocsátását leíró kapcsolati modellek alapja a legtöbb esetben az Arrhenius egyenlet alapján valamilyen exponenciális függvény [23], de ugyanígy megtalálhatók a mérési eredmények regresszió analízise alapján felírt empirikus összefüggések is [24].

A művelt talajok, közvetlenül a talajbolygatás után tapasztalható, a levegő bekeverés, aggregátum- és pórustérfogat megváltozás hatására bekövetkező intenzívebb CO₂ kibocsátása azonban csak kisebb mértékben függ a hőmérséklettől. A talajok művelése nem csak a talaj CO₂ kibocsátásának intenzitását, hanem a CO₂ kibocsátás hőmérséklet-érzékenységét is megváltoztatja. A művelés után mért adatok alapján, a CO₂ kibocsátás hőmérséklet-érzékenysége arányban van a talajművelés intenzitásával [25].

A művelés utáni kibocsátás kvantitatív meghatározására kidolgozott modellek a legtöbb esetben elsődrendű reakciókinetika alapján levezetett exponenciális [26, 27], vagy egyéb, empirikus összefüggések [28]. Ezek többnyire csak a katalizált enzimreakció jellege alapján, az emisszió átlagértékeire adnak közelítést, de nem veszik figyelembe a talajbolygatás hatására megnövekedett emisszió lecsengéséig, a hőmérsékletfüggő napi ingadozás jelentős hatását.

Kutatásunk fő célja, hogy mérésekkel alátámasztva megtaláljuk azt az általános kibocsátási összefüggést, amely segítségével a későbbiekben a talajművelési rendszerek pontos CO₂ kibocsátása leírható és pontosan meghatározható a hagyományos művelési eljárásokat kiváltó talajvédő technológiák alkalmazásával megtakarítható CO₂ mennyisége és ezen technológiák hozzájárulása a légkör CO₂ tartalmának csökkentéséhez.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Adatgyűjtés szántóföldi vizsgálatokkal

A talajművelést követő CO₂ kibocsátásának mérésére közepes időtartamú (26-30 óra) szántóföldi vizsgálatokat végeztünk a Fejér megyei, Enying- és a Somogy megyei, Mesztegyő térségében lévő kísérleti területeken. A kísérleti területeken kisebb parcellákat jelöltünk ki, amelyeken intenzív szántásos alapművelést és kevésbé intenzív, tarlóhántásnak megfelelő műveléseket végeztünk különböző munkagépekkel (1. táblázat).

1. táblázat. A szántóföldi mérések adatai

Mérés száma	Mérés dátuma	Kísérleti terület	Talajművelő gép
1.	2004.07.15.- 2004.07.16.	Enying "S4"	Kuhn Optimer kompakt társás borona
			Kverneland BB115 ágyeke
2.	2014.08.18.- 2014.08.19.	Mesztegyő „H1”	Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor
			Vogel&Noot váltvaforogató eke



2. ábra. A mérésekhez használt mérőkamrák

A művelés hatására kibocsátott CO₂ akkumulálására a művelt területen az 1. mérés esetében 4db, 8,3 liter térfogatú csonkakúp, míg a 2. mérés esetében 3 db 27 liter térfogatú, hasáb alakú mérőkamrát (2. ábra) helyeztünk el, a 2. táblázatban meghatározott, a kibocsátás intenzitását követő ciklusidők szerint. A természetes kibocsátás referencia értékeinek meghatározására, a művelt területen alkalmazottal megegyező számú mérőkamrával, felvettük a műveletlen terület kibocsátását is. A mérőkamrákat a terület heterogenitásának reprezentálására, minden ciklus alkalmával más-más, véletlenszerűen kiválasztott mérési ponton talajba süllyesztettük, így minden egyes mérőpont esetében biztosított volt, hogy a mérés megkezdéséig, nem történik beavatkozás a talaj mikroklímájába és a mért értékek a valós, a művelésre természetes körülmények között jellemző emissziós értékeket adják meg.

2. táblázat. A szántóföldi mérések ciklusideje

Mérés időszaka a művelés után	Mérés ciklusideje
0-4 óra	45 perc
4-9 óra	60 perc
9-30 óra	120 perc
éjszaka	240-360 perc

A mérőkamrák kihelyezése után, az inkubációs idő leteltével, a kamrákban az infravörös abszorpciós elven működő, TESTO 535 típusú CO₂ koncentráció mérő műszerrel végeztük a kamrakoncentráció meghatározását.

A vizsgálatokat a korábbi mérések tapasztalatai alapján validált „ürítéses” módszerrel végeztük, amely során a mérőkamrákat minden mérés után szellőztettük. Az ürítéses mérések esetén minden mérésorozat előtt, szükség van a környezeti levegő CO₂ koncentrációjának feljegyzésére is, mivel a vizsgált terület CO₂ kibocsátása, főként gyenge légmozgások esetén, megváltoztatja a terület feletti levegő összetételét. Így a szellőztetett kamrák CO₂ koncentrációja, az inkubációs idő kezdetén, a mérőterület feletti légköri koncentrációval egyezik meg. Ezért a kamrák kihelyezésekor, minden mérésorozat első lépéseként, a korábbi gyakorlathoz hasonlóan, a mérőterület felett körülbelül 1 méteres magasságban mértük a légköri CO₂ koncentrációt.

2.2. Mérési adatok feldolgoása

A mérési adatokat TESTO műszer [ppm]-ben adja meg, amely SI mértékegységben értelmezve [μmol/mol]. Az adatfeldolgozáshoz a kamrákban mért koncentráció értékeket, a talaj CO₂ kibocsátási intenzitásának jellemzésére, egységnyi idő és területre értelmezve kell átszámítani, amelyet az alábbi egyenlet szerint végeztük a [29, 30] alapján.

$$F_{CO_2} = \frac{dC}{dt} \frac{V \cdot p \cdot M}{R \cdot (273,15 + T) \cdot A} \quad (1.)$$

ahol F_{CO_2} a CO₂ kibocsátás intenzitása $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h}\right]$, dt a mérési idő [h], dC a CO₂ koncentráció változása a mérés időtartama alatt $\left[\frac{mol}{mol}\right]$, V a mérőkamra térfogat $[m^3]$, p a légköri nyomás [Pa], M a CO₂ moláris tömege = 44,01 $\left[\frac{g}{mol}\right]$, R az univerzális gázállandó = 8,314 $\left[\frac{J}{mol \cdot K}\right]$, T a hőmérséklet [$^{\circ}C$] és A a mérőkamra által lefedett talajfelszín $[m^2]$.

A mintavételi ciklusidőket a kibocsátás valószínűsíthető intenzitása, majd a mérési tapasztalatok alapján a kibocsátás reprezentálásának optimalizálására törekedve határoztuk meg. A ciklusidő minimumértékét a mérőműszer mérési ideje, a mérőkamrák és a mintavételi területek száma határozza meg. Az előzőek miatt a mérési eredmények az

idő függvényében nem egyenletes eloszlású diszkrét értékek. A megfelelő modell illesztéshez szükség van a mért értékek interpolálására. A mért adatok közötti értékek meghatározását alaktartó, monoton szakaszos harmadfokú interpolációval végeztük [31]. Ennek fő előnye, hogy úgy illeszti a mérési pontokra a harmadfokú Hermitepolinomot, hogy az interpolált értékek lokálisan nem futnak túl az eredetileg megadott értékeken, vagyis amennyiben lineáris interpoláció esetén az eredeti érték lokális minimum vagy maximum, az interpolált adatok esetében is az lesz [32].

2.3. A kibocsátási modell felállítása

Az analóg természeti jelenségek mért adatainak feldolgozásakor minden esetben számolni kell azzal, hogy a mérési eljárás többé vagy kevésbé, de hatással van a vizsgált jelenségre és így a mérési adatok hibával terheltek. A folyamatok leírására alkalmazott matematikai modellekkel szemben alapvető elvárás, hogy ne tanulják meg a biológiai rendszerek vizsgálata esetében az inhomogenitásból adódó mérési hibákat, hanem a jelenségeket inkább a természeti törvények alapján közelítsék meg [33].

A művelés hatására megváltozó talaj CO₂ kibocsátás időben változó folyamatának lezajlását egyrészt a műveléssel a talajba kevert oxigén által katalizált enzimek, másrészt pedig a talaj hőmérsékletének változásai által módosult sebességű enzimek együttes hatása eredményezi.

Az enzimek által katalizált reakciók folyamatát a Michaelis-Menten kinetikával szokás jellemezni [34], amely sztöchiometriai egyenlete alapján a végtermék képződésére levezethető differenciálegyenlet megoldása a következő:

$$C_{talaj}(t) = C_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (2.)$$

ahol:

- C_{talaj} = talaj mobilizálható szén tartalma $\left[\frac{g}{m^2}\right]$
- t = idő [h]
- C_0 = talaj kezdeti mobilizálható szén tartalma $\left[\frac{g}{m^2}\right]$
- k_1 = modell paraméter [-]

A mért adatok közelítésének egyik fontos szempontja a felszíni hőmérséklet hatásának és jellegének figyelembe vétele. Ugyanakkor a hőmérséklet direkt hatásának, hőmérsékletfüggő változóval való követése nem indokolt. A különböző környezeti hatások és talajadottságok által befolyásolt, mérésrel meghatározható kibocsátási értékek már tartalmazzák a hőmérséklet paramétert, hiszen a kibocsátás, a katalizált enzimkinetikai reakció várható dominanciája mellett, a hőmérséklet függvénye is. A mérési eredményekre történő, a hőmérséklet napi változásának jellegét figyelembe vevő modell illesztésével, a kibocsátás leírása pontosabb eredményt ad.

A talajhőmérséklet változása a [35] alapján az alábbi függvényvel írható le:

$$T = T_0 + A \sin\left(\frac{2\pi}{t_0} t + \beta\right) \quad (3.)$$

ahol:

- T = talajhőmérséklet [$^{\circ}C$]
- T_0 = talaj közepes hőmérséklet [$^{\circ}C$]
- A = a talajhőmérséklet változás amplitúdója [$^{\circ}C$]
- t_0 = a periódus hossza [h]
- t = idő [h]
- β = fáziseltolódás [h]

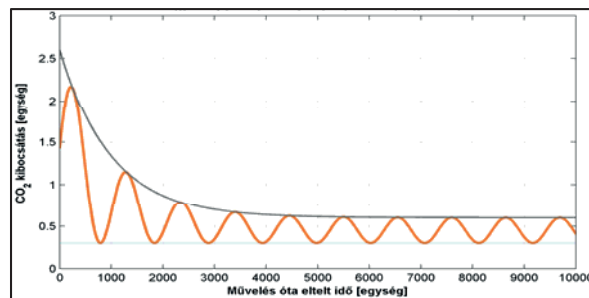
A katalizált enzimek hatását és a kibocsátás hőmérsékletfüggőségét jellemző (2.) és (3.) egyenletek egyszerű összeszorításából kapható függvény hasonló lenne a csillapított rezgőmozgás leírásához, azonban jelen esetben ez nem kielégítő, mivel az alapvető ok a művelés utáni CO₂ kibocsátás és a műveletlen talaj CO₂ kibocsátásának különbözőségére, a talajba kevert, oxigént tartalmazó levegő hatása az aerob baktériumok enzimekre, amely minden esetben pozitív irányba tolja el a függvényértékeket. Ebből következően a modell középértékének exponenciálisan csökkenő jellegét kell mutatnia, vagyis összességében a művelés utáni szén-dioxid kibocsátás modellezése egy exponenciálisan csökkenő amplitúdójú, szinuszos periodicitással változó függvénnyel indokolt, amelynek a maximum 30 órás vizsgálati időtartamot figyelembe véve, a felső burkológörbéje exponenciális függvénnyel közelíthető, míg alsó burkolója a műveletlen terület kibocsátásának minimumértéke alapján konstans függvény. Vagyis az elvégzett középtávú mérésekre alkalmazható kibocsátási modell a következő egyenlettel írható le:

$$W = \left(\left(\frac{Ae^{(t-c_0)}}{2} + h \right) \cdot (\sin(c_1 \cdot t - c_2) + 1) \right) + j \quad (4.)$$

ahol:

- W = CO₂ kibocsátás $\left[\frac{g}{m^2 h}\right]$
- A = emisszió kezdeti értékét megadó együttható [-]
- t = művelést követően eltelt idő [h]
- c_0 = az intenzitás csökkenését adó együttható [-]
- h = műveletlen terület maximális kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 h}\right]$
- c_1 = műveletlen terület CO₂ kibocsátásának periódusidejét adó együttható [-]
- c_2 = kibocsátás fáziseltolódását adó együttható [-]
- j = műveletlen kibocsátás minimumértéke $\left[\frac{g}{m^2 h}\right]$

A (4.) egyenlet grafikus megoldását a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra. A (4.) egyenlet általános grafikus megoldása

2.4. A modell illesztésének algoritmusa

A kibocsátási modell együtthatóinak meghatározásához, Matlab program segítségével, a következők szerint elvégeztük annak nemlineáris regresszió analízisét.

A kibocsátási modell regresszió analízise esetében az együtthatók viszonylag nagy száma miatt feltételezhető, hogy az együtthatók, a fizikai-kémiai alaptól elrugaszkodó értéken több érték kombinációjában is hasonló illeszkedést eredményezhetnek, másrészt véletlenszerűen megválasztott kezdőértékek esetén, lokális minimumok is elképzelhetők, amelyeket minimum érték keresés során, az együtthatók értékének iterációja nem tud átlépni. Így hiába lesz a függvény konvergens, a globális minimumot nem sikerül elérnie. Ezért a kibocsátási modellek illesztése előtt el kellett végezni az együtthatók kezdőértékeinek meghatározását, amely minden esetben a mért adatok elemzésén alapult.

A kibocsátási modell (4.) egyenlet burkológörbéinek határértékét a műveletlen terület mért adataira illesztett (5.) egyenlet szerinti szinuszos függvény határértékei adják meg.

$$W_{ref} = b_1 + b_2 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{b_3} \cdot t - b_4\right) \quad (5.)$$

ahol:

- W_{ref} = műveletlen terület kibocsátási intenzitása $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h}\right]$
- b_1 = emisszió középérték együttható $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h}\right]$
- b_2 = emisszió amplitúdó együttható $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h}\right]$
- b_3 = emisszió periódusidő együttható [h]
- b_4 = emisszió fáziseltolódás együttható [h]
- t = idő [h]

Az (5.) egyenlet együtthatóinak meghatározását a legkisebb négyzetek minimalizálásának módszerével végeztük a következők szerint:

$$\min \left\{ \sum_{t_0}^{t_{end}} \left(W_{ref}(b_1, b_2, b_3, b_4) - W_{ref\ mért} \right)^2 \right\} \quad (6.)$$

ahol:

- W_{ref} = a referenciaterrület a CO₂ kibocsátása
- $W_{ref\ mért}$ = a referenciaterrület mérésrel meghatározott CO₂ kibocsátása
- b_1, b_2, b_3, b_4 = (5.) egyenlet együtthatói

A kibocsátási modell burkológörbéihez tartozó határértékek meghatározását követően, a teljes modell illesztését, a modell kvantitatív jellege miatt, az elemi numerikus integrálok különbségének minimalizálásával végeztük a következők szerint:

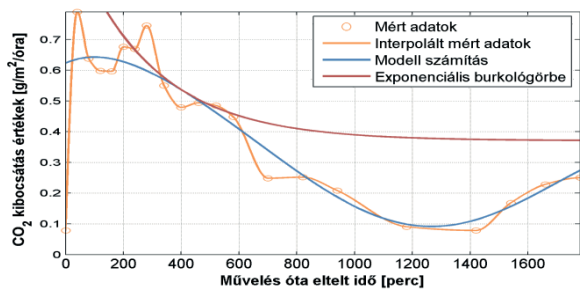
$$\int_{t_0}^{t_{end}} |W_{mért} - W(c_0, c_2, A)| dt \rightarrow \min \quad (7.)$$

ahol:

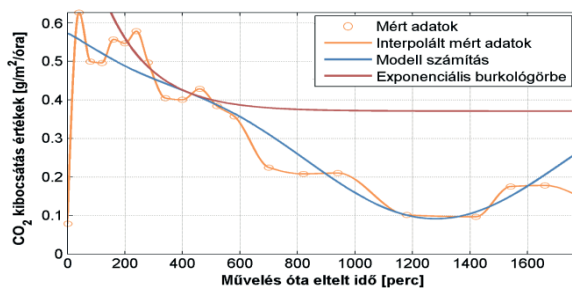
- W = talaj CO₂ kibocsátás függvénye
- $W_{mért}$ = a művelt terület mért CO₂ kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h}\right]$
- c_0, c_2, A = a (4.) egyenlet együtthatói

3. EREDMÉNYEK

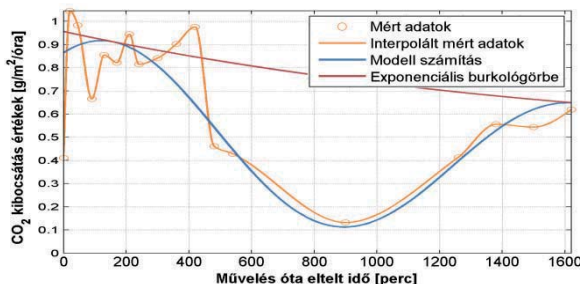
A művelt terület mért értékeire illesztett kibocsátási modell illeszkedését és az exponenciális burkológörbét az 4-7. ábrákon mutatjuk be.



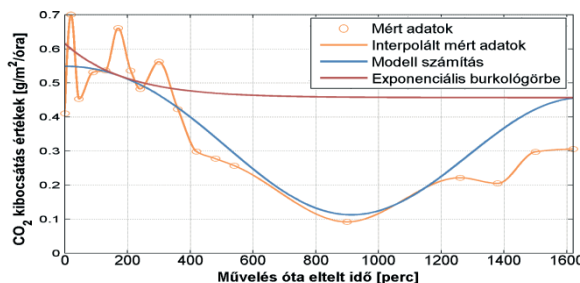
4. ábra. A kibocsátási modell illeszkedése az 1. mérés szántott területen mért adataira



5. ábra. A kibocsátási modell illeszkedése az 1. mérés tárcsázott területen mért adataira



6. ábra. A kibocsátási modell illeszkedése az 2. mérés szántott területen mért adataira



7. ábra. A kibocsátási modell illeszkedése az 2. mérés kultivátorozott területen mért adataira

A művelt terület mért értékeire illesztett kibocsátási modell illeszkedésének pontosságát, illetve a numerikus integrálok hányadosa alapján számolt, a mérés ideje alatt kibocsátott CO₂ mennyiségének eltérését a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. A modell illeszkedése és pontossága a kibocsátott mennyiségek eltérése alapján

Művelés megnevezése	Determinációs együttható (R ²)	A mért és a modell értékekből számított CO ₂ mennyiségének eltérése
1. mérés		
Szántás	0,932	0,1%
Tárcsázás	0,886	3,5%
2. mérés		
Szántás	0,779	3,2%
Kultivátorozás	0,888	11,9%

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott kibocsátási modell, a vizsgált mért értékeket, a talajok széndioxid kibocsátásánál elvárható mértékben közelíti. Ezzel a módszerrel, a klímaváltozás vonatkozásában legfontosabbnak tekinthető és a kutatás célkitűzésében is szereplő, emittált CO₂ mennyiségére kaphatunk jó közelítést egy viszonylag egyszerű algoritmus szerint elvégezhető regresszió analízissel.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az eredmények alapján levonható legfontosabb következtetés, hogy a művelt talajok CO₂ kibocsátásának modellezése, a kibocsátási jelenség alapját jelentő fizikai-biókémiai hatások figyelembe vételével megvalósítható.

A kidolgozott kibocsátási modell, valamint az ennek illesztéséhez szükséges nemlineáris regresszió analízis algoritmusai lehetőséget ad arra, hogy a gyakorlati alkalmazásban lévő, akár összes művelési eljárás emissziós hatása modellezhető legyen.

A különböző művelési eljárások hatáselemzéséhez szántóföldi mérések szükségesek. Megfelelő mért értékek esetén, az eredményekben leírt eljárással a kibocsátási modell illeszhető és a további művelési eljárások széndioxid kibocsátásának kvantitatív meghatározására nyílik lehetőség. Ez alapján új, alacsony kibocsátású eljárások és gépek fejleszthetők ki, amelyek hatása mérhetővé, alkalmazásuk támogathatóvá válik.

A kidolgozott kibocsátási modell alkalmazhatóságának korlátja a környezeti paraméterek hirtelen megváltozásának hatása. Ezért további kutatások szükségesek ezen jelenségek hatásának elemzésére, valamint a modell alkalmazhatóságának vizsgálatára.

5. IRODALOM

- [1] Ángyán, J.: *A környezet- és tájgazdálkodás agroökológiai, földhasználati alapozása*, MTA Doktori értekezés. Gödöllő: Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, 2003, p. 163.
- [2] Láng, I. et al. eds.: *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház. 220. p., 2007.
- [3] Baumert, K. et al.: *Climate data: A sectoral perspective*. Arlington, VA, USA: Pew Center on Global Climate Change, 2005.
- [4] Cole, V.: *Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions*. In: Climate Change 1995 (R. T. Watson et al.). New York: Cambridge Univ. Press, 1996, p. 745–771.
- [5] United Nations: *Kyoto Protocol to the United Nations Framework convention on climate*. United Nations, 1998.
- [6] Fogarassy, C., Lukács, Á.: *Karbondioxidgazdaságtan - avagy a tervszerű üvegházgáz csökkentés és emissziómenedzsment gyakorlati kérdései*. Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó., 2009.
- [7] Houghton, R.A. et al.: Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9 (12), 2012, p. 5125–5142.
- [8] Post, W.M. et al.: The global carbon cycle. *Am. Sci.*, Volume 78 (July-August), 1990, p. 310–326.
- [9] Stefanovits, P. et al. eds.: *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. 472. p., 1999.
- [10] Singh, J.S., Gupta, S.R.: Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot. Rev.*, 43 (4), 1977, p. 449–528.
- [11] Fang, C., Moncrieff, J.B.: A model for soil CO₂ production and transport 1.: Model development. *Agric. For. Meteorol.*, 95 (4), 1999, p. 225–236.
- [12] Jassal, R.S. et al.: A model of the production and transport of CO₂ in soil: predicting soil CO₂ concentrations and CO₂ efflux from a forest floor. *Agric. For. Meteorol.*, 124 (3-4), 2004, p. 219–236.
- [13] Anderson, J.P.E.: *Soil respiration*. In: Methods of soil analysis Part 2., Chemical and Microbiological Properties (Editors: A. L. Page et al.). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1982, p. 831–871.
- [14] Doran, J.W., Jones, A.J.: Field and laboratory tests of soil respiration. *Methods Assess. Soil Qual.*, 1996, p. 231–245.
- [15] Parkin, T.B.: *Field and laboratory tests of soil respiration*. In: Methods for assessing soil quality (Editors: J. W. Doran and E. Franco-Vizcaino). Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1996, p. 231–245.
- [16] Reicosky, D.C.: Canopy gas exchange in the field: Closed chambers. *Remote Sens. Rev.*, 5 (1), 1990, p. 163–177.
- [17] Parkin, T.B., Venterea, R.T.: Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. *Sampl. Protoc. USDA-ARS Fort Collins CO*, 2010, p. 1–39.
- [18] Zsembeli, J. et al.: CO₂-measurements in a soil tillage experiment. *Cereal Res. Commun.*, 33 (1), 2005, p. 137–140.
- [19] Kovács, G. et al.: Effect of reduced cultivation systems on the CO₂-emission of the soil. *Cereal Res. Commun.*, 36, 2008, p. 1247–1250.
- [20] Janssens, I.A. et al.: Assessing forest soil CO₂ efflux: an in situ comparison of four techniques. *Tree Physiol.*, 20 (1), 2000, p. 23–32.
- [21] Davidson, E.A., Trumbore, S.E.: Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon. *Tellus B*, 47 (5), 1995, p. 550–565.
- [22] Arrhenius, S.: Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. *Z. Für Phys. Chem.*, 4, 1889, p. 226–248.
- [23] Lloyd, J., Taylor, J.A.: On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Funct. Ecol.*, 8 (3), 1994, p. 315.
- [24] Fang, C., Moncrieff, J.B.: The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem.*, 33 (2), 2001, p. 155–165.
- [25] La Scala Jr., N. et al.: Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. *Soil Tillage Res.*, 84 (2), 2005, p. 222–225.
- [26] Reicosky, D.C., Archer, D.W.: Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil Tillage Res.*, 94 (1), 2007, p. 109–121.
- [27] La Scala Jr., N. et al.: First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tillage. *Sci Agric Piracicaba Braz.*, 66 (5), 2009, p. 650–657.
- [28] Ellert, B.H., Janzen, H.H.: Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian Prairies. *Soil Tillage Res.*, 50 (1), 1999, p. 21–32.
- [29] Meyer, W.S. et al.: *Technical Report No. 5*. Griffith, Australia: Centre for Irrigation and Freshwater Research. 79. p., 1987.
- [30] Widén, B., Lindroth, A.: A calibration system for soil carbon dioxide-efflux measurement chambers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67 (1), 2003, p. 327–334.
- [31] Fritsch, F.N., Carlson, R.E.: Monotone Piecewise Cubic Interpolation. *SIAM J. Numer. Anal.*, 17 (2), 1980, p. 238–246.
- [32] Moler, C.B.: *Interpolation*. In: Numerical Computing with Matlab. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2004.
- [33] Paláncz, B.: *Mesterséges Intelligencia Építőmérnököknek (Jegyzet)*. Budapest: BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 2011.
- [34] Nyeste, L.: *Biológiai rendszerek kinetikája*. In: Biomérnöki műveletek és alapfolyamatok. Budapest: Tankönyvkiadó, 1988, p. 274.
- [35] Völgyesi, L.: *A föld hőjelenségei*. In: Geofizika. Budapest: Tankönyvkiadó, 1982, p. 346.

CONTENTS

1. Budai D.; Tisza M.:

Development trends in aluminium car body production 5

Application of aluminium parts in automotive industry seems to be the most important possibility in mass decreasing, however manufacturers having much experience in steel processing find much difficulty when aluminium should be formed or welded. Researchers expect the most favourable results from high temperature and high velocity deformation.

2. Hajdú S.; Czibere T.; Kalmár L.:

Starting behaviour of cross flow turbine 11

Authors summarise the main operation characteristics of the cross flow turbines. They discuss some processes (among them the starting one) to be developed in order to improve the investigated turbine applicability. In spite of its simplicity the applied model gives possibility to draw important conclusions.

3. Ecsedi I.; Baksa A.:

Stress analysis of rotating disk reinforced by a ring on its boundary 15

Paper deals with the stress analysis of rotating elastic disk reinforced by an elastic ring on its cylindrical boundary surface. Formulae of stresses and radial displacement are derived and the critical value of angular velocity is also determined.

4. Farkas J.; Jármai K.:

Comparison of welded structures optimized for minimum volume and cost 19

After elaboration of the structure optimisation for minimum volume authors derived a new method of optimization for manufacturing cost. Application of different object functions gives little difference in case of simple structures, but much more in complex ones.

5. Krámer Gy.; Siménfalvi Z.; Szepesi L. G.:

Method for calculation of effectiveness and heat-request of ammonia-water based absorption cooling system 24

Paper shows a method for calculations and estimations of the effectiveness and heat request of the absorption refrigeration systems. Authors wanted to eliminate the use of complex databases and expensive professional software. In calculation procedure authors use thermal constants described in a former study.

6. Marosné Berkes M.; Szilágyiné Biró A.; Lőrincz A.; Koncsik Zs.:

Application of scratch test in the qualifying process of gas nitrated surface layer of steels 28

Using low alloyed steel (51CrV4) suitable for Q+HTT heat treating, carbonitrid-ed layers were produced by different holding temperature and time. For qualifying purpose of the surface layer authors advise not only the traditional hardness test and optical microscopic examination but a newly developed scratch test method as well.

7. Rádics J. P.; Jóri J. I.; Fenyvesi L.:

Validation of soil CO₂ emission model using non-linear regression analysis .. 36

Emission model elaborated by authors and the applied non-linear regression analysis theory make the estimation of the gas emission of soils possible. The derived model is suitable for comparison of carbon dioxide emission obtained after use of different tillage processes and machines.

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. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

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. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Zobory István

DEAR READER,

The research project, which elaborated in the 4th Centre of Excellence, entitled *Innovative Mechanical Engineering Design and Technologies* at the University of Miskolc was made in the framework of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project supported by the European Union and co-funded by the European Social Fund has been finished in 2013. The Centre aim was to develop the research potential by research in which innovative modelling, design and technological processes are implemented. This was in line with the European Union's drive to encourage innovation in the most efficient way, using environmentally friendly technologies and improve them.

The Centre of Excellence was divided into seven Scientific Workshops, which are department related at that time. On the faculty institutes have been formed and they are as follows: Material Design and Material Technology, Manufacturing Sciences, Energy and Chemical Engineering, Technical Mechanics, Machine & Product Planning and Logistics Institute. The teachers involved BSc, MSc and PhD students into the research, so that they provide a good opportunity to young people to familiarize themselves with the scientific work. During the nearly two years of operation of the Centre of Excellence, several students already provided outstanding performance and quality of so called TDK (Science Student Team) works and PhD thesis.

The scientific topics covered by the Scientific Workshops are very complex and interdisciplinary in nature. Within the design themes there can be found a new design and modelling procedures, which are developed to model the structures more efficiently and reliably and to give a better design solution. Dealing with optimization of structures and systems several optimization techniques employed. To examine the product life cycle, technical systems, powertrain architecture, principles of environmental and alternative fuel use is related to research, as well as flow and thermal laboratory and numerical modelling is linked to a number of studies. The engineering of environmentally friendly technologies, organic chemistry, as well as continued testing technologies and Energy rationalization occurs. Mechanical material tests and modelling are significant for the professional and technical computer-aided process design, as well as the precision finishing manufacturing of high strength steels. We have highlighted only some of the research topics from the different disciplines.

Within the Scientific Workshops there are twenty R & D topics, which are very diverse. Some of them approached the basic research, while others are more applicable in practice, some results were already visible, while others promise long-term results. In order to make these achievements to professional audiences available a considerable number of publications produced by researchers and reported in national and international conferences, national and international professional journals. The results are incorporated into the education of course. These articles in this journal serve the purpose showing the Scientific Centre of Excellence Workshops' latest scientific results.

The Centre of Excellence continues its activity. We want to further improve on the results obtained, the new ones to expand. For the period 2014-2020's, the emerging GINOP and EFOP calls we proposed a range of topics to be developed. Hopefully these will be built into the forthcoming tenders.

Prof. Dr. Károly Jármai

Vice rector for strategy and development, leader of the Center of Excellence

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

2014-ben megjelent cikkek

2014. 5. szám

Bodnár I.; Siménfalvi Z.

Plazmareaktor geometriai méreteinek a meghatározása egy t/nap kapacitás estén

Hajdú S.; Czibere T.; Kalmár L.:

A Betz – Lanchester - Zsukovszkij határról

Ecsedi I.; Baksa A.:

Koncentrált nyomatékkal terhelt, rugalmasan ágyazott görbe rúd vizsgálata

Farkas J.; Jármái K.:

Hegesztett kivágó prés optimális méretezése

Marcák G. Z.; Jármái K.:

Feltételes szerkezetoptimalizációs problémák megoldása heurisztikus módszerekkel

Mikáczó V.; Szepesi L. G.:

A nyomásidő függvény elméleti vizsgálata gázrobbanás esetén

Farkas B.:

Hőszivattyúhoz tervezett új típusú forgódugattyús kompresszor numerikus áramlástanai szimulációja

2014. 6-7. szám

Ács Dániel, Czifra Árpád, Fábian Réka

Szövetszerkezeti és topográfiai vizsgálatok vasúti féktuskó kopásának azonosítására

Bendefy András, Horák Péter

Fogazatok burkológörbéinek numerikus meghatározása mátrixos módszerrel

Dömötör Csaba

Természeti analógiák adatbázisának statisztikai elemzése

Eleőd András, Lovas Antal, Madarász János

Súrlódó felületek új roncsolásmentes vizsgálati módszere

Farkas Gergő, Lovas László

Körmös tengelykapcsoló kapcsolhatóságának vizsgálata

Gárdonyi Péter, Kátai László, Szabó István

A hajtás beállítási hiba és az ékszíjak melegedési viszonyainak kapcsolata

Győri Márk, Lovas László, Eleőd András

Gépészeti ábrázolástechnika kódrendszerének átalakítása a 3d modellezés prioritásainak figyelembevételével

Hegedűs József

Kísérletek az ipariforma tervezés termékfejlesztésbe történő bekapcsolására

Hegedűs Ferenc, Farkas Ajtony Béla, Leposa Norbert Krisztián, Lovas László

Vasúti kerékpártengely-csapágyak nemlineáris ellenállás nyomatókának mérési lehetőségei

Hegedűs György

Numerikus eljárások alkalmazása PLM rendszerekben

Horváth Péter, Hajdu Flóra, Rác Péter

Kádlift koncepcionális tervezése

Horváth Richárd, Sipos Sándor, Mátyási Gyula

Új erőmodell finomesztérgálás esetén

Jónás Szabolcs, Szávai Szabolcs, Bézi Zoltán

Kúszásnak kitett szerkezet elemzése

Kiss Dániel, Tomori Zoltán, Csorba Dezső, Csáki Tibor

Reverse engineering a gyakorlatban

Krámer Gyula, Siménfalvi Zoltán, Szepesi L. Gábor

Ab- és adszorpciós hűtési eljárások áttekintése és összehasonlítása

Orbán Ferenc

Karmantyú hegesztési varratának vizsgálata

Péter József

A hullámkerék alakváltozása

Pintér Ervin, Kátai László, Szabó István

Fogaskerekes hajtóműház vizsgálata

Reith Márta Janka, Stépán Gábor

Sajátfrekvenciák hangolása duplaképes szerszámbefogó-szerkezet tervezésénél

Sarka Ferenc, Döbröczöni Adám, Szilágyi Attila

Mérési módszer bemutatása fémhab anyagok rezgéscsillapító tulajdonságának meghatározásához

Simonovics János, Váradi Károly, Bujtár Péter, Berecz Tibor, Andrey Koptjusz

Csontnövekedést serkentő gyorsprototípus gyártással készült implantátumok mechanikai vizsgálata

Ferenc J. Szabó

Rakodógép alkatrészek végeelemes vizsgálata

Szávai Szabolcs, Kovács Sándor

Nagy fajlagos terhelésnek kitett folyadékfilm kenésű érintkező testek terhelési állapotának elemzésére szolgáló modellezési eljárás fejlesztése

Veres Péter, Bányai Tamás, Illés Béla

Szerelési fa költség alapú optimalizálása

Vadászné Bognár Gabriella

A marangoni-jelenség hatásának vizsgálata a tribológiában

Zalavári József

Ökodesign és designökológia. A termék születése

2014. 8. szám

Hajdú Sándor, Czibere Tibor, Kalmár László

Szabadon álló járókerekek keresztáramú turbina indítása

Farkas József

Tároló tartály hegesztett bordázott lemezes fix tetejének optimális méretezése

Jármái Károly, Farkas József

Hegesztett oszlopok és gerendák optimális méretezése költségminimumra tűzvédelemmel

Dr. Kota László, Jármái Károly

Szentjánosbogár algoritmus diszkretizálása több utazó ügynökös probléma megoldására

Kovács László, Dr. Szabó Szilárd

Belsőégésű motor töltéscsere vizsgálata 0d/1d motormodell segítségével

Krámer Gyula, Siménfalvi Zoltán, Szepesi L. Gábor

Ammónia-víz rendszer adatainak számítása abszorpciós hűtési eljárások tervezéséhez

Páczelt István, Baksa Attila

Periodikus terhelésnél fellépő kopások numerikus elemzése

Péter József, Németh Géza

Dörzs-bolygómmű rugalmas alakváltozáson alapuló terheléskegyenlítése

KÖNYVAJÁNLÓ

Farkas József–Jármai Károly: Fém szerkezetek innovatív tervezése

Gazdász Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc, 2015, 624 oldal, ISBN 978-963-358-064-6

Az innovatív tervezés során olyan szerkezeti variánsokat fejlesztenek ki, amelyek az eddigiekhez képest jobb tulajdonságokkal rendelkeznek, vagyis könnyebbek, biztonságosabbak, gazdaságosabbak.

A költségcsökkentéshez megfelelő költségfüggvény és hatékony matematikai szélsőérték-számító módszer szükséges. Kifejlesztettek egy aránylag egyszerű költség-számítást hegesztett szerkezetekre és adaptáltak több matematikai optimálós módszert.

A korszerű mérnöki teherhordó szerkezetek fő követelményei a biztonság, gyárthatóság és gazdaságosság. Optimális tervezési rendszerük biztosítja a biztonságot és gyárthatóságot a tervezési és gyártási feltételek kielégítésével és a gazdaságosságot a költségfüggvény minimalálásával.

Hogy növeljék az optimális tervezés ipari népszerűségét, ezért reális számszerű modell-problémákat alkalmaznak az innovatív tervezés bemutatására és szempontokat adnak az optimált variánsok összehasonlításával.

A biztonságos tervezés széleskörű szilárdságtani ismereteket igényel, ezeket részletesen tárgyalják. Így alakul ki a könyv három fő része: analízis, szerkezet típusok optimális méretezése és alkalmazások.

Az analízisben részletezik a hegesztési feszültségeket és alakváltozásokat, a vékonyfalú rudak szilárdságtanát, a stabilitást, cső szerkezeti csomópontokat, fáradást, rideg törést, rezgéscsillapítást, földrengésre való méretezést, tűzvédelmet és költség-számítást.

Az optimális méretezést alkalmazzák a hegesztett I és szekrénytartókra illetve oszlopokra, hegesztett kötésekre, cső szerkezeti rácsos tartókra, keretekre, bordázott lemezekre és héjakra. Részletesen ismertetik a korszerű matematikai függvény-minimaláló módszereket.

Az alkalmazásokban tárgyalnak bunkert, távvezeték-tornyot, szállítószalag-hidat, tároló tartály tetőt, szélturbina-tornyot, csővezeték-erősítést, hegesztett kivágó prést, futódaru-hidat.

A könyv hasznos segítséget ad az egyetemi, főiskolai és szakmérnök hallgatóknak, tervezőknek, gyártóknak, kutatóknak.

A könyv megrendelhető a következő módon:

Gazdász Elasztik Kiadó és Nyomda, 3534 Miskolc, Szervezet út 67.

tel. +36/46/379-530

e-mail: gazdasz@upcmail.hu

A könyv ára: 4990.- Ft/db +postaköltség

