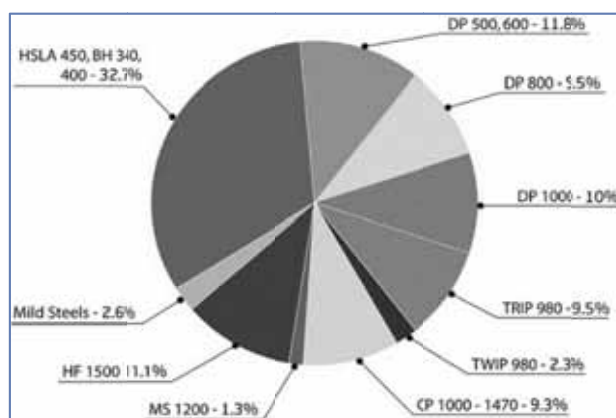
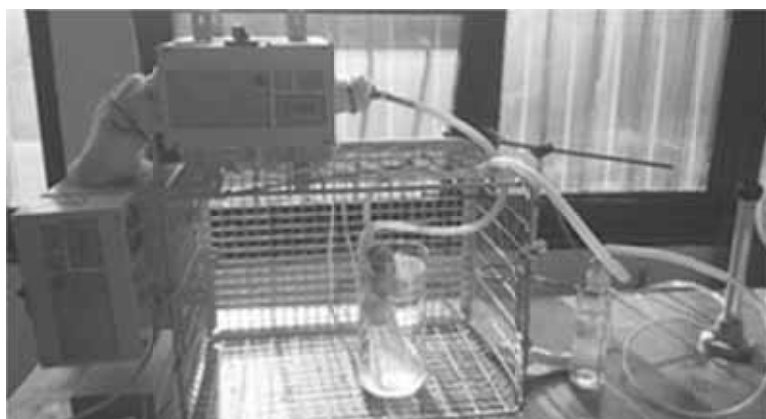


# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



**MACH-TECH**



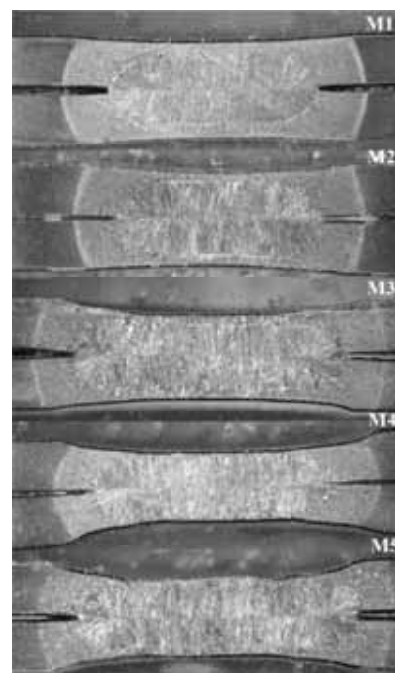
**IPAR NAPJAI**



**2017. május 9–12.**



**50 ÉVE**  
**hungexpokiállítás**





# 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON VEHICLE AND AUTOMOTIVE ENGINEERING VAE2018



23-25. May 2018. University of Miskolc, Hungary

## CALL FOR PAPERS

We are calling for papers on the technical topics that are related to vehicle and automotive engineering. The aim of the conference is to bring together the experts from both the academic and industrial areas. With reference to the automotive industry in Hungary, many global automotive suppliers and manufacturers have production and R+D facilities here, such as AUDI, BOSCH, MERCEDES-BENZ, OPEL, SUZUKI, TAKATA, etc.

### MAIN BRANCHES OF TOPICS OF THE CONFERENCE:

- **A. CONVENTIONAL POWERTRAIN & EMISSION**
  - Gasoline engines & emissions, Diesel engines & emissions, Transmissions, simulation, Virtual design and testing, Fuels & lubricants
- **B. ALTERNATIVE POWERTRAINS**
  - Hybrid vehicles, Electric vehicles, Fuel cell vehicles
- **C. VEHICLE DYNAMICS**
  - Suspension, steering & brakes, Tyres, Advanced dynamic vehicle control, Advanced driver assistant systems, Stability
- **D. MATERIALS & MANUFACTURING**
  - Advanced materials, Metal parts degradation and quality testing, Manufacturing technologies, Forming and joining technologies, Automotive casting technology, Metal casting and mould interfaces, Automotive corrosion, In depth analysis of surface multilayers, Surface engineering and coating technology, Residual stress testing, Problems in soldering and heat treatments of metal parts, Prototype building, Flexible processes, Supply chain & logistics
- **E. VEHICLE ELECTRONICS**
  - Engine control, Voice and motion recognition, Vehicle tracking and monitoring, Suspension control, Brakes management
- **F. AUTONOMOUS VEHICLES**
  - Autonomous & connected vehicles, Artificial intelligence, Internet of Things (IoT), Applications in Smart Cities, Future Trends and Emerging Technologies
- **G. NOISE & VIBRATION**
  - Engine noise, Tyre noise, Other sources of noise, Measurement techniques, Simulation and analysis
- **H. ACTIVE AND PASSIVE SAFETY**
  - Structural crashworthiness, Biomechanics, Test Methods, Safety management, Accident reconstruction, Traffic and human factors
- **I. SUSTAINABILITY**
  - Standards and regulations, Design for environment, Virtual design and testing, Inspection and maintenance, Life cycle assessment, Recycling
- **J. EDUCATION**
  - Vehicle and automotive engineering education, Dual training, Industrial practice, Educational aids
- **K. DESIGN OF VEHICLE STRUCTURES AND SURFACES**
  - Geometric modelling, Design and reconstruction of vehicle structures, and surfaces, Evaluation and correction of vehicle surfaces, Computer, graphics and image processing in visualization and design, 3D printing, and prototyping in vehicle development

The conference language is English. One person can have max. one lecture and one poster.

### PUBLICATION OF PAPERS

All papers are peer-reviewed and the accepted ones will be published in the *Lecture Notes in Mechanical Engineering* series, published by Springer Verlag, indexed by Scopus, as it was on the previous conference. The homepage of the series is as follows: <http://www.springer.com/series/11236>

The Proceedings will be available to all registered participants electronically upon arrival at the Conference.

### ADVERTISEMENTS

Those companies, who would like to show their activities, related to the conference, a poster show is available. A poster size is 1x2 m. In the Program book one can have one/some pages also for introducing themselves. Please contact to the organizers.

### UNIVERSITY OF MISKOLC

The history of the university is dated back to 1735, when it was established. The world's first higher education institution on technology, the Mining Academy of Selmecbánya, represented special knowledge and value. Nowadays it has seven faculties. Among them is the Mechanical engineering and informatics, Material science and Earth science faculties. There are about 10000 students at the university.

### TIME SCHEDULE

Event	Deadline
Call for papers	
Abstract submission	October 1. 2017.
Abstract acceptance	October 31. 2017.
Full paper submission	December 1. 2017.
Full paper acceptance	January 20. 2018.
<b>Conference</b>	<b>May 23-24. 2018.</b>

The abstracts must be written and presented in **English** language only. The abstract text must be between **300 and 500 words**.

### Registration fee:

**390 Euro** up to January 20. 2018, for PhD students  
**330 Euro** after January 20. 2018, for PhD students  
**430 Euro** for accompanying persons  
**200 Euro** for accompanying persons

### FOR FURTHER DETAILS, PLEASE CONTACT:

Prof. Dr. JÁRMAI, Károly  
University of Miskolc, Hungary  
H-3515 Miskolc, Egyetemvaros  
Tel. +36-46-565111 ext 2028  
Fax. +36-46-563399  
e-mail:jarmai@uni-miskolc.hu



### The conference homepage

<http://vae2018.uni-miskolc.hu>

E-mail: [vae2018@uni-miskolc.hu](mailto:vae2018@uni-miskolc.hu)

# GÉP

## A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

### SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

**elnök**

Vesza József

**főszerkesztő**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**főszerkesztő-helyettesek**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. 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. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

### TISZTELT OLVASÓ!

Tavaly, 2016-ban indult el a járműmérnök képzés a Miskolci Egyetemen. Nagy öröm volt látni a 37 lelkes fiatalot, amikor megjelentek. Még a regisztrációs héten szerveztünk egy csapatépítő tréninget a hallgatóknak, ahol bemutatkozás és több előadás után megtekintettük a TAKATA céget. Ennek a képzésnek az apropóján indítottuk el a Járműmérnöki és járműipari konferencia, JK2016 szervezését, mely 2016 november 17-18-án zajlott le egyetemünkön.

A 4-es Kiválósági Központ keretében *Innovatív Járműmérnöki, Energetikai és Gépészeti Tervezés és Technológiák* címmel munkálatok 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 tovább tevékenykedik, szeretnénk az elért eredményeket továbbfejleszteni, újjal bővíteni. A 2014-2020-as időszakra, a formálódó GINOP és EFOP pályázatokra számos témajavaslatot dolgoztunk ki. Remélhetőleg ezek beépítésre kerülnek az elkövetkező pályázati kiírásokba.

A cikkekben ismertetett kutató munka részben az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Az első 7 cikk a *Járműmérnöki és járműipari konferencia előadásai-ból*, valamint a 4KK kutatóinak eredményeiből adódik, a továbbiak a társegyletek kutatóinak eredményeit mutatják be.

*Prof. Dr. Jármái Károly*  
*Stratégiai és fejlesztési rektorhelyettes,*  
*a Kiválósági Központ vezetője*

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.  
Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu  
Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1027 Budapest, Fő u. 68. Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.  
Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, 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. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. • Postacím: 1900 Budapest  
Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, www.posta.hu WEBSHOP-ban  
(https://eshop.posta.hu/storefront/), e-mailen a hirlapelofizetes@posta.hu címen, telefonon 06-1-767-8262 számon, levélben  
a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldre és külföldön előfizethető a Magyar Posta Zrt.-nél: www.posta.hu WEBSHOP-ban  
(https://eshop.posta.hu/storefront/), 1900 Budapest, 06-1-767-8262, hirlapelofizetes@posta.hu

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

**A megjelent cikkek lektoráltak.**

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

# TARTALOM

1. Hanula Barna, Vizur Gábor László:

## **A MÉRNÖKKÉPZÉS EVOLÚCIÓJA – AVAGY, MIT KÍVÁN MEG TŐLÜNK A Z GENERÁCIÓ? .....5**

*Az elmúlt évtizedek társadalmi, gazdasági, technológiai fejlődése rendkívüli mértékben megváltoztatta a mérnökök munkáját, és legalább ugyanilyen mértékben változtak az egyetemre kerülő fiatalok. Nem lehet meglepetés, hogy a képzésnek jelentős mértékben meg kell változnia ahhoz, hogy alkalmazkodjon az új feltételekhez. Ehhez meg kell vizsgálni a képzés tényleges céljait, struktúráját, tartalmát és módszertanát is.*

2. Pfliegler Péter, Várnai Beáta, Márton Ádám:

## **MISKOLC MEGYEI JOGÚ VÁROS ÁTFOGÓ FEJLESZTÉSEI .....8**

*A cikkben bemutatjuk, hogy Miskolc Megyei Jogú Város az elmúlt évek átfogó fejlesztései révén a fejlett, innovatív technológiákat alkalmazó magyar és nemzetközi vállalkozások letelepítésével egy modern, élhető regionális központtá vált, amelyben jelentős szerepet jut a járműipari gyártó vállalatoknak. Miskolc a továbblépés lehetőségeit az okos és zöld várossá válás alapelvei mentén tervezi.*

3. Jármai Károly, Farkas József:

## **TEHERAUTÓ ALVÁZ-SZERKEZET MÉRETEZÉSE MINIMÁLIS TÖMEGRE ÉS KÖLTSÉGRE KÜLÖNBÖZŐ ANYAGOK ALKALMAZÁSÁVAL .....13**

*A cikkben egy Magyarországon gyártott teherautó alvázszerkezetét vizsgálták. A szerkezet acél, vagy extrudált Al-ötvözet anyagi hossz- és keresztmetszetről, valamint egy borító fedőlemezről áll. A Hillclimb optimális módszer segítségével jelentős tömeg és költségmegtakarítás érhető el, mivel csökkenti a fedőlemez vastagságát és a keresztmetszetről méretét és számát. Tervezési feltételek a hegesztett kötések kifradása, az extrudált vagy normál profilok helyi horpadása és a gyártási feltételek.*

4. Ervin Kerekes, Ákos Finta, Gábor Erdei, Miklós Tóth:

## **EMISSZIÓVÉDELEM HOSSZÚTÁVON – ÚJ KIHÍVÁSOK A BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK EMISSZIÓS FEJLESZTÉSÉBEN .....19**

*A napjainkra minden eddiginél összetettebbé és bonyolultabbá váló motorfejlesztést két fő szempontrendszer vezérli, nevezetesen a vevői elvárások és a törvényi szabályozások. Bármelyik szempontrendszert nézzük is, mindegyik bőven ellátja a motorfejlesztőket feladatokkal. Ha mégis különbséget akarunk tenni közöttük, az a kompromisszumok lehetőségében rejlik. Míg a vevői elvárások tekintetében köthetők kompromisszumok, addig a törvényi előírások esetében ez nem lehetséges.*

5. Zsemberi Andor, Siménfalvi Zoltán Károly,

Palotás Árpád Bence:

## **A TERMO-KATALITIKUS HŐBONTÁS MŰVELETI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA .....22**

*Munkánk során termo-katalitikus krakkolási technológiát vizsgáltunk különböző hőmérsékleti szinteken, amely alkalmas gumi-, műanyag-hulladék, illetve egyéb szilárd szén-hidrogén alapú nyersanyagot főként folyékony- és gáz halmazállapotú értékes frakcióvá konvertálni. A kísérleti eredményeinket alapul véve olyan általános matematikai modellt alkotunk, amely segítségével nagy biztonsággal végezhetünk vizsgálatokat is.*

6. Palotás Béla, Pogonyi Tibor:

## **KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSÉNEK EREDMÉNYEI A DUNAÚJVÁROSI EGYETEMEN .....27**

*A nagyszilárdságú szerkezeti anyagokra jellemző a finomszemcsés, sőt ultra-finomszemcsés szerkezet. A gyakorlatban ezeket az anyagokat is kell hegeszteni a szerkezetek gyártása során biztosítva azt, hogy a hegesztéskor ne jöjjön létre szemcsedurulás, vagy ne jöjjenek létre nem kívánt kiválások.*

7. Szilágyiné Biró Andrea, Tisza Miklós:

## **AKTÍV ERNYŐS PLAZMANITRIDÁLÁS BIAS FESZÜLTÉGÉNEK HATÁSA NITRIDÁLHATÓ ACÉL NITRIDÁLT RÉTEGÉRE .....34**

*Mindaddig, amíg az alkatrészek felületével szemben a kopásállóság elvárásként felmerül, a nitridálás technológiája fontos hőkezelési technológia lesz az ipari gyakorlatban és a hőkezelési kutatásban egyaránt. E publikáció célja napjaink hőkezelési kutatásainak középpontjában álló aktív ernyős plazmanitridálás során alkalmazott BIAS feszültség rétegszerkezetre gyakorolt hatásának bemutatása az elvégzett kísérletek alapján.*

8. Sója János, Sebestyén Zoltán, Czégény Zsuzsanna,

Miskolczi Norbert:

## **POLIMER HULLADÉKOK HŐBONTÁSÁRA SZOLGÁLÓ TECHNOLÓGIÁK .....40**

*A polimer hulladékok mechanikai és kémiai úton is újrahasznosíthatók. A mechanikai hasznosítás során a hulladékokat anyagában hasznosítják. Ez azt jelenti, hogy a hulladék műanyagot adott mennyiségben a gyári alapanyagba keverik, majd abból hagyományos műanyag-feldolgozó eljárásokkal állítják elő a terméket (pl.: géppalkatrész, használati tárgyat, fóliát stb.). Az újrahasznosítás másik lehetősége a hulladék műanyagok levegőtől elzárva – vagy inert atmoszférában –, magas hőmérsékleten történő termikus kezelése. A folyamat során értékes szénhidrogének, egyedi vegyületek, oldószerek, szén nanocső, hidrogén stb. állítható elő.*

9. Fenyvesi Bence:

## **VORTEX ÁRAMLÁSMÉRŐ KALIBRÁLÁSI TAPASZTALATAI .....45**

*Bemutatásra került egy vortex áramlasmérő teljes kalibrálási folyamata. Ez magában foglalta egy kalibráló berendezés tervezését és kivitelezését a megadott paraméterek alapján, a kalibrálási mérések elvégzését, majd a mérési adatok feldolgozását és azok kiértékelését. A kiértékelés során a műszer mérési elvéből adódó nemlinearitás hatásait vizsgálták. A mérési adatok feldolgozásának eredményeként kijelenthető, hogy a műszer minden vizsgálati pontban teljesítette, illetve több pontra vonatkozóan túlteljesítette az előzetes elvárásokat.*

10. Varga Attila, Dr. Fenyvesi László, Dr. Keppler István:

## **KEVERÉSI HATÉKONYSÁG VIZSGÁLATA DISZKRÉT ELEMÉK MÓDSZERÉVEL .....52**

*Azt vizsgálták, hogyan változik a keverési hatékonyság 5 különböző levélátmérővel rendelkező keverő csigák esetén adott fordulatszám mellett és menetemelkedés mellett. A szimulációkban alkalmazott szemcsehalmaz búza volt. Egy búzaszemcsét három egymásban metsző gömb segítségével modelleztek. Az eredmények azt mutatják, hogy a keverő csiga levélátmérőjének a növelése nem javítja a keverési hatékonyságot.*

# A MÉRNÖKKÉPZÉS EVOLÚCIÓJA – AVAGY, MIT KÍVÁN MEG TŐLÜNK A Z GENERÁCIÓ?

## EVOLUTION OF ENGINEERING EDUCATION – WHAT REQUIRES THE GENERATION Z?

Hanula Barna<sup>\*</sup>, Vizur Gábor László<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

*The social, economic and technological development in recent decades dramatically changed the work of engineers and at least in the same way young people entering the universities changed as well. It cannot be a surprise that the training must change significantly, to adapt to the new conditions. Those, who take part in the education need to consider the actual objectives, structure, content and methodology of training.*

### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek társadalmi, gazdasági, technológiai fejlődése rendkívüli mértékben megváltoztatta a mérnökök munkáját, és legalább ugyanilyen mértékben változtak az egyetemre kerülő fiatalok. Nem lehet meglepetés, hogy a képzésnek jelentős mértékben meg kell változnia ahhoz, hogy alkalmazkodjon az új feltételekhez. Ehhez meg kell vizsgálni a képzés tényleges céljait, struktúráját, tartalmát és módszertanát is.

Szemléltesse a frontális tekintélyelvű tanítás kockázatait a következő példa: Jürgen Tautz professzor úr egyik előadásán hangzottak el a következők:

*„Bizonyára mindenki emlékszik az általános iskolában biológia órán a méhek kommunikációja kapcsán tanultakra: miszerint, ha egy egyed táplálékot talál, visszatérve a kaptárba, egy táncba kódolva adja meg a többieknek a lelőhely távolságát és irányát.”*

Ezután feltette a következő kérdést:

*„Hölgyeim és Uraim, miért nem kérdezte meg egyikük sem a tanárt, hogy a többi méh ezt hogyan látja, hiszen a kaptárban teljes a sötétség?”*

Az erre következő mély hallgatásra a legvalószínűbb magyarázat az, hogy mindannyian tisztelték annyira a tanárt és tudását, hogy kétség fel sem merülhetett. Ezzel évtizedekre elzártuk magunkat attól a lehetőségtől, hogy teljességében megértsük a méhek kommunikációját.

Tautz professzor úr maga volt az, aki felnőtt fejjel elismert kutató professzorként elsőként tette fel ezt a kérdést, és meg is válaszolt azt. A méhek a lábukban

lévő rezgésérzékelő szervekkel a sötétben is pontosan tudják értelmezni a táncoló egyed által szolgáltatott információt.

A példa világosan mutatja, hogy a kritikus kérdések, illetve egy tanár-diák dialógus milyen mértékben gyorsíthatná az oktatás hatékonyságát, illetve tudásunk fejlesztését.

A jó módszertan a céloktól és a tartalomtól függetlenül is kulcsfontosságú az oktatás hatékonyságában.

Már a „hallgató” szavunk is utal a hagyományos egyetemi oktatás megszokott, frontális formáira, holott mai tudásunk lehetővé tenné az ennél sokkal hatékonyabb tanulási formák kifejlesztését.

Dr. Lénárd Sándor az ELTE-PPK docense és intézeti igazgatója előadásán kérdezte meg a hallgatóságot, hogy tippeljék meg, egyes tanulási módszerrel hány százaléka jegyezhető meg a tananyag.

A válaszokból az derül ki, hogy minél aktívabb szerepet játszik a tanuló, annál hatékonyabbá válik a tanulás folyamata.

### Mennyit tanulunk abból, hogy.....

- 10% elolvastunk valamit,
- 20% meghallgatunk valamit,
- 30% megfigyelünk valamit,
- 50% megfigyeljük és meghallgatjuk,
- 70% beszélgetünk róla másokkal,
- 80% a tapasztalatainkból,
- 95% elmagyarázzuk másoknak.

1. Ábra Tanulási módszerek, Forrás: Harmadik Kor Egyeteme – Dr. Lénárd Sándor: „Generációk közötti együttélés és az iskola” előadásából

A hallgatók tapasztalata is azt mutatja, hogy bár elkerülhetetlenek a nagyobb létszámú frontális előadások, ezeket is sokkal hatékonyabbá teszi, ha a hallgatóságot kérdésekkel bevonjuk, hozzászólásaikat értékeljük vagy akár jutalmazzuk, egészen odáig, hogy a tananyag egyes részeinek magyarázatát is átadhatjuk a

<sup>\*</sup> Dékán, egyetemi docens, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Széchenyi István Egyetem, Győr

<sup>\*\*</sup> Hallgató, Vezetés és szervezés MSc, Széchenyi István Egyetem, Győr

hallgatóság egyes tagjainak. Természetesen nem vitatható, hogy a kisebb csoportokban közösen végrehajtott mérések vagy a feladatok csoportos interaktív megoldása azon kívül, hogy a tudásátadás leghatékonyabb módja, erősen hozzájárul más kompetenciák fejlesztéséhez is, mint például csoportmunka, kommunikáció, problémamegoldás és önellenőrzés.

## 2. MI AZ EGYETEMI OKTATÁS TÉNYLEGES FELADATA A „TUDÁS” ÁTADÁSÁN TÚL?

Elsősorban fel kell, hogy készítse a következő generációt a világra; a gazdaságban való aktív részvételre; valós helyzetben való teljesítésre, az absztrakt gondolkodásra, konvertálható tudásra, és végül fel kell készítenie a folyamatos tanulásra és változásra.

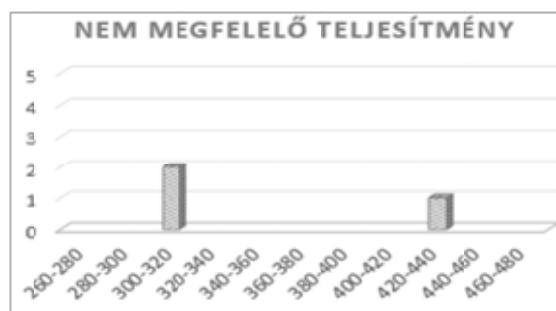
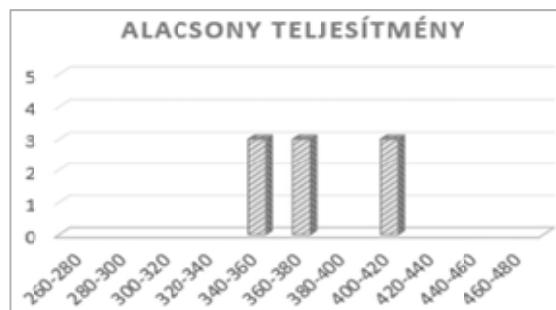
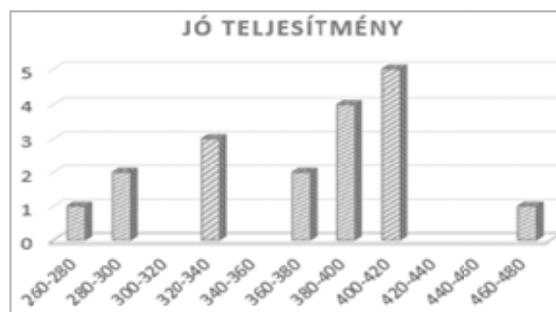
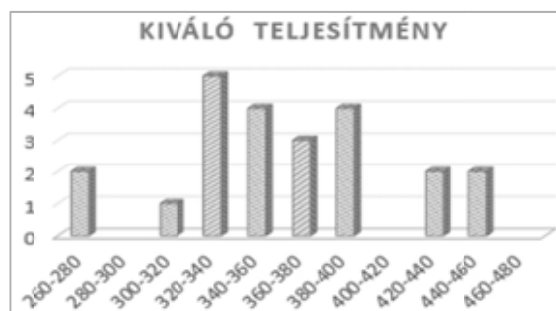
Dr. Burkhard Mönter a következő mottóra építette fel Németország első ifjúsági és gyerek egyetemét Wuppertalban: „Vegyék tudomásul, hogy a gyerekek agya biológiailag és genetikailag nem más, mint egy tanuló gép, csak és kizárólag tanulni akar. A szülők és az iskolák határtalan erőfeszítésére van szükség, hogy ezt tönkre tegyünk.” Mind a mai napig rengeteg gyerek tanul sikeresen az egyetemen.

Sok külföldi egyetemen a mérnökképzésben lényegesen nagyobb a gyakorlati tudás súlya. Általános gyakorlat, hogy a szaktanszékek élére csak olyan szakembereket neveznek ki, akik minimum 10 évet dolgoztak az iparban. Ezzel nem csak az aktuális technológia és tudás integrálódik a tananyagba, hanem a mérnöki élettapasztalat is. Ma már egyetlen gyakorló mérnök tapasztalatával rendelkező oktatónak sem jutna eszébe, hogy megoldó képleteket tanítson és különösen nem az, hogy ezeket fejből kelljen tudni.

Egy valós munkahelyi probléma megoldásánál mindenkinek az az érdeke, hogy a problémát a legkisebb idő és energia ráfordítással oldjuk meg, és ehhez nyilvánvalóan minden segédeszköz használata nem csak megengedett, hanem kívánatos. Ezt lefordítva egy hagyományos zárthelyi dolgozat szituációjára a segédeszközök tiltása azt eredményezi, hogy az adott időben csak sokkal kevésbé komplex problémák megoldását lehet elvárni. Ráadásul a nem meggátolható „puskázás” az értékelést is megbízhatatlanná teszi. Mi lenne, hogy ha egy zárthelyi dolgozat során a diákok komplex problémamegoldó készségét valós körülmények között mérnénk, azaz előre definiált segédeszközök használatával?

## 3. MIT MÉR A MAI FELVÉTELI RENDSZER?

Két sikeres magyarországi Formula Student csapat tagjainak mértük meg a teljesítményét és hasonlítottuk össze az egykori felvételi pontszámokkal.



2. ábra Az FS csapatok összesített eredményei a felvételi pontszámuk és a csapaton belüli teljesítményük függvényében, Forrás: saját szerkesztés

A vizsgálat célja azt volt, hogy megtudjuk, mennyiben alkalmas a felvételi pontrendszer arra, hogy

megállapítsa a felvételizőről egy későbbi valós munkahelyi környezetben várható alkalmasságát. A két vizsgált csapat esetében úgy tűnik, hogy egyértelmű korreláció a felvételi pontszám és a mérnöki teljesítmény között nem mutatható ki (2. ábra).

A nemzetközi szinten legnevesebb műszaki egyetemeken egyre gyakrabban tesznek fel olyan felvételi kérdéseket, amelyekre nincsen betanulható válasz. A kiértékelésnél pedig nem is az az elsődleges szempont, hogy helyesen válaszol-e a jelentkező. Azt értékelik, hogy milyen kreatívan, logikusan gondolkodva képes különböző megoldásokat generálni. Jó példa erre egy kérdés a Stanford Egyetemről:

*„Ön mit gondol, miért van a természetben olyan sok csíkos állat?”*

Minél több és jobb útvonalon indul el a felvételiző, annál jobb esélye van, hogy felveszik.

Előadásomat azzal kezdtem, hogy a társadalmi, gazdasági, technológiai fejlődés megváltoztatja a mérnöki munka jellegét és azokat a fiatalokat is, akik mérnöki tanulmányokra adják a fejüket. De ez a változás nemcsak nem tekinthető lezártnak, hanem egyre gyorsuló. Az Y generáció már gyakorlatilag eltűnőben van az egyetemeken, és az új hallgatók egyre inkább a Z generációhoz tartoznak.

Ahhoz, hogy hatékonyan oktassuk őket érdemes megvizsgálni a sajátosságaikat. A New York-i Sparks & Honey reklámügynökségnek köszönhetően jelent meg ez a „használati utasítás”:

- Fogadd el, hogy különbözőek (etnikai, nemi, vagy akár a divat tekintetében);
- Beszélj velük képekben (emojik, szimbólumok, képek, videók), ahogyan ők szoktak;
- Kommunikálj velük több kisebb adagban;
- Ne beszélj velük lekezelően, beszélj velük úgy, mint a felnőttekkel, akár globális témákról is;
- Úgy gondolják, hogy bármikor elmondhatják véleményüket, és befolyásolni szeretnék pl. a családi döntéseket;
- Barkácsolj, vagy segíts nekik barkácsolni, ők vállalkozó kedvűek;
- Támogasd az „én vállalkozó akarok lenni” szellemiségüket;
- Legyél szerény;
- Határozd meg a korlátokat és a preferenciákat;
- Működj velük együtt és segítsd őket, hogy másokkal is együttműködhesse;nek;
- Fejtsd ki a mondanivalódat több szempontból is;
- Kommunikálj velük „Livestream”-ben, vagy adj ehhez hozzáférést;
- Tanulj a neten hatékonyan keresni, ők mindent a neten keresnek;

- Beszélj velük az értékekről (érdeklí őket a dolgok ára);
- Állíts fel nekik közösségi célokat, amiért harcolhatnak;
- Legyen az otthonod „fenntartható”;
- Segítsd őket, hogy szakértelemre tehessenek szert, mert szakértők akarnak lenni;
- Csigázd fel az érdeklődésüket (használd játékokat, fejtörőket, lepd meg őket);
- Tartsd fenn a kíváncsiságukat.

Csupa olyan tanács, ami sok tekintetben idegenül hat a jövő mérnökeit felkészítő intézményekben és az oktatók számára is. Egy új világ formálódik, amire nem lesz könnyű felkészíteni a ma még jobbára ismeretlen Z generáció tagjait olyan környezetben és olyan oktatókkal, amely és akik mégoly nemes tradíció, évszázadon keresztül változatlan értékek szerint működnek. Ráadásul erre az új világra minden tekintetben a változás – sőt a gyorsuló változás lesz a jellemző. Ez azt is jelenti, hogy a mérnökképzés néhány éves időtartama alatt is olyan változásoknak leszünk nemcsak tanúi, hanem remélhetőleg aktív előmozdítói, amelyek a képzési dokumentumokba foglalt célok, tartalmak és módszerek folyamatos megújítását kényszerítik ki. Az előadásomban említett – ma még sokak által talán – rebellisnek tekintett gondolatokat néhány év múlva már talán konzervatív eszmének tekinti a következő generáció. Már itt vannak a Z generáció tehetséges tagjai, akik belátható időn belül az én mostani előadásom kritikájával kezdik mondandójukat. Remélem megérjük, hogy tapsolhatunk az akkori rebellis gondolatoknak!

Készüljünk rá!

#### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni, hogy a miskolci Járműmérnöki és Járműipari Konferencia részeként ez az anyag elkészülhetett és azt előadhattam.

# MISKOLC MEGYEI JOGÚ VÁROS ÁTFOGÓ FEJLESZTÉSEI

## COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF TOWN MISKOLC

Pfliegler Péter\*, Várnai Beáta\*\*, Márton Ádám\*\*\*

### ABSTRACT

The article explains that in recent years the town Miskolc through comprehensive improvements developed using innovative technologies. Through the settlement of Hungarian and international companies it has become a modern, viable regional center, which plays a major role in automotive industry. Moving forward the town Miskolc plans to become a “green and clever” city.

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatjuk, hogy Miskolc Megyei Jogú Város az elmúlt évek átfogó fejlesztései révén a fejlett, innovatív technológiákat alkalmazó magyar és nemzetközi vállalkozások letelepítésével egy modern, élhető regionális központtá vált, amelyben jelentős szerep jut a járműipari gyártó vállalatoknak. Miskolc a továbblépés lehetőségeit az okos és zöld várossá válás alapelvei mentén tervezi.

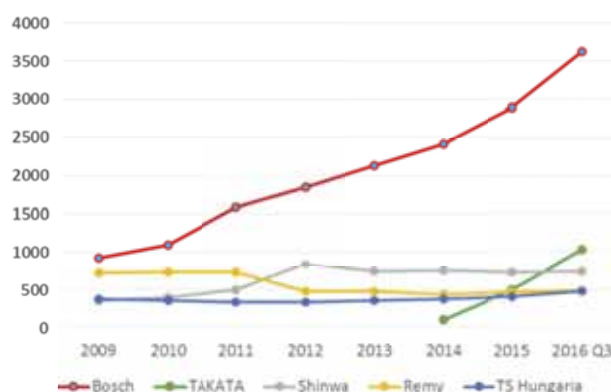
### 1. MISKOLC – A LEHETŐSÉG

Miskolc többé már nem a „vas és acél hazai fellegvára”, hanem egyre növekvő pont Magyarország autóiipari térképén. A gazdasági szerkezetváltás sikeres véghezvitele és a város gazdaságának növekedési pályára állítása kiemelkedő eredmény, amelyben fontos szerepet játszottak a városban letelepült és megerősödött járműipari vállalatok. Egyértelmű célkitűzésünk és reális lehetőségünk, hogy – együttműködve a Miskolci Egyetemmel és a helyi kutatóintézetekkel – gyártóbázisból járműipari kutató-, fejlesztő központtá váljunk.

Ez olyan történelmi lehetőség, amivel tudunk is, és fogunk is élni. Kiváló nemzetközi termelő nagyvállalatok választottak már minket, amelyek folyamatosan fejlesztenek, és élénk az érdeklődés Miskolc új iparterületei iránt is. Emellett vannak olyan helyi kis- és középvállalkozások, amelyekben megvan a

potenciál, hogy a nagyok versenytársai legyenek vagy már konkurensseikké is váltak.

A város gazdasága nagyon sokszínű, ugyanakkor legnagyobb termelő cégei – egy kivétellel – mind az autóiipari szektorba tartoznak. A folyamatos gyarapodásnak, fejlesztésnek köszönhetően az elmúlt években jelentősen nőtt a foglalkoztatottak száma, csak ebben a szektorban közel tízezren dolgoznak Miskolcon (1. ábra).



1. ábra: A legnagyobb miskolci járműipari cégek hivatalos létszámadatai

Forrás: Miskolc Holding

A kedvező miskolci gazdasági környezetet legjobban az mutatja, hogy a város iparüzési adóbevétele adóemelés nélkül is folyamatosan és nagymértékben növekszik. Új termelőüzemek, csarnokok épülnek, fejlődik az infrastruktúra, növekszik a befektetői kereslet az ipari parkok iránt. Mindemellett a város szorosan együttműködve a vállalatokkal, az Egyetemmel és az Iparkamarával folyamatosan új programokat indít, hogy biztosíthassa a cégeknek a megfelelően képzett helyi munkaerőt.

Magyarország egyik legjobb adottságokkal rendelkező nagyvárosaként bátran kijelenthetjük: Miskolc a Te helyed!

\* alpolgármester, Miskolci Megyei Jogú Város Önkormányzata

\*\*gazdaságfejlesztési szakértő, Miskolc Holding Zrt.

\*\*\*személyi titkár, Miskolci Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal



## 2. MISKOLC – FEJLŐDJÜNK EGYÜTT

Miskolc az elmúlt években minden szempontból dinamikus fejlődésnek indult. A gazdaság növekedésével lépést tart az ipari parkok és a városi tulajdonú oktatási intézmények fejlesztése is. A járműipar élen jár a high-tech és a környezetbarát fejlesztések terén. Miskolc magyarországi smart city mintaváros és elkötelezett a zöld fejlesztések (Green City) iránt. A kiegyensúlyozott élethez hozzátartozik az eredményes munka mellett a szabadidő hasznos eltöltése, amelyhez a város megújuló turisztikai attrakciókkal, számos, határon túl is jó hírű fesztivállal és egyre bővülő sport- és kulturális kínálatl járul hozzá.

### IPARI PARKOK FEJLESZTÉSE

Miskolcon két önkormányzati tulajdonú zöld mezős ipari park, valamint két magántulajdonú (Európa Center és Diósgyőri Ipari Park) barna mezős ipari park működik.

Az önkormányzati tulajdonú Miskolci Ipari Park területe napjainkra elérte a 224 hektárt, itt található többek között a BOSCH cégcsoport, a Remy Automotive Hungary és több logisztikai vállalkozás. A területén működő cégek folyamatos fejlesztései következtében mára már csak kisebb vállalkozások számára tud helyet biztosítani.

A Miskolc Déli Ipari Park 93,5 hektáros területén a TAKATA világcég létesített gyárüzemet 2014 októberében, amelynek munkavállalói létszáma 2016 szeptemberére már elérte, sőt meg is haladta a 2018-ra tervezett létszámot. A Déli Ipari Park 2015-ben megkapta „Az év befektetőbarát ipari parkja” címet, köszönhetően annak is, hogy területén a TAKATA rekordidő, alig 10 hónap alatt valósította meg az elmúlt évek egyik legnagyobb hazai zöldmezős beruházását.

A már üzemelő ipari parkok mellett zajlik egy, a jelenlegieknél nagyobb iparterület kialakítása, amely kiváló logisztikai adottságainak köszönhetően - vasúti fővonal és autópálya közelsége - ideális helyszíne lehet a város iránt érdeklődő kis-, és nagyvállalatoknak. A terület fejlesztése elengedhetetlen Miskolc és térsége további gazdasági erősödéséhez. Kedvező hatással lesz a város, a régió, valamint Magyarország versenyképességére is azáltal, hogy alkalmas akár több ezer fő foglalkoztatását eredményező nagyprojekt megvalósítására is.

Mutatja a város és a helyi ipar sikeres kapcsolatát az is, hogy Miskolc az ország eddig egyetlen városaként 2016-ban harmadik alkalommal szerezte meg a Befektetőbarát település címet.



### OKTATÁSFEJLESZTÉS

A városban teljes körű oktatási intézményrendszer működik. Magyar és idegen nyelvű óvodától a Miskolci Egyetemig, amelyen már 4 karon duális képzés zajlik. Budapest után Miskolcon jár a legtöbb diák<sup>1</sup> szakiskolába és szakgimnáziumba, ami kiegyensúlyozott szakember-utánpótlást biztosít a cégek számára.

### MISKOLCI EGYETEM

A komoly múlttal és hagyományokkal rendelkező Miskolci Egyetem a világ első műszaki felsőoktatási intézményének jogutódja. Napjainkban hét egyetemi karon van képzés, a mérnökhallgatókat a Műszaki Földtudományi Kar, a Műszaki Anyagtudományi Kar, a Gépészmérnöki és Informatikai Kar oktatói és kutatói várják jól felszerelt laboratóriumokban. A társadalomtudományi karokon jogász-, közgazdász- és bölcsészképzésben vehetnek részt a diákok. Ezek mellett az Egészségügyi Karon és a Bartók Béla Zeneművészeti Intézetben van felsőfokú képzés az intézményben.

A Járműmérnöki alapszakot 2014-ben akkreditálták.

### MISKOLCI FELNŐTTKÉPZŐ KÖZPONT

A Miskolci Felnőttképző Központ alapintézménynek számít a szakmai középfokú oktatásban és a felnőttképzésben. Igényesen kialakított gyakorlati helyei, felszerelt műhelyei és laboratóriumai biztosítják a régióban működő szakképző iskolák diákjainak gyakorlatorientált képzését. A nappali oktatás kiszolgálásán túl a felnőttképzés és átképzés területén is magas színvonalú szolgáltatásokat nyújt, OKJ-s szakképesítést adó programok mellett céges-, kompetencia alapú és nyelvi képzések megvalósításával is foglalkozik. Emellett részt vesz az államilag támogatott munkaerő-piaci képzésekben. Kiemelt szakmacsoportjai a gépészet, informatika és elektronika. A Felnőttképző Központ modern gépparkja lehetőséget kínál termelő folyamatok végrehajtására, szabad kapacitásuk lehetővé teszi a bér munkát is – elsősorban CNC gépeken esztergálási, marási és szikraforgácsolási feladatokban. Az intézmény szoros kapcsolatokat ápol a piaci szereplőkkel a mennyiségi és a minőségi igényeik minél magasabb színvonalú, gyors kielégítése érdekében.

<sup>1</sup> Tanulók száma a nappali szakképzésben – vidéki megyeszékhelyek. KSH, 2014

## **FOGLALKOZTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS**

Napjaink gazdaságának kulcskérdése a szakképzett munkaerő rendelkezésre állása. Miskolc Megyei Jogú Város Foglalkoztatási Paktum Programja a városra és térségére kiterjedő formalizált együttműködés a munkaerőpiacon érintett szervezetek és intézmények között. Miskolc MJV Önkormányzata, a Miskolc Holding Zrt., a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kormányhivatal, a Kereskedelmi és Iparkamara, valamint a város vállalkozásai, oktatási és civil szervezetei közösen kidolgozott foglalkoztatási stratégia mentén, valós munkaerő-piaci keresleten és kínálaton alapuló képzési, oktatási és humán fejlesztési, illetve foglalkoztatási programokat valósítanak meg. A fejlesztés eredményeként Miskolc MJV Önkormányzata tovább szeretné emelni a helyi foglalkoztatás szintjét és fejleszteni kívánja a város értékteremtő vállalkozásait. A Paktum 2016-2021 között tartó megvalósítási időszakában elvárt eredmény, hogy legalább 2014 fő potenciális munkavállaló kapcsolódjon be a programokba, de a város célja, hogy ennél lényegesen több személyt megszólítson és tegyen alkalmassá a városban működő cégek részéről jelentkező munkaerőigény gyors és megfelelő szintű kielégítésére. Célcsoportjaink: a 25 év alatti fiatalok, a 30 év alatti pályakezdők, az 50 év feletti, az alacsony iskolai végzettségűek, GYED-ről, GYES-ről, ápolási díjról visszatérők, gyermeküket egyedül nevelők, a roma nemzetiségűek és a megváltozott munkaképességű személyek alkotják. A program az Európai Szociális Alap (ESZA) 2,943 milliárd forintos támogatásával valósul meg.

### **3. BEST PRACTICE PÉLDÁK**

#### **SANOFI – 5 MILLIÁRD FORINTOS FEJLESZTÉS**

Városunk egyik kiemelkedően fontos partnere a francia érdekeltségű Sanofi Aventis Zrt. A Miskolcon, a Bükk "kapujában" lévő, mintegy ötszáz embert foglalkoztató gyár a vállalat magyarországi termelésének jelentős részét adja, évente közel 90 milliárd forintértékben állít elő steril körülmények között injekciós készítményeket és egyszer használatos fecskendőket.

A 2016. november 24-i bejelentés szerint a Sanofi 5 milliárd forintból fejleszti miskolci gyárát: nagy sebességű fecskendőtöltő és -átnéző gépsort telepít a Csanyik-völgyben működő üzemébe. A bejelentés különös jelentőségét az adja, hogy a Chinoin 30 évvel ezelőtt építette fel gyárát Miskolcon, a Sanofi pedig 25 éve vásárolta meg a magyar gyógyszeripari vállalatot.

## **ROBERT BOSCH – ÚJABB REINVESTÍCIÓ MISKOLCON**

Magyarország egyik legjelentősebb, egyben az egyik legdinamikusabban fejlődő autóiipari beszállítója, a Bosch immár három (jármű)ipari vállalattal erősíti Miskolc és a régió gazdaságát.

A Robert Bosch Energy and Body Systems Kft., valamint a Robert Bosch Power Tool Kft. mellett 2016. augusztus 1-től megkezdte működését a Robert Bosch Starter Motors and Generators Kft. is. A cég önindítókat és generátorokat gyárt és szállít világszerte partnereinek, köztük a kiemelkedő minőségű, szintén Magyarországon kifejlesztett start-stop üzemmódú indítómotort.

A Bosch harmadik fejlesztési bázisa igazi mérföldkő volt a magyarországi cégcsoport számára: az ehhez kapcsolódó, 2017-ig tervezett beruházások értéke közel 600 millió forint lesz.

A fejlődés eredményeként a munkavállalók száma folyamatosan nő: 2009 óta közel megkétszereződött. A vállalat immár hosszú ideje a régió egyik legfontosabb munkáltatója, és elsődleges célja, hogy a legkiválóbb termékeket szállítsa vevőinek, amelyben nagy szerepe van az idén mintegy 100 főre bővülő fejlesztési csoportnak is. A megfelelő végzettségű és tudású mérnökök képzése érdekében a cégcsoport évek óta szorosán együttműködik a Miskolci Egyetemmel.

### **MODERN VÁROSOK PROGRAM**

A Kormány 2015. április 21. napján együttműködési megállapodást kötött Miskolc Megyei Jogú Város Önkormányzatával. A szerződés értelmében megvalósul a Miskolc és Kassa közötti gyorsforgalmi összeköttetés, a város részt vesz és fejlesztéseket hajt végre az „Okos Város” keretén belül, létrejön egy új iparterület, kutatási, fejlesztési és innovációs projektek valósulnak meg, valamint új turisztikai fejlesztések erősítik a város idegenforgalmi kínálatát.

### **MISKOLC: SMART&GREEN**

A miskolci városvezetés egyértelműen elkötelezett a 21. századi követelményeknek megfelelő intelligens és környezetbarát városépítés, városfejlesztés mellett. Jelentős beruházások történtek, és újabbakat is tervez a város a közösségi közlekedés, az ivóvíz-szolgáltatás és az energetika terén. Az elmúlt években 38 milliárd forint értékben fejlesztettük a villamos közösségi közlekedést. Okos megálló és utastájékoztatói rendszer és ingyenes wifi hálózat épült ki. Megújult a 11 km-es pálya, a keresztezésekben intelligens forgalomirányítási rendszer került beépítésre, emellett 31 új villamost vásárolt a város. Idén a 75 db CNG busz – amelyek zéró károsanyagot és 98%-kal kevesebb CO<sub>2</sub>-t bocsátanak ki, mint a diesel üzeműek – beszerzésére és a töltőállomás építésére 9 milliárd forintot fordítottunk és jelenleg zajlik a város

kerékpárút-hálózatának jelentős bővítése is. A következő évek közlekedési nagy beruházása az Intermodális Csomópont és környékének megépítése lesz a Tiszai pályaudvaron.



Forrás: minap.hu

Miskolc a European Green City Movement tagja és valamennyi beruházásánál szem előtt tartja annak alapelveit.<sup>2</sup> Ennek a gondolkodásmódnak máris látványos eredményei vannak. Ilyen, hogy az elkerülő utak megépítése révén nagymértékben csökkent a levegő szennyezettsége. A Miskolctapolcán elkészült világszínvonalú ultraszűrőnek köszönhetően több tízezer ember ivóvíz-ellátásának biztonsága jelentősen javult. A városnak ebben a kifejezetten zöld környezetben épült fel Európa egyetlen green city akkreditált strandja is. Miskolc egyedülálló eredményeket tud felmutatni a megújuló energiák felhasználása terén is: a távhővel fűtött lakások több mint felének, számos közintézménynek, kórházaknak, és a déli ipari park épületeinek fűtése is zöld energiával történik. Ennek döntő része a mályi geotermikus kútból származik, ezt kiegészíti a biomasszából és a depóniagázból nyert energia is.

#### TURISZTIKAI FEJLESZTÉSEK

Miskolc elképesztően gazdag természeti, épített és kulturális értékekben. Az elmúlt években a turizmus lett a város egyik legdinamikusabban növekvő ágazata, amelyben kimutatottan nagy szerepe van a felújított, megépült létesítményeknek. Ilyen például a közel 3 milliárd forintból újjáépített diósgyőri vár és a lillafüredi Palotaszálló alatti függőkert. A vár mellett már megépült a kulturális és lovassport rendezvényeknek egyaránt remek helyszínt biztosító Lovagi Tornák Tere és tervezés hamarosan megkezdődhet a vár továbbfejlesztése is. Sok látogatót vonz a már említett tapolcai strand is, amelynek bővítése már szintén elkezdődött.

<sup>2</sup> <http://miskolc.hu/sites/default/files/dokumentumok/csatolmanyok/greencityalapelvek.pdf>

Az épített attrakciók mellett széleskörű a város kulturális kínálata is. A változatos egyházi rendezvények, a minden korcsoport számára rendelkezésre álló színvonalas múzeumi kínálat mellett a városban minden évszakra jut legalább egy országos hírű fesztivál, és minden hónapban tartunk kisebb fesztiválokat, rendezvényeket is. Évek óta nemzetközi hírnévnek örvend a Bartók Plusz Operafesztivál és már a Jameson Cinefestet is a filmes szakma legjobbjai között tartják számon.

#### SPORTFEJLESZTÉSEK

Az élhető városhoz és az egészséges életmódhoz is szervesen kapcsolódik a sport. A városvezetés a sportot mindig is a kultúra részének tekintette. Az elmúlt évek korszakos jelentőségű sportfejlesztései kapcsán megépül az új diósgyőri stadion, az MVSC sporttelep, megújul a Szentpéteri kapui „Papp Jóska pálya”, a DVTK birkózói új csarnokba költözhetnek, az Egyetemvárosban pedig már átadták az új atlétikai központot.

Ezek a beruházások „csak” a miskolci stadionprojekt részei, de említésre méltók még a miskolctapolcai, selyemréti építkezések, vagy éppen a DVTK Akadémia fejlesztése, melyek mind-mind azt üzenik, hogy a sport, a mozgás kiemelt szerepet játszik a város és lakóinak mindennapjaiban is.

A DVTK stadion csaknem 14 milliárd forintos fejlesztésének keretében egy 15 ezer ülőhellyel rendelkező, multifunkcionális, UEFA IV-es besorolású stadion építése kezdődött meg a közelmúltban. A megépülő 27.000 m<sup>2</sup> területű aréna és a hozzá tartozó mintegy 28.000 m<sup>2</sup> terület (utak, parkolók) várhatóan alig 14 hónap alatt, 2017 végére elkészülhetnek.



Forrás: minap.hu

#### 4. MISKOLC – A TE HELYED!

A város hármas egysége – ipar, tudás, kultúra – szemlélteti Miskolcnak a hagyományokra és felhalmozott tapasztalatokra építő, a mai kihívásoknak is minden téren megfelelő, innovatív hozzáadott értéket teremtő előrehaladását. A stabil gazdasági helyzet, a rendelkezésre álló szakképzett munkaerő, a Miskolci Egyetem és a kutatóintézetek tudásbázisára építő, a gazdaság minden területén megvalósuló sikeres együttműködés segíti a

városvezetést terveik megvalósításában. Ebben van kulcsszerepe a hazai és nemzetközi befektetők letelepítésének, a frissen végzett szakemberek helyben tartásának, valamint annak, hogy Magyarország Kormánya Miskolcot és térségét 2013-ban „kiemelt fejlesztési központtá” nyilvánította.

A Miskolcra érkező hazai és külföldi szakemberek, menedzserek számára a város gyönyörű természeti környezetet, biztonságot, megfelelő lakhatási feltételeket, sport- és rekreációs lehetőségeket, a munkavállalókkal érkező gyermekek számára óvodától az egyetemig idegen nyelvi képzést kínál. És fiatalos, a jövőt építő, biztos munkát.

**Legyen, legyél részese Miskolc jövőjének, legyen ez a közös jövőnk!**



# TEHERAUTÓ ALVÁZ-SZERKEZET MÉRETEZÉSE MINIMÁLIS TÖMEGRE ÉS KÖLTSÉGRE KÜLÖNBÖZŐ ANYAGOK ALKALMAZÁSÁVAL

## OPTIMUM DESIGN OF A TRUCK FLOOR FOR MINIMUM MASS AND COST, USING DIFFERENT MATERIALS

Jármai Károly\*, Farkas József\*\*\*

### ABSTRACT

*In the article the floor structure of a truck produced by a company in Hungary has been investigated. The structure consists of steel members, or extruded Al-alloy longitudinal and cross members as well as a tread deck plate. Using an optimum design process, namely the Hillclimb optimizer, significant mass and cost savings may be achieved by decreasing the deck plate thickness and changing the profile, dimensions and number of cross members. Comparison is made using the combination of the steel and aluminium, or using only steel alone. Design constraints relate to fatigue stress range of welded joints, to local buckling of extruded or normal profiles and to fabrication size limitations.*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy Magyarországon gyártott teherautó alvázszerkezetét vizsgálták. A szerkezet acél, vagy extrudált Al-ötvözet anyagú hossz- és keresztartókból, valamint egy borító fedőlemezből áll. A Hillclimb optimáló módszer segítségével jelentős tömeg és költségmegtakarítás érhető el, mivel csökkenti a fedőlemez vastagságát és a keresztartók méretét és számát. Összehasonlítás történik acél és alumínium kombináció, vagy kizárólag acél alkalmazása esetén. Tervezési feltételek a hegesztett kötések kifáradása, az extrudált vagy normál profilok helyi horpadása és a gyártási feltételek.

### 1. BEVEZETÉS

Vannak olyan italszállító teherautók, ahol a teherautó alváz-szerkezet egy olyan acélváz, amelynél két csavarozott hosszanti gerenda között keresztgerendák vannak elhelyezve. Ezek lehetnek szerkezeti acél gerendák, vagy Al-ötvözetek. Az alváz-szerkezet három részből áll az 1. ábrának megfelelően: hosszirányú tartók, hegesztett keresztgerendák, fedőlemez a raklap-terhelés felvételére. A keresztmervítők anyaga Al-ötvözet AlMgSi0.7 a német DIN 1725 [1] szerint,  $R_{p,0.2}$

= 215 MPa a DIN 1748 [2] szerint (a nemzetközi ötvözet típus 6005A). A padlót jelentő fedőlemez anyaga szintén egy Al-ötvözet, AlMg2.5 (nemzetközi ötvözet típusú 5052). Ezek a fő szerkezeti részek vannak a szélső keretre rögzítve, mely tartja a tetőszerkezet, az oldalfalak és az ajtók súlyát. Az alváz szerkezet optimalizálását végeztük el korábban alumínium alkalmazása esetén. Ezt a számítást korszerűsítettük és mind alumínium, mind normál acél alkalmazását vizsgáltuk. Annak a ténynek köszönhetően, hogy a kifáradási határ a szerkezeti acél esetén az Eurocode 3 szerint legfeljebb 690 MPa és IIW ajánlás szerint 960 MPa folyáshatárig nem változik, nem érdemes alkalmazni nagyobb szilárdságú acélokat, csak normál szerkezeti acélt.

Célunk az, hogy csökkentsük az anyagköltséget az alváz-szerkezet megváltoztatásával, az alkalmazott keresztartó profilok optimális mérete és száma, valamint a padlólemez optimális vastagsága meghatározásával, szerkezeti acél, vagy alumínium figyelembe vételével.

### 2. TERHELÉSI ESETEK

#### 2.1 A vízszintes alvázra ható erők

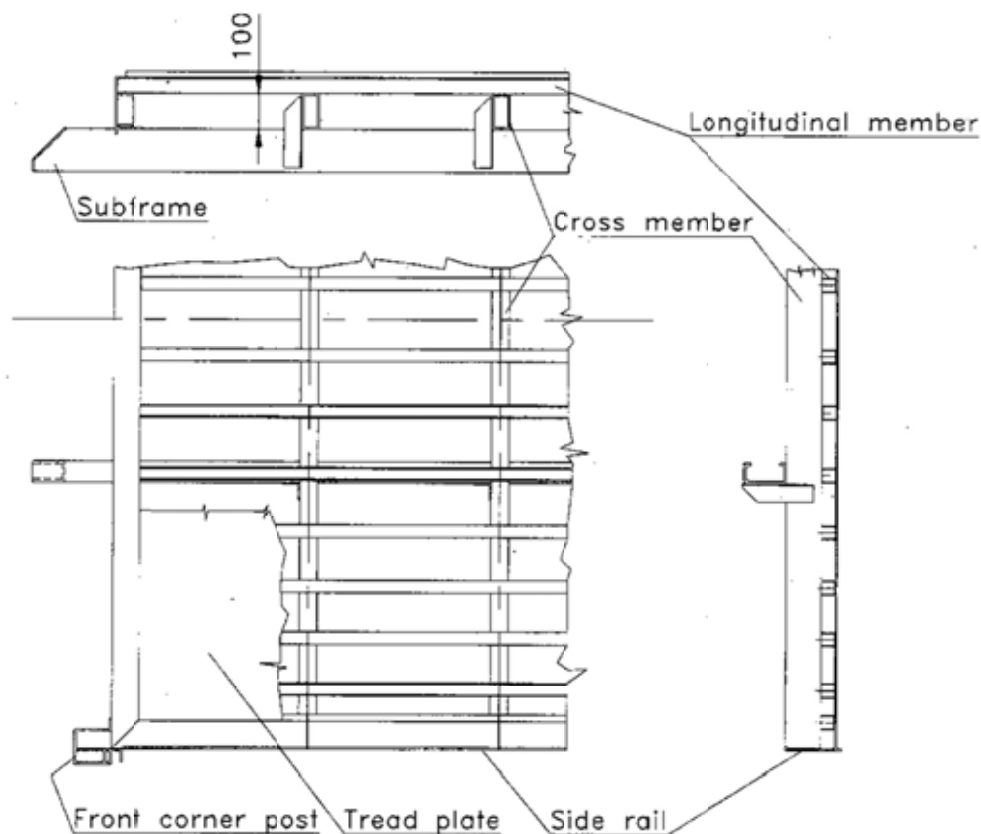
A keresztmervítők méretezésénél két fő terhelést különböztetünk meg: (a) a palettákról átadódó erők, a tető, az ajtó, az oldalfalak súlyereje a vízszintes padlóra; (b) ugyanaz a terhelés, mint (a)-ban, de az egyik kerék a szegélyköre áll és a váz elcsavarodik.

A külső keresztmervítőre ható terhelések:

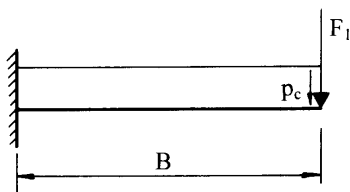
sarok oszlop		205 N
tető	2060/4	515 N
felső ajtó	1420/2	710 N
mellső fal	1033/2	<u>516 N</u>
		$F_I = 1946 N$

\* professzor, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\*\* emeritus professzor, Miskolci Egyetem Logisztikai Intézet



1. ábra Az alváz szerkezete



2. ábra A keresztmervítő konzolos részére ható terhelés

A palettákról származó erők: a paletta tömege  $F_p = 8500$  N, az egyenletesen megoszló terhelés  $p = F_p n_p / (BL)$ , ahol a fél alapterületre helyezett paletták száma  $n_p = 5$ ,  $B$  és  $L$  a fél konzolos padlófelület méretei. Az egyenletesen megoszló, kereszttartóra ható normál terhelés  $p_c = pL / (n_c - 1)$ ,  $n_c$  a kereszttartók száma. A kereszttartó maximális hajlító nyomatéka (2. ábra)

$$M_{\max} = \frac{p_c B^2}{2} + F_1 B = \frac{F_p n_p B}{2(n_c - 1)} + F_1 B \quad (1)$$

Számolva a további adatokkal  $F_p = 8500$  N,  $n_p = 5$ ,  $B = 720$  mm,  $F_1 = 1946$  N a különböző darabszámú kereszttartóra a hajlító nyomatékok az alábbiak.

Ez a szám a paletta mérete miatt korlátozott (800 mm) minimum  $n_{c,\min} = 10$ . Mivel a keresztmervítők eredeti száma 14, ezért mi a következő kiosztásokkal számolunk  $n_c = 14$ , 12 és 10. Ezen  $n_c$  értékekhez a hajlító nyomaték a következő:

$$M_{14} = 2,578, \quad M_{12} = 2,792 \quad \text{és} \quad M_{10} = 3,1011 \text{ kNm.}$$

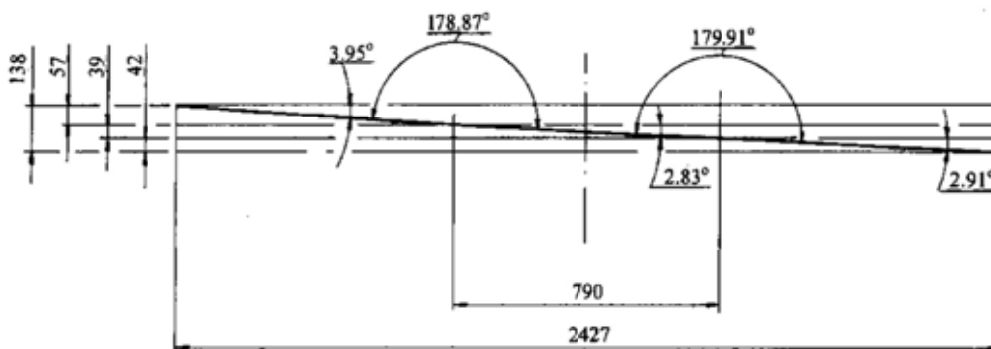
A csatlakozó nyírőerők az  $n_c$  függvényében a következők:

$$Q = F_p n_p / (n_c - 1) + F_1; \quad Q_{14} = 5215, \quad Q_{12} = 5810 \quad \text{és} \quad Q_{10} = 6668 \text{ N.}$$

## 2.2 Az elcsavarodott váz terhelése

Korábban mérések történtek arra vonatkozóan, hogy amikor az egyik kerék járdán áll, aminek a magassága 91 mm, megrakott palettákkal milyen deformációt szenved. A mért deformációk azt mutatják, hogy a keresztmervítők a kerék közelében megemelkedtek, amint a 3. ábrán látható. Ez a keresztmervítő mint egy konzolos tartó számítható teljes hosszában  $L_c$  olyan erővel terhelve, ami a  $w$  deformációhoz tartozik. Ez a deformáció közelítőleg számítható a következő módon  $w = 138 - L_c \varphi$ , ahol  $L_c = 2427$  mm,  $\varphi(\text{rad}) = 2,91^0 \pi / 180^0 = 0,0508$ , így  $w = 15$  mm. Továbbá

$$F = \frac{3EI_x w}{L_c^3}; \quad M_{c.\max} = FL_c \quad (2) \quad \text{ahol } E = 7 \cdot 10^4 \text{ MPa az alumínium rugalmassági modulusza, } E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa acél esetén, } I_x \text{ pedig az inercianyomaték.}$$



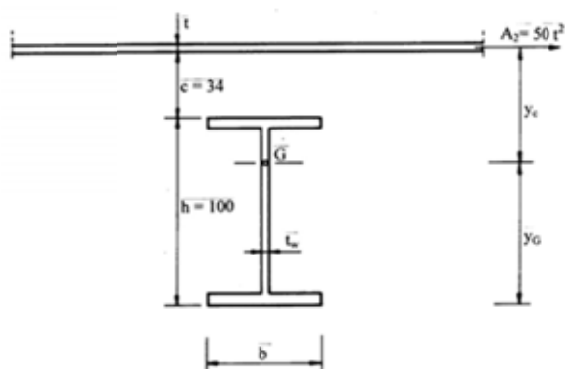
3. ábra Mért deformáció az elcsavarodott keresztartónál, amikor a baloldali kerék a járdán áll

### 3. A KERESZTTARTÓK GEOMETRIAI JELLEMZŐI

A hajlítást és nyírást kapó keresztmetszet a keresztartó és a fedőlemez egy részének figyelembevételével adódik (4. ábra). A fedőlemeznél együttműködő lemezszélességet számoltunk 50t értékben, ahol t a lemezvastagság. Hegesztett I-szelvény esetén a jellemzők a következők (4. ábra):

$$A_1 = ht_w + 2bt_f \quad (3)$$

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{12} + \frac{bt_f h^2}{2} + A_1 \left( y_c - \frac{h}{2} \right)^2 + A_2 y_G^2 \quad (4)$$



4. ábra A hegesztett I-szelvény és a fedőlemez

Korábbi számításunk során [3] összehasonlítottuk a négyszögcső (RHS), az I- és a C-profilokat. Azt tapasztaltuk, hogy a legjobb szelvény az I-szelvény. Ennél a számításnál ezért már csak az I-szelvényt vizsgáljuk.

### 4. TERVEZÉSI FELTÉTELEK

#### 4.1 Fáradási feltétel vízszintes vázszerkezet esetén

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I_x} y_{\max} \leq \frac{\Delta \sigma_N}{\gamma_{Mf}}; \quad y_{\max} = \max(y_G, y_c) \quad (5)$$

$$\tau_1 = \frac{Q}{A_w} \leq \frac{\Delta \tau_N}{\gamma_{Mf}} \quad (6)$$

ahol  $A_w = ht_w$  a gerinclemez területe az I-tartónál.

Mivel a keresztartók az alvázkerethez hegesztve vannak, ezért azok hegesztett kötéseit fáradásra méretezni szükséges. A fáradási feszültség amplitúdó [4, 5] szerint  $2 \cdot 10^6$  ciklusszám esetén a transzverzális merevítő bekötése a tartó gerinclemezéhez (512-es részlet szerkezeti alumínium ötvözetre)  $\Delta \sigma_c = 28$  MPa.

A számításnál a realisabb  $N = 2 \cdot 10^5$ -ös ciklusszámmal dolgozva a fáradási határ:

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{3} \log \frac{2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^5} + \log \Delta \sigma_c = 1,78049; \quad \Delta \sigma_N = 60,3 \text{ MPa} \quad (7)$$

Acélra  $\Delta \sigma_c = 80$  (512-es részlet szerkezeti acélra, ugyanaz, mint alumínium ötvözetre)  $\Delta \sigma_N = 172,3$  MPa. Az alkalmazott biztonsági tényező 1,25.

Alumíniumra

$$\frac{\Delta \sigma_N}{\gamma_{Mf}} = \frac{60,3}{1,25} = 48,2 \text{ MPa} \quad (8)$$

Nyírásra

$$\Delta\tau_C = 28; \Delta\tau_N = 44,3;$$

$$\frac{\Delta\tau_N}{\gamma_{Mf}} = \frac{44,3}{1,25} = 35,44 \text{ MPa} \quad (9)$$

Acéllra

$$\frac{\Delta\sigma_N}{\gamma_{Mf}} = \frac{172,3}{1,25} = 137,8 \text{ MPa} \quad (10)$$

Nyírásra

$$\Delta\tau_C = 80; \Delta\tau_N = 126,8;$$

$$\frac{\Delta\tau_N}{\gamma_{Mf}} = \frac{126,8}{1,25} = 101,44 \text{ MPa} \quad (11)$$

Megjegyezzük, hogy a hajlító nyomaték számításánál a statikus  $F_I$  erőt alkalmaztuk a fáradási feltételnél is, ami egy közelítés a biztonság javára.

#### 4.2 Fáradási feltétel elcsavarodott vázszerkezet esetén

$$\sigma_2 = \frac{M_{c,\max}}{I_x} y_{\max} = \frac{3EW}{L^2} y_{\max} \leq \frac{\Delta\sigma_{N1}}{\gamma_{Mf}} \quad (12)$$

Az elcsavarodott váz esetén a maximális hajlító nyomaték a keresztartók végénél adódik, ahol az alváza behegesztésre kerül sarokvarratokkal. Ennek a kötésnek a fáradási határa 2 millió ciklusra [5] szerint (413-as elem)  $\Delta\sigma_{C1} = 22 \text{ MPa}$  és a realisabb  $N = 10^5$  ciklusszámmal.

$$\frac{\Delta\sigma_{N1}}{\gamma_{Mf}} = \frac{59,7}{1,25} = 47,7 \text{ MPa} \quad (13)$$

#### 4.3 A profilok helyi horpadási feltétele

Az I-szelvény gerinclemeze (nem merevített)

**Alumínium esetén**

$$h/t_w \leq 22\varepsilon/g; \quad (14)$$

**Acél esetén [6]**

$$h/t_w \leq 69\varepsilon/g; \quad (15)$$

$$g = 0,65 + 0,35 \frac{y_0}{y_c}, \quad \text{ahol} \quad 1 \geq \frac{y_0}{y_c} \geq 0$$

$$g = 0,65 + 0,30 \frac{y_0}{y_c}, \quad \text{ahol} \quad 0 \geq \frac{y_0}{y_c} \geq -1$$

$$y_0 = y_G - \frac{t}{2} - c \quad (16)$$

$$y_c = h + c + \frac{t}{2} - y_G \quad (17)$$

Az I-szelvény övlemeze (nem merevített)

**Alumínium esetén**

$$b/t_f \leq 14\varepsilon \quad (18)$$

**Acél esetén**

$$b/t_f \leq 28\varepsilon \quad (19)$$

$$\text{Alumíniumnál } \varepsilon = \sqrt{\frac{250}{\sigma_{\max}/\gamma_{M1}}},$$

$$\text{acélnál } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{\sigma_{\max}/\gamma_{M1}}} \quad (20)$$

#### 4.4 Gyártási feltételek, méret korlátozások

Néhány méret az eredeti szerkezetnél konstans, ezek a következők:

$$h = 100, \quad c = 34 \text{ mm.}$$

A gerincvastagság limitált

$$t_{w,\min} = 3,4 \text{ mm}$$

azért, hogy a hegesztés minősége garantált legyen. A fedőlemez vastagsága szintén limitált

$$t_{\min} = 2 \text{ mm}$$

A keresztmerekítőket az oldalsó vázhoz kell hegesztetni, ezért nem lehet rajtuk merevítő, mert akadályoznák a hegesztést. Megjegyezzük, hogy az extrudált alumínium I-profiloknál az egyszerű hajlításra való optimalás azonos keresztmetszet területet adott, függetlenül attól, hogy merevített, vagy merevítetlen a szelvény.

### 5. OPTIMALÁSI JELLEMZŐK ÉS EREDMÉNYEK

Az *optimalandó célfüggvény* a keresztmerekítők és a hozzá tartozó fedőlemez rész keresztmetszet területe (3) egyenlet.

Az *ismeretlen változók* a profil méretei az övnél  $b$  és  $t_f$ .

A *méretezési feltételek* a következők: (5, 6, 12, 14, 15, 19) egyenletek.

Az optimalást *I szelvényre* végeztük el *három keresztmerekítő darabszám esetén*  $n_c = 14, 12$  és  $10$ .



A matematikai módszer: a Rosenbrock féle Hillclimb algoritmus került felhasználásra [7]. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

## 6. TÖMEG MEGTAKARÍTÁS

Az eredeti fedőlemez vastagsága  $t = 4,5$  mm, méretei  $2280 \times 6750$  mm, az Al-ötvözet sűrűsége  $\rho = 2,7 \cdot 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>, az acélé  $\rho = 7,85 \cdot 10^{-6}$  kg/mm<sup>3</sup>, tömege  $m_{pl} = \rho t(2280 \times 6750) = 186,98$  kg.

### Alumínium esetén

Az optimált Al lemez tömege  $t = 2,0$  mm vastagság esetén  $m_{pl,opt} = 83,11$  kg.

Az eredeti Al keresztartók tömege a következő módon számítható:

$$m_c = \rho A_1 n_c L_{cm}, \quad (21)$$

ahol  $L_{cm} = 2440$  mm a keresztartó hossza. A számított tömeget az 1. táblázat mutatja.

Az eredeti keresztartó és a fedőlemez tömege

$$m = m_{pl} + m_c = 186,98 + 117,50 = 304,48 \text{ kg.}$$

Az optimált Al megoldás tömege  $m_{min} = 83,11 + 89,20 = 172,31$  kg,

a tömeg megtakarítás 132,17 kg, egy teherautó esetén (43%).

### Acél esetén

Az optimált acéllemez  $t = 2,0$  mm vastag, tömege  $m_{pl,opt} = 146,424$  kg.

Az acél tömege számítható a (21) képlet szerint.

A merevítők és a fedőlemez tömege

$$m_{min} = m_{pl,opt} + m_c = 146,42 + 93,28 = 239,7 \text{ kg.}$$

a tömeg megtakarítás az eredeti szerkezethez képest 64,78 kg, egy teherautó esetén (22%).

1. táblázat Az optimálás eredményei

Profil		$n_c = 14$	$n_c = 12$	$n_c = 10$
	$b$	55	60	65
<b>alumínium</b>	$t_f$	7,2	7,2	7,8
I-profil	$A_1$	1332	1404	1536
	$m_c$ kg	104,41	95,18	89,20
	$K_T$ \$	927	927	927
	$k_T$ \$	0,54	0,63	0,795
	$K_c$ \$	304,74	291,78	260,64
	$b$	30	30	35
<b>acél</b>	$t_f$	2	2	2,1
I-profil	$A_1$	660	660	747
	$m_c$ kg	123,35	105,73	93,28
	$K_T$ \$	187	187	187
	$k_T$ \$	0,109	0,128	0,153
	$K_c$ \$	269,77	252,15	247,4

## 7. KÖLTSÉG MEGTAKARÍTÁS

### Alumínium esetén

#### A fedőlemez költsége

London Metal Exchange (LME) alumínium ár [8]

1,559 \$/kg

Pótdíj 0,9568

Összesen 2,5159 \$/kg.

Az eredeti lemez költsége ( $t = 4,5$ )  $186,98 \times 2,5159$

470,44 \$

Az optimált lemez költsége ( $t = 2$  mm)  $83,11 \times 2,5159$

209,09 \$

#### A keresztartók költsége

LME alumínium profil ár 2,5159 \$/kg

Extrudálási munka költsége 1,3004 \$/kg

Összesen  $k_c = 3,8163$  \$/kg

Az összköltség, figyelembe véve a szerszám költséget is

$$K_T = k_c m_c + k_T, \quad (22)$$

ahol

$$k_T = \frac{K_T}{50 n_c L_{cm}}. \quad (23)$$

$K_T$  a szerszám költsége,  $50 n_c L_{cm}$  a teljes extrudált tartóhossz 50 teherautóra (egy éves termelés).

Az eredeti fedőlemez és keresztmerevítők költsége  $K = 470,44 + 457,00 = 927,44$  \$,

az optimálás eredményeként (10 keresztmerevítő mellett)  $K_{min} = 209,09 + 341,18 = 550,27$  \$.

A költségmegtakarítás egy darab Al alváz esetén 377,17 \$, ami 39%-ot jelent.

Az eredményeket a 2. táblázat mutatja.

### Acél esetén

#### A fedőlemez költsége

London Metal Exchange (LME) acélára 0,375 \$/kg

Pótdíj 0,231

Összesen 0,606 \$/kg

Az optimált acéllemez költsége ( $t = 2$  mm)

$241,623 \times 0,606 = 146,424$  \$.

#### A keresztmerevítők költsége

LME acél ár 0,606 \$/kg

Vágási és hegesztési költségek 0,475 \$/kg

Összesen  $k_c = 1,081$  \$/kg

A teljes költség, ami tartalmazza a szerszám költséget is a (22) és (23)-es egyenletek szerint írható fel.

A számítás eredményeit a 2. táblázat mutatja.

Az *Al* alvázszerkezet teljes optimált költsége (10 darab I-profilos merevítővel)  $K_{min} = 209,09 + 341,18 = 550,27$  \$.

Ugyanez a szerkezet acél esetén optimalás után (10 darab hegesztett I-profilos merevítővel)  $K_{min} = 146,42 + 100,98 = 247,40$  \$.

A költségmegtakarítás egy acél teherautónál 302,87 \$ (55%).

2. táblázat A keretek költsége és tömege különböző anyagok esetén a következő

	Eredeti alumínium szerkezet	Optimált alumínium	Optimált acél
Szerkezeti tömeg kg-ban	304,48	172,31	239,7
Szerkezeti költség \$-ban	927,44	550,27	247,40
Tömeg megtakarítás %-ban az eredetihez képest	0	43,4	21,2
Költség megtakarítás %-ban az eredetihez képest	0	40,7	73,3
Tömeg megtakarítás %-ban az optimált <i>Al</i> -hoz képest		0	-39,1
Költség megtakarítás %-ban az optimált <i>Al</i> -hoz képest		0	55,0

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Abban az esetben, ha a teherautó alváz extrudált *Al* profilok alkalmazásával kerül összehegesztésre, az optimális méretezés eredményeképpen jelentős tömeg és költség megtakarítás érhető el az eredeti, nem optimált szerkezethez képest. Ez 43% és 40% költség- és tömegcsökkenést jelent. Az extrudált keresztmerevítők szelvényméretét optimaltuk, figyelembe véve a fedőlemez együtdolgozó lemezszélességét is. A célfüggvény a keresztmerevítő szelvényterülete volt és fáradási, valamint helyi horpadási feltételeket vettünk figyelembe. Gyártási szempontok, amik a méretkorlátozásokra vonatkoztak szintén alkalmazásra kerültek.

Nemcsak vízszintes pozíciójú alváz szerkezetet vizsgáltunk, hanem elcsavarodottat is, amikor a teherautó egyik kereke járdán áll. Ebben az esetben növekednek a hajlító nyomatékok, melyek számítását korábbi kísérleti deformáció mérésekre alapoztuk.

Az optimalás mutatja, hogy a fedőlemez vastagsága 4,5 mm-ről 2,0 mm-re, az eredeti *Al* keresztmerevítő száma 14-ről 10-re csökkent. Az eredeti merevítő keresztmetszetet, ami négyszögszelvény volt (RHS) helyettesíteni lehetett I- vagy C- profilokkal, melyek méretei optimálisak. Ezen változtatások 141 kg

csökkenést eredményeztek a tömegnél, illetve 377,17 \$ csökkenést a költségnél a teherautó alváz szerkezetét tekintve.

Hangsúlyozzuk, hogy a csavarás ellenére a keresztmerevítőket a második fajta terhelésnél növekvő mértékű hajlításra méreteztük, mert úgy tekintettük, hogy az oldalsó főtartók felveszik a csavarást. Csavarás esetén egyébként az RHS szelvények természetesen előnyösebbek a nyitott profiloknál.

Hegesztett acéllemez és keresztmerevítőket alkalmazva az optimalás hasonló módon elvégeztük. Ebben az esetben *Al* helyett szerkezeti acélt alkalmazva a tömeg természetesen növekszik, viszont a költségek jelentősen 55%-al csökkennek az alumíniumhoz képest. Természetesen az üzemeltetési költségek függenek a jármű tömegétől. A tömegnövekedés fogyasztást növelő hatása mérésekkel határozható meg, hogy a futásteljesítmény alapján meg lehessen mondani, melyik megoldás és meddig gazdaságos.

## 9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, továbbá az OTKA T 109860 projekt támogatásával valósult meg. A második szerző Farkas József<sup>†</sup> professzor nemrég eltávozott közülünk. Ezzel a cikkel is az acélszerkezetek optimalása témában végzett hat évtizedes tudományos munkásságának adózunk.

## 10. IRODALOM

- [1] DIN 1725-1983. Aluminiumlegierungen. Knetlegierungen, <https://www.beuth.de/en/standard/din-1725-1/2650507>
- [2] DIN 1748-1981. Strangpressprofile aus Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen - Zulässige Abweichungen, [www.beuth.de/en/standard/din-1748-4/928185](http://www.beuth.de/en/standard/din-1748-4/928185)
- [3] FARKAS,J., JÁRMAI,K., DÚL,R.: Minimum cost design of a truck floor welded from aluminium-alloy profiles, *Welding in the World*, Pergamon Press, Vol. 45, 2001, No.9-10. pp. 19-22. ISSN 0043-2288
- [4] FARKAS,J.,JÁRMAI,K.: Optimum design of steel structures, Springer Verlag, Heidelberg, 2013. 288 p. ISBN 978-3-642-36867-7, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-36868-4>
- [5] HOBACHER, A. IIW Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW-doc. IIW-1823-07, ex XIII-2151r3-07/XV-1254r3-07
- [6] Eurocode 3. Part 1.1. Design of steel structures. General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization. Brussels, 2005.
- [7] ROSENBROCK,H.H. An Automatic Method for Finding the Greatest or Least Value of a Function, *The Computer Journal* (1960) 3 (3): 175-184. doi: 10.1093/comjnl/3.3.175
- [8] London Metal Exchange <http://www.lme.com/metals/> hozzáférés: 2016. szeptember 17.

# EMISSZIÓVÉDELEM HOSSZÚTÁVON – ÚJ KIHÍVÁSOK A BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK EMISSZIÓS FEJLESZTÉSÉBEN

## LIFE CYCLE EMISSION REDUCTION – THE INCREASING CHALLENGE FOR ENGINE DEVELOPMENT

*Ervin Kerekes, Ákos Finta, Gábor Erdei, Miklós Tóth\**

### ABSTRACT

*According to the current directives the engines must comply with emissions standards throughout their useful lives.*

*To ensure that the engine manufacturers can fulfil this legalization requirements an additional well-defined process was prescribed for the engine certification called Deterioration Factor Testing (DF).*

*DFs are applied to account for any increase in emissions over the useful life of an engine. The certification engine must comply with emission standards after the DFs are applied.*

### 1. A HÁTTÉR

A napjainkra minden eddigénél összetettebbé és bonyolultabbá váló motorfejlesztést két fő szempontrendszer vezérli, nevezetesen a vevői elvárások és a törvényi szabályozások. Bármelyik szempontrendszert nézzük is, mindegyik bőven ellátja a motorfejlesztőket feladatokkal. Ha mégis különbséget akarunk tenni közöttük, az a kompromisszumok lehetőségében rejlik. Míg a vevői elvárások tekintetében köthetők kompromisszumok, addig a törvényi előírások esetében ez nem lehetséges.

A törvényi előírások jelentős része a motorok károsanyag kibocsátását igyekszik csökkenteni. Ez azonban korántsem egyenlő egy egyszerű mennyiségi csökkentéssel. A törvényalkotók mindent megtesznek azért, hogy olyan vizsgálati módszereket dolgozzanak ki és vezessenek be kötelezően, amik nemcsak az egyes jármű és motorkategóriák valós üzemi viszonyait, de a technikai megoldások szerteágazóságát és dinamikus fejlődését is figyelembe veszik. Ez a törekvés egyes esetekben látványos változásokat hoz akár a nem is oly régi klasszikus eljárásokkal összehasonlítva.

A törvényileg meghatározott emissziómérési eljárások rendkívül szerteágazóak, rövid áttekintése a téma komplexitása miatt nem egyszerű feladat. Az első

szempont – ami alapján el tudjuk dönteni, hogy az eljárások tömkelegéből melyik irányba kell elindulni – hogy a minősítendő jármű jogilag milyen kategóriába tartozik. Míg a személygépjármű és light duty járművek minősítése járműfékpadon történik, addig a medium- és heavy duty gépjárműkategóriánál nem maga a jármű, hanem azok motorjai kerülnek minősítésre a motorfékpadon.

Bár a jelenlegi direktívákból kiolvasható, hogy a különböző területileg illetékes hatóságok próbálják az emissziós ciklusokat világszinten egymással harmonizálni – így némileg átláthatóbbá tenni – ennek ellenére a különböző gépjármű-kategóriáktól, felhasználástól és teljesítményszintektől függő előírások miatt még mindig meglehetősen komplikáltak maradtak.

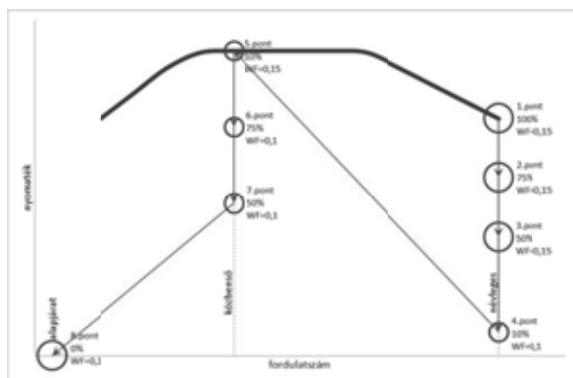
A már fent említett járműfékpados mérések megfelelő mérőkönyvvel segítségével motorfékpadon is igen jól modellezhetőek. A járműfékpadon minősítendő járművek motorjainak mechanikai-, funkció-, és égésfejlesztés mellett az emissziós fejlesztése is nagyrészt motorfékpadon történik, a komplett jármű a járműfékpadra inkább csak a fejlesztési folyamat végén, illetve a hivatalos emissziós mérések alkalmával kerül. Mivel az ebbe a kategóriába tartozó gépjárművek – az előadás címét is adó – hosszútávú emisszióvédelemre a törvényalkotó más módszereket ír elő (OBD), ezért ezt a témakört a továbbiakban nem taglalnám.

Ellenben a hosszútávú emisszióvédelem illusztrálására kiváló lehetőséget biztosítanak a – méltatlanul kevés figyelmet élvező – mezőgazdasági és erdészeti munkagépekbe, illetve nem közúti járművekbe épített Diesel-motorok, melyeket röviden és kissé leegyszerűsítve szoktunk munkagépekként összefoglalni. Az ENSZ-EGB 96. számú Előírás e motorok károsanyag kibocsátását szabályozza.

Motorfejlesztéssel, üzemeltetéssel hosszabb ideje tevékenykedő szakemberek emlékeiben még élénken élnek a stacionárius üzemi pontokból álló vizsgálati

\* AVL AUTÓKUT Mérnöki Kft.

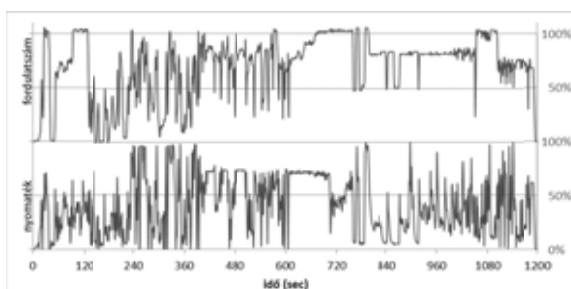
ciklusok, melyek 8 pontos változata tekinthető a munkagépekre vonatkozó emissziós előírások alapján. E minősítési eljárás keretében a motor emissziós jellemzőit 8, a névleges fordulatszám és a nyomatéki görbe alapján meghatározott stacionárius üzemi pontban – kiegészítve egy alapjárattal – vizsgálják. A valós üzemi körülményekhez az egyes üzemi pontok különböző mértékű súlyozásával (WF) közelítettek (1. ábra):



1. ábra NRSC – Nem közúti stacionárius vizsgálati eljárás

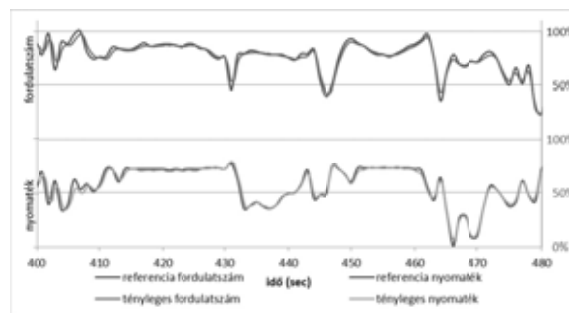
## 2. EGYRE KÖZELEBB A VALÓSÁGHOZ

Napjainkra a korábbiakban említett kibővített hatásvizsgálatok eredményeként a fenti eljárás már szellemiségében és tartalmában is jelentősen kibővült. Alapként változatlan formában megmaradt a jól bevált 8-pontos teszt – NRSC (Non-Road Steady Cycle) – elnevezéssel, de ezen felül további komplett vizsgálatok ellenőrzik a motor emissziós jellemzőit dinamikus üzemben is. Az NRTC (Non - Road Transient Cycle) a munkagépek valós üzemviszonyaira jellemző ciklus. Annak érdekében, hogy az előírás a hatálya alá eső legkülönbözőbb motorokra is alkalmazható legyen, a referencia görbéket az üzemi fordulatszám tartomány és a maximális nyomaték alapján, meghatározott számítási algoritmussal százalékosan határozza meg. (2. ábra).



2. ábra NRTC – Nem közúti tranziens ciklus

Az NRTC ciklusban a motornak fékpádon a referencia fordulatszám- és nyomatékgörbét kell megadott tűréshatárokon belül lefutnia. (3. ábra)



3. ábra NRTC ciklus lefutás motorfékpadi vizsgálatnál

Annak érdekében, hogy a vizsgálati eljárás a valós üzemi körülményeket minél jobban figyelembe vegye, a ciklust egymás után kétszer kell lefuttatni:

- NRTC hideg motorral, mely esetben a hűtőfolyadék, kenőolaj és kipufogógáz utókezelő rendszer hőmérsékletének 20 °C - 30 °C között kell lennie
- NRTC üzemmeleg motorral

A két ciklus összesített eredménye 10% hideg fázisból + 90% meleg fázisból adódik össze. Az NRSC és a hideg, illetve meleg fázisú NRTC vizsgálat megadja az adott motor emissziós minősítési értékeit.

## 3. A HOSSZÚTÁVÚ BIZTOSÍTÉK

Az egyre alacsonyabb limitek a munkagépek esetében is egyre újabb technikai megoldások bevezetését teszik szükségessé. Anélkül, hogy a rendelkezésre álló lehetőségeket akár csak nagyvonalakban is részleteznénk, mindenképp érdemes legalább azt a tényt rögzíteni, hogy ebben a szegmensben is általánossá váltak az olyan eszközök, mint például az elektronikus befecskendezés, a kipufogógáz utókezelés és/vagy kipufogógáz visszavezetés. Ezek a technikai eszközök kétségkívül igen hatásosak a károsanyag emisszió csökkentésben, ugyanakkor megjelennek a működésükből adódó olyan sajátosságok, mint például érzékenységük a hidegindításra vagy hatásfokuk változása az üzemidő előrehaladtával.

Mivel a törvényalkotók határozott törekvése a károsanyag kibocsátás tartós csökkentése, sok más jármű- és motorkategóriához hasonlóan a munkagép Diesel-motorok esetén is elvárás az alacsony kipufogógáz emisszió fenntartása hosszútávon is. Ezt a célt szolgálja az úgynevezett DF-Run (Deterioration Factor), vagy romlási faktor vizsgálat.

A romlási faktor vizsgálat lényege, hogy nem elég az emissziós határértékeket minősítéskor teljesíteni, hanem ezeket a szinteket az adott motorkategóriára jellemző

üzemidő, az úgynevezett kibocsátás tartóssági időtartam elteltével sem lehet átlépni. A jellemző üzemidőket a motor teljesítménye alapján határozzák meg, mely munkagépek esetén 37 kW-ig 5000 óra, míg felette 8000 óra. A romlási faktor vizsgálat alatt a motornak olyan üzemben kell működnie, melyet a gyártó a valós alkalmazási körülményekre tekintettel határoz meg.

A tényleges üzemvitel két módon reprezentálható, mégpedig járműbe építve valós körülmények között, vagy motorfékpadon. A motorfékpad vizsgálat egyik legjobb alapja lehet a gyakorlati motorüzemben történő fordulatszám és terhelés adatrögzítése, amit az elektronikus motorvezérlés könnyen lehetővé is tesz.

A romlási faktor vizsgálat a gyakorlatban egy nagyon időigényes tartamteszt. Különösen igaz ez a 8000 óra esetén, melynek lefuttatása a fékpadon még folyamatos üzem esetén is több mint egy év. Ez alatt az idő alatt a motor gyártói előírás szerinti karbantartásai és szervizeit el lehet végezni, de az esetleges meghibásodások javítása és az esetleges alkatrész cserék már szigorú feltételek közé vannak szorítva.

Annak érdekében, hogy a romlási faktort reális időn belül meg lehessen határozni, a törvényalkotók lehetővé teszik a gyorsított eljárást. Ennek értelmében a kibocsátás tartóssági időtartam 25%-nak teljesítése után lehetőség van a teszt megszakítására és az emissziós ellenőrző mérések végrehajtására. Az ekkor kapott emissziós értékek változásait (romlását) kell a teljes kibocsátás tartóssági időtartamra extrapolálni.

A teljes üzemidőre vetített emisszió meghatározása mindkét kibocsátás tartóssági időtartam esetén azonos elv szerint, több lépcsőben történik. 8000 órás teszt esetén ezeket a lépéseket az alábbi mérföldkövekkel lehet a leggyorsabban végrehajtani:

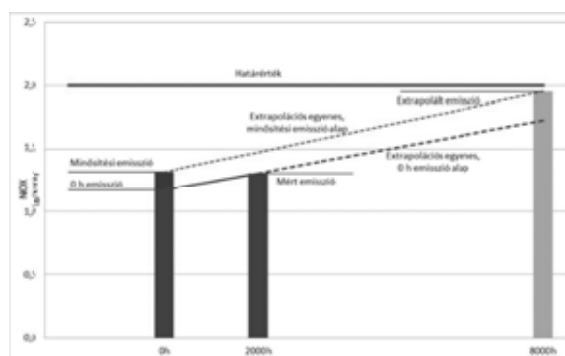
1. A mindenkori kiindulási alap a motortípus minősítési emissziója.
2. A romlási faktor vizsgálatot futó motor emissziós vizsgálatát el kell végezni a teszt 0. órájában.
3. 2000 óra futamidő elérése után ismét meg kell mérni az emissziót.
4. A 0 órás és 2000 órás emissziók alapján extrapolálni kell 8000 órára.
5. Meghatározott matematikai formula alapján – mely képlet attól függ, hogy a motor el van látva kipufogógáz utókezelő berendezéssel – a minősítési emisszióra vetítve meg kell határozni a motor emisszióját.

5000 órás teszt esetében az egyes lépések időintervallumai arányosan rövidebbek.

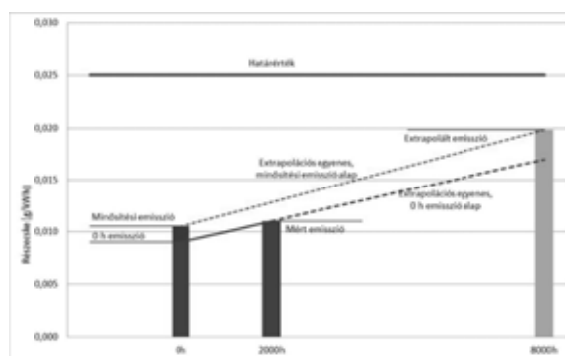
Az eljárást el kell végezni NRSC, valamint hideg és meleg NRTC ciklussal is. A kiszámított emissziós értékeknek mind a négy komponensre (CO, HC, NOx, részecske) vonatkozóan a minősítési határérték alatt kell maradnia, mely határértékek a  $130 \text{ kW} \leq P \leq 560 \text{ kW}$  teljesítmény tartományban már nagyon szigorúak:

Teljesítmény [kW]	CO: [g/kWh]	HC: [g/kWh]	NOx: [g/kWh]	Részecske: [g/kWh]
$130 \leq P \leq 560$	3,5	0,19	2,0	0,025

A romlási faktor vizsgálat lépéseit és a számítás menetét NOx- és részecske emisszióra szemlélteti a 4. és 5. ábra.



4. ábra NOx-emisszió számítás rövidített romlási faktor vizsgálat esetén



5. ábra Részecske számítás rövidített romlási faktor vizsgálat esetén

A fenti példákon keresztül is jól látható, hogy az emissziós előírások folyamatosan változnak, fejlődnek és szigorodnak annak érdekében, hogy környezetünket a folyamatosan növekvő motorizáció ellenére is minél jobban óvjuk. E területen valószínűleg soha nem fogunk végleges eredményeket elérni, mely egyben hosszú távú kihívásokat és feladatokat jelent környezetvédőknek, törvényalkotóknak, és nem utolsósorban motorfejlesztőknek.

# A TERMO-KATALITIKUS HŐBONTÁS MŰVELETI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF THE THERMAL-CATALYTIC CRACKING PARAMETERS

Zsemberi Andor<sup>\*</sup>, Siménfalvi Zoltán Károly<sup>\*\*</sup>, Palotás Árpád Bence<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*Synthetic polymers such as plastics and various rubber derivatives (tyres, structural elements etc.) have become mankind's indispensable tools in the last decades. As their manufacturing capacity is on the rise year after year, so are their generated waste overwhelming our environment in significant volumes.*

*In this publication we present recycling options of various rubber tyre and plastics derivatives in combined material flow by means of applying thermo-catalytic degradation process at different temperature levels. This technology offers an opportunity to produce a secondary energy source (petrol- and gas oil-type hydrocarbons) and/or raw material for the chemical industry from the mentioned waste fraction. Furthermore, we discuss the influence of the operational parameters and variables affecting the process that influence the product distribution directly and therefore forms the basis for the technical-economic viability of the technology as well.*

### 1. A MŰANYAGOK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A műanyagok olyan szintetikus vagy természetes anyagokból előállított óriásmolekulák, amelyeknek kizárólagos, vagy fő alkotóeleme a szén [1]. Ezen kívül tartalmazhatnak még hidrogént, oxigént, nitrogént és egyéb szerves, illetve szervetlen komponenseket.

Előállításuk bonyolult kémiai folyamatok sorozatán keresztül monomerekből történik:

1. katalitikus vagy peroxid iniciált polimerizáció, mint például: etilén, propilén, vagy butadién + sztírol kopolimerizáció;
2. eltérő monomerek polikondenzációja;
3. poliaddíció [2].

A felsorolásban említett első csoportba tartozó polimerek ígéretes alapanyagok a termikus, illetve termo-katalitikus hőbontó folyamatoknak.

Ahhoz azonban, hogy a minden napi életben használni kívánt polimer termékek (gumi, műanyag)

elnyerjék a megfelelő használati funkciójuknak megfelelő minőségi előírásokat ún. adalékanyagokat kell alkalmazni, ami növeli az UV stabilitást, kopásállóságot, hőmérsékletnek történő ellenállást, stb. A legnagyobb mennyiségben felhasznált tulajdonságjavítók tömegszázalékban kifejezve (átlagos értékek, nem együttesen értendő):

- antioxidánsok (1%);
- hő- és fénystabilizátorok (5%);
- lágyítók (40%);
- ütésállóság fokozók (10%);
- pigmentek, színezékek, festékanyagok (5%);
- égésgátló (15%);
- formaelválasztó anyagok;
- habképző anyagok (2%);
- töltőanyagok (40%).

Természetesen a szénláncba beépített különböző heteroatomok (mint például klór a vinil-klorid esetén) jelentős mértékben megnehezítik a kémiai (termikus) újrahasznosítás lehetőségét.

### 2. A TERMO-KATALITIKUS HŐBONTÁSI FOLYAMAT ISMERTETÉSE

#### 2.1. Az alapanyagok általános jellemzői

A hőre lágyuló műanyagok melegítés hatására meglágyulnak, majd újra lehűtve őket megkeményednek. Ennek az oka az, hogy a polimerszálak között egyáltalán nincs, vagy csak nagyon kicsi mértékű a keresztkötések száma. A hőre keményedő polimerek a hőközlés hatására degradálódnak, bomlanak.

A gumit a hőre -lágyuló és -keményedő szerkezet közé lehet besorolni, mivel a felépítése térhálós szerkezetű és a hosszú szénláncokat a szén-szén kettős kötések keresztül kénhidak kötik össze (átlagosan minden ötvenedik kettős kötés vesz részt a hídban). A krakkolással, illetve pirolízissel történő feldolgozás során hátrányt okoz a gumiban alkalmazott magas töltő-

<sup>\*</sup>doktorandusz, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék

<sup>\*\*</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék

<sup>\*\*\*</sup> egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energia- és Minőségügyi Intézet, Tüzeléstan és Hőenergia Intézeti Tanszék

és adalékanyag koncentráció, amit az 1. táblázatban tüntettünk fel részletesen is.

1. táblázat A gumiabroncs hulladék fő komponensei [3]

A gumiabroncs hulladék fő komponensei	Összetétel [m/m%]
Természetes kaucsuk SMR5CV	29,59
Sztirol butadién kaucsuk	29,59
Korom ISAF N220	29,59
Sztearinsav	0,59
IPPD (antiozonás)	0,89
Cink-oxid	2,96
Fenolgyanta	2,37
Kén	0,89
CSB (gyorsító)	0,89
Hexamin H-7	0,18
PVI (ftálimid)	0,12
Aromás olaj	2,34

Általánosságban kijelenthető, hogy a sokféle adalékanyag és heteroatom jelentős mértékben bonyolítja a kémiai újrahasznosítást, mivel jelenlétük nem csak szennyezőként realizálódik a folyadék- és gáztermékekben, de a lebomlás kinetikáját is befolyásolják [2].

## 2.2. A termo-katalitikus hőbontási folyamatok általános jellemzői

A termikus és termo-katalitikus hőbontási folyamatok (krakkolás, pirolízis) közötti alapvető különbség abban rejlik, hogy előbbi esetben nem alkalmaznak katalizátort. Közös jellemző, hogy az eljárás során a hosszú szénláncú polimerek rövidebb, kisebb molekulákra bomlanak le, ami lényegében az

újrahasznosítás alapját jelenti. A technológia további lényeges jellemzője, hogy a műveletet inert atmoszférában (oxigénmentes), atmoszférához közeli nyomáson végzik.

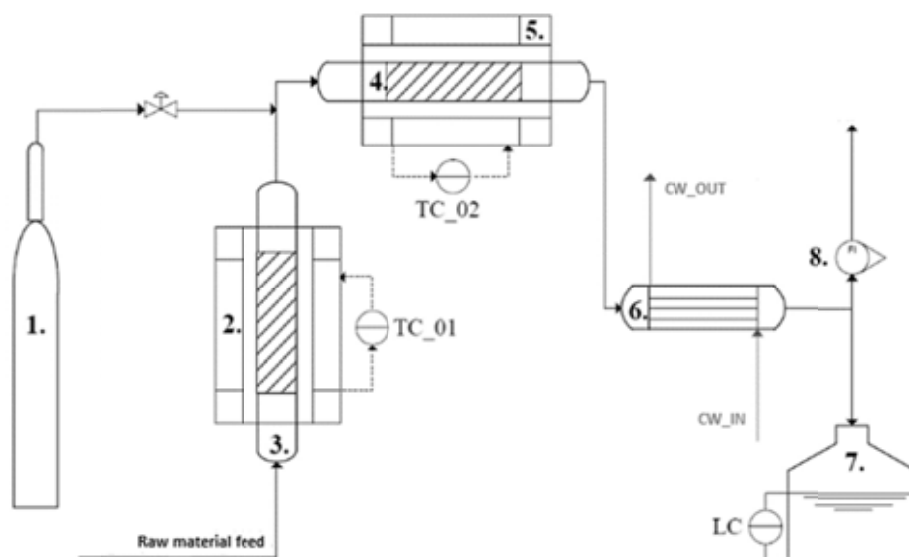
A műanyag hulladékok katalizátorral elősegített krakkolását az elmúlt években egyre nagyobb érdeklődés övezi, mivel értékesebb gáz-, és folyadékfrakciók állíthatók elő alacsonyabb aktiválási energia mellett [4]. A termokatalitikus krakkolás jelentős előnyei a tisztán termikus esethez képest:

- kisebb reakcióhőmérséklet, ami alacsonyabb energiafogyasztást eredményez;
- a krakkolódási reakciók gyorsabban mennek végbe, ami rövidebb tartózkodási időt és kisebb reaktor térfogatot eredményez;
- a katalizátor célszerű kiválasztásával optimalizálható a különböző értékes komponensek kihozatala;
- poliolefinek termo-katalitikus krakkolásával nő a termékfrakció gyűrűs-, elágazó-, és aromás szénhidrogén tartalma, ami növeli az eljárás gazdasági potenciálját [5];

A számos pozitív érv miatt a vizsgálatokat HZSM-5 (zeolit típusú katalizátor) és nikkel-oxid bevonatú fémháló alkalmazása mellett végeztük el.

## 2.3. A mérések és a kísérleti berendezés rövid ismertetése

A megvalósított laboratóriumi méretű termo-katalitikus berendezésünk folyamatábráját az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A kísérleti berendezés folyamatábrája: 1. nitrogén palack, 2. kemence, 3. vertikális reaktor, 4. horizontális reaktor (katalizátor feltét), 5. kemence, 6. kondenzátor, 7. folyadékszedő, 8. rotaméter [3]

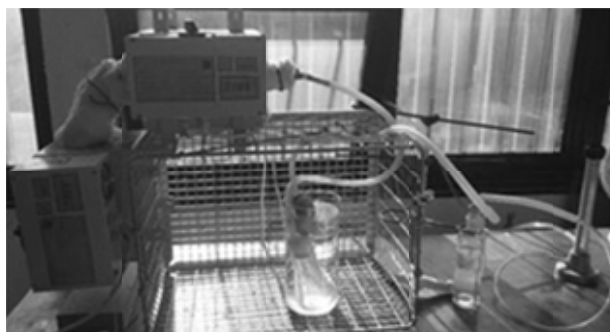
A kutatásunk célja az volt, hogy különböző hőmérsékleti szinteken: 400-, 450-, valamint 500 °C-on vizsgáljuk a termék kihozatal mennyiségeit az idő függvényében. A mért adatokra olyan matematikai modellt fejlesztettünk, amellyel meghatározhatók a reakciókinetikai paraméterek is. Ezen adatok ismeretében a modell alkalmassá válhat arra, hogy a kísérleti berendezésnél nagyobb tömegű anyagáram feldolgozása esetén számítható legyen a keletkező gáz-, folyadék-, és szilárd termékek tömeg-, komponens-, valamint energia árama is.

A mérésekhez csőreaktor rendszert használtunk. Minden esetben 1000 gramm alapanyagból (50 m/m% polisztirol- és 50 m/m% gumiabroncs hulladék) indultunk ki, amely mellé 5 gramm zeolit (HZSM-5) és nikkkel-oxid bevonatú fémhálót helyeztünk be. A kísérletek ideje 50 perc volt. Az alapanyag betáplálása szakaszos módon történt meg a vertikális elhelyezésű csőreaktorba. Első lépésben a bevitt alapanyag szárítását végeztük el 15 percig 105 °C-on, mialatt nitrogén segítségével „átöblítettük” a teljes rendszert (a nitrogén áramot a teljes művelet alatt biztosítottuk). Második lépésben a reaktor hőmérsékletét állítottuk be a különböző műveleti hőmérsékletre. Három különböző hőmérsékleten vizsgáltuk a termékkihozatalokat az idő függvényében. 400-, 450-, valamint 500 °C-on.

A kísérletek során a függőleges elhelyezkedésű reaktortestből a szén-hidrogén gőzök a horizontális csőreaktorba távoztak, amit 300 °C-on tartottunk. A termékgőzök innen a kondenzátorba jutottak, ahol 20 °C-ra lettek lehűtve. A folyadék fázis ezek után a folyadékszedőbe került, a gázfázist pedig elfaklyáztuk.

A méréshez használt berendezésről készített képet a 2. ábra szemlélteti, amelyen a két fő egység is látható:

1. vertikális elhelyezésű fluidágyas reaktor;
2. horizontális elhelyezésű fixágyas reaktorrendszer



2. ábra A vertikális fluidágyas-, valamint a horizontális fixágyas reaktorrendszer

### 3. A FŐ MŰVELETI PARAMÉTEREK FOLYAMATRA GYAKOROLT HATÁSAI

#### 3.1. A hőmérséklet hatása

A hőmérséklet a krakkolási folyamatok egyik legfontosabb műveleti paramétere. Általánosságban kijelenthető, hogy 600 °C feletti hőmérsékleten jelentősen megnő a kis szénatomszámú gáztermékek mennyisége (metán, etán, propán, stb.). Alacsonyabb hőmérsékleti szinten (<400 °C) a fő termék-frakció viszkózus folyadék fázis [6].

A legtöbb műanyag esetén a krakkolódás 300 °C körüli hőmérsékleten megkezdődik, amit azonban az adalékanyagok (stabilizátorok, lágyítók, pigmentek) igen jelentősen befolyásolhatnak. A legtöbb folyamatban ezért 350-500 °C közötti hőmérsékletet alkalmaznak [7]. A polimerek bomlására a hőmérséklet emelése jelentős hatással van, mivel a reakciósebességi állandó is jelentősen nő a hőmérséklettel. Megfigyelhető, hogy magasabb hőmérsékleten jóval rövidebb idő alatt, sokkal több illékony termék keletkezik [8].

#### 3.2. A katalizátor hatása

A katalitikus folyamatok során ionos mechanizmussal játszódnak le a bomlási folyamatok. Katalizátor jelenlétében a gázhozam részaránya jelentősen megnő, továbbá a képződött folyadékfázis átlagos molekula tömege is kisebb lesz, mint termikus esetben. Ez a jelenség annak köszönhető, hogy a katalizátor megnöveli a másodlagos krakkolódást. Így a hulladék polimerekből keletkezett termékek értékesebb szénhidrogén frakciókká alakultak át. Az eredmények egyértelműen alátámasztották a katalizátor krakkoló és izomerizáló hatását is. Előnyös továbbá az is, hogy a katalitikus eljárás során kevesebb energiát kell a rendszerrel közölni [8].

#### 3.3. A tartózkodási idő hatása

A különböző krakkolási hőmérsékleteken a tartózkodási idő növelésével arányos mértékben nő az illékony termékek hozama is. A jelenségnek az az oka, hogy a hosszú szénláncok krakkolódásának valószínűsége megnő a tartózkodási idővel, így végeredményben könnyebb szénhidrogének keletkeznek rövidebb szénláncsal. Továbbá a nem illékony frakcióban is alacsonyabb az átlagos molekulatömeg. Az is megfigyelhető, hogy nagyobb tartózkodási idővel a kokszosodási hajlam is megnő.



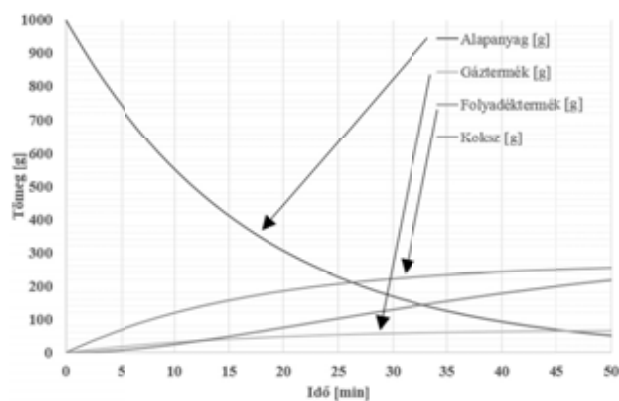
#### 4. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

A közleményünkben az időben diszkrét mért adatsorainkra illesztett folytonos görbéket mutatjuk be, amelyet a matematikai modellünk segítségével hoztunk létre. A mellékelt ábrákon (3.-5.) az alapanyag, gáz-, folyadéktermék, valamint a szilárd (kokszszerű) termékek görbéit tüntettük fel. A kátrány, valamint a köztitermékek lefutását nem ábrázoltuk, mivel a célunk kifejezetten a folyadékfázis maximalizálása volt a kísérleti szakasz jelenlegi fázisában.

Az eljárás fontos bemeneti paramétere a hőmérséklet, amelynek számottevő hatása van a termékeloszlásra, ezért vizsgálatot végeztünk három különböző hőmérsékleten is.

##### 4.1. 400 °C-on kapott eredmények

A 3. ábrán a 400 °C-on kapott eredmények láthatóak.



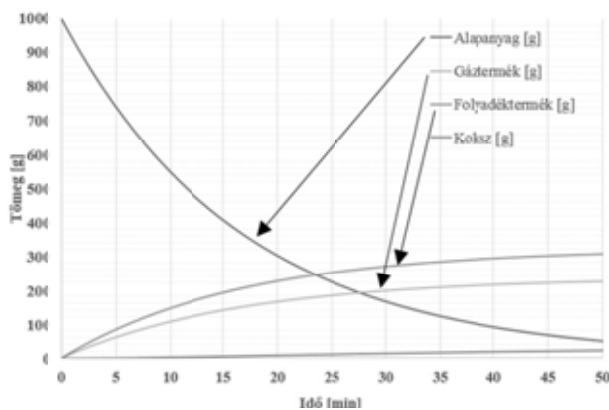
3. ábra 400 °C-on kapott eredmények

A 3. ábrán a tömegfogyási (alapanyag) görbe lefutásából is látható, hogy a konverzió 50 perc alatt sem volt teljes, ami jelentős veszteségként jelentkezik az eljárásban. Emellett fontos hátrány még az is, hogy igen jelentős mennyiségű szilárd (kocszszerű) frakció maradt vissza a reaktorban, ami káros a folyamat összességét tekintve.

##### 4.2. 450 °C-on kapott eredmények

A 4. ábra a 450 °C-on mért adatokat szemlélteti.

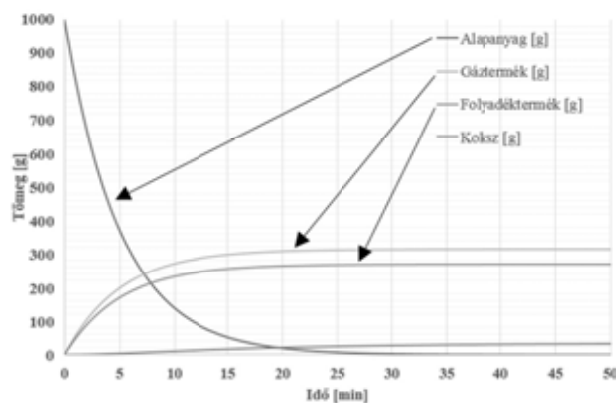
A 4. ábrán megfigyelhető a tömegfogyási görbe alapján, hogy 50 perc alatt a betáplált hulladékfrakció szinte teljesen termékkel alakult. Emellett látható még az is, hogy gyakorlatilag teljesen visszaszorult a káros kocsz képződés és jelentősen javult az előállított illékony termékek mennyisége (folyadék-, gáztermék). Összességében tehát elmondható, hogy 450 °C-on előnyösebb eredményeket produkáltunk, mint 400 °C-on.



4. ábra 450 °C-on kapott eredmények

##### 4.3. 500 °C-on kapott eredmények

Az 5. ábra az 500 °C-on végzett kísérlet eredményeit szimbolizálja.



5. ábra 500 °C-on kapott eredmények

Az 5. ábrán látható, hogy az alapanyag átalakulása már 25 perc alatt végbemegy, emellett a képződő folyadék- és gázfázis mennyisége is kielégítő.

Azonban érdemes megjegyezni, hogy a folyadék frakció mennyisége csökkent, a gázfázis pedig nőtt a 450 °C-on mért eredményekhez képest, ami esetünkben nem célravezető.

#### 5. KÖVETKEZTETÉSEK LEVONÁSA ÉS A KUTATÁSI CÉLOK MEGHATÁROZÁSA

Munkánk során termo-katalitikus krakkolási technológiát vizsgáltunk különböző hőmérsékleti szinteken, amely alkalmas gumi-, műanyag hulladék, illetve egyéb szilárd szén-hidrogén alapú nyersanyagot főként folyékony- és gáz halmazállapotú értékes frakcióvá konvertálni. A kísérleti eredményeinket alapul véve olyan általános matematikai modellt alkottunk, amely segítségével nagy biztonsággal végezhetünk vizsgálatokat is.

Az eredményekből látható, hogy a matematikai modell kidolgozása nagyban megkönnyíti a tudományos kutatást, mivel a rendszeren végzett konkrét fizikai mérések nélkül is végezhető elemzések az optimális működési körülmények pontosítására. Vizsgáltuk a termo-katalitikus eljárás fontos műveleti paramétereit is. Megállapítottuk, hogy adott paraméterkombináció mellett 450 °C-on érdemes a jövőben kísérleteket végeznünk.

A jövőbeni kutatásaink célja ezen felül az is, hogy a jelenlegi modellt ún. „Flowsheet” szimulátorba is tudjuk implementálni, amivel a számítási eredmények és érzékenységvizsgálatok tovább pontosíthatóak.

## 6. IRODALOM

- [1] G. S. BRADY, H. R. CLAUSER, *Materials Handbook*, 13th edn, McGraw-Hill Inc., ISBN 0-07-007074-1, 1991.
- [2] J. SCHEIRS AND W. KAMINSKY, *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*, 2006 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-470-02152-7.
- [3] V. MIKÁCSÓ, A. ZSEMBERI, Z. K. SIMÉNFALVI, Á. B. PALOTÁS, Investigation of tyre recycling possibilities with cracking process, *Lect. Notes Mechanical Engineering*, Springer Nature, *Vehicle and Automotive Engineering*, Proceedings of the JK2016, Miskolc, Hungary, ISBN 978-3-319-51188-7, Chapter 17.
- [4] J. AGUADO and D. P. SERRANO, *Feedstock Recycling of Plastic Wastes* (J. H. Clark ed.), Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1999.
- [5] M. BLAZSÓ and E. JAKAB, Effect of metals, metal oxides, and carboxylates on the thermal decomposition processes of poly-(vinyl chloride), *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 49, 125 (1999).
- [6] J. AGUADO, D. P. SERRANO, J. L. SOTELO, R. VAN GRIEKEN, J. M. ESCOLA, Influence of the operating variables on the catalytic conversion of a polyolefin mixture over HMCM-41 and nanosized HZSM-5, *Ind. Eng. Chem. Res.* 40, 5696 (2001).
- [7] P. N. SHARRATT, Y. H. LIN, A. A. GARFORTH, J. DWYER, Investigation of the catalytic pyrolysis of high-density polyethylene over a HZSM-5 catalyst in a laboratory fluidized-bed reactor, *Ind. Eng. Chem. Res.* 36, 5118 (1997).
- [8] N. MISKOLCZI; R. NAGY, Hydrocarbons obtained by waste plastic pyrolysis: Comparative analysis of decomposition describe by different kinetic models, *Fuel Processing Technology*, 2012

# KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSÉNEK EREDMÉNYEI A DUNAÚJVÁROSI EGYETEMEN

## RESULTS OF RESISTANCE SPOT WELDING OF AHSS IN UNIVERSITY OF DUNAÚJVÁROS

Dr. Palotás Béla\*, Pogonyi Tibor\*\*

### ABSTRACT

The paper shows the results of resistance spot welding of DP, TRIP, TWIP and HF steels, results proved that they can be welded without any grain growing. The results of research – which will be demonstrated in the paper – proved that these AHS steels shall be welded with complex welding schedules.

In the case of Dual Phase (ferrite + martensitic) steels a post weld heat treatment required for avoiding the high hardness in the weld.

Welding of TRIP steels is not easy task. Some cracks formed in the weld metal. These steels require complex welding schedule.

We investigated the structure and heat treatment of TWIP steels and also we examined the effects of rolling on it. We carried out resistance spot welding of these steels as well. The welds had lower hardness than base materials. The applicable complex welding schedule shall be found.

We carried out some experiments on HF steels. We investigated the effect of heat treatment on structure and also jointed them with resistance spot welding. The welds had higher hardness than base materials. The applicable complex welding schedule shall be found as well.

Experiments of resistance spot welding of Advanced High Strength Steels will continue at University.

### 1. BEVEZETÉS

A nagyszilárdságú szerkezeti anyagokra jellemző a finomszemcsés, sőt ultra-finomszemcsés szerkezet. A gyakorlatban ezeket az anyagokat is kell hegeszteni a szerkezetek gyártása során biztosítva azt, hogy a hegesztéskor ne jöjjön létre szemcsedurulás, vagy ne jöjjenek létre nem kívánt kiválások.

A Dunaújvárosi Főiskolán egy TÁMOP kutatási projekt keretében más ultra-finomszemcsés anyagok kutatása során, a gépjárműiparban már alkalmazott korszerű nagyszilárdságú acélok tulajdonságait is vizsgáltuk.

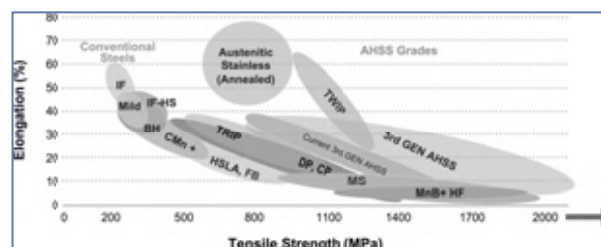
A kutatási program eredményeit az [1] - ben foglaltuk össze.

A korszerű nagyszilárdságú acélok közé tartoznak többek között a DP, TRIP, TWIP és HF acélok. A felsorolt acélok esetében volt lehetőségünk ellenállás ponthegeztési kísérleteket végezni.

A kapott eredmények hasznosíthatók a gyakorlatban, illetve további kísérletek kiindulásai lehetnek.

### 2. KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS HEGESZTÉSÜK

Az ultra-finomszemcsés acélok egyik csoportja az Advanced High Strength Steels (AHSS) acélcsoport, amelyeknél a szilárdságnövelés több mechanizmusát is alkalmazzák (pl. ötvözés, hőkezelés, kiválásos keményítés, diszperziós keményítés, szemcsefinomítás). Ebbe a csoportba tartoznak az általunk vizsgált acélok is. A hagyományos és az AHSS acélok mechanikai tulajdonságai a 1. ábrán és az 1. táblázatban láthatók [2].



1. ábra. Nagyszilárdságú acélok mechanikai tulajdonságai [2] (Conventional Steels: Hagyományos acélok, Austenitic Stainless (Annealed): Ausztenites korrózióálló acélok (lágýtott), AHSS Grades: AHSS minőségek, Current 3rd GEN AHSS: Jelenlegi 3. generációs AHSS)

A mangán - bór ötvözésű melegen alakított és szerszámban hűtött acélokkal (MnB+HF acélok) elérték már az 1900 MPa szakítószilárdságot mérhető alakváltozó képesség mellett.

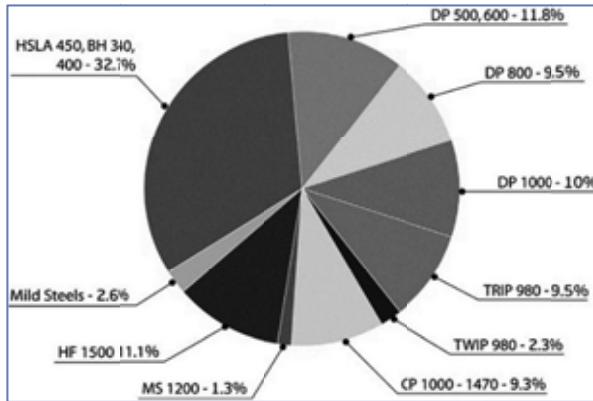
A korszerű nagyszilárdságú acélok széleskörű felhasználását az autókarosszériák gyártásában a 2. ábra szemlélteti. Az autókarosszéria gyártásban alapvető hegesztési eljárás az ellenállás ponthegeztés, így a továbbiakban ezzel az eljárással foglalkozunk.

\* Főiskolai tanár, Dunaújvárosi Egyetem

\*\* Gépészmérnök, műszaki ügyintéző, Dunaújvárosi Egyetem

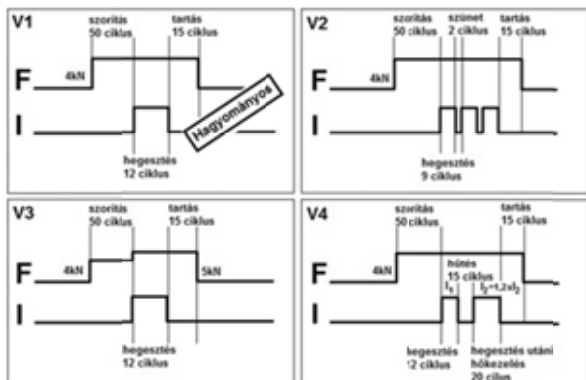
1. táblázat. AHSS acélok mechanikai tulajdonságai [2]

Acél minőség	$R_{p0.2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A_{80}$ (%)
HSLA 350/450	350	450	23-27
DP 300/500	300	500	30-34
DP 350/600	350	600	24-30
TRIP 450/800	450	800	26-32
DP 500/800	500	800	14-20
CP 700/800	700	800	10-15
DP 700/1000	700	1000	12-17
MS 1250/1520	1250	1520	4-6



2. ábra. Nagyszilárdságú acélok alkalmazása az autó karosszériagyártásban százalékosan lebontva [2]

Az AHSS acélok ellenállás ponthegeesztése nem egyszerű feladat, előnyben részesítik az összetett munkarendet. Összetett munkarend megvalósítható előmelegítéssel, előmelegítés és utólagos hőkezeléssel és az áramimpulzusokkal történő hegesztés is előnyös lehet. A nyomóerő vonatkozásában is összetett munkarend célszerű használni, amikor is az áram bekapcsolása előtt megnövelt nyomás elősegíti a darabok felfekvését, a csökkentett nyomóerő az áram bekapcsolása után csökkenti az elektródák benyomódását, míg az utólagos erőnövelés nagyobb szilárdságú kötést eredményez. Az összetett munkarendekre példát a 3. ábrán mutatunk be [2].

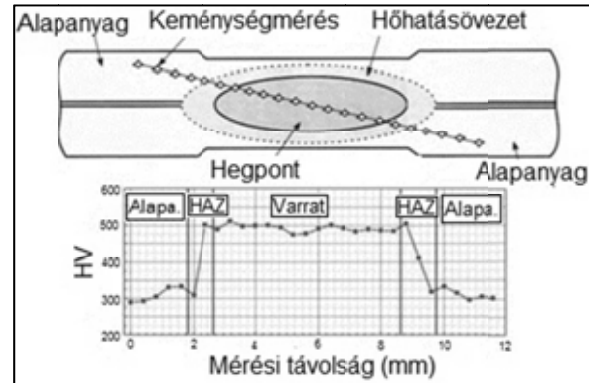


3. ábra. Összetett munkarendek ellenállás ponthegeesztésnél [2]

A továbbiakban ez egyes alapanyagokon végzett kísérletek eredményeit foglaljuk össze.

### 3. DP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A DP acélokon végzett kísérleteink során az egyik célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a szilárdsági szempontból megfelelő kötéseken létrejön-e szemcsedurulás a hőhatás övezetben, vagy sem. Vizsgálataink másik célja az volt, hogy meghatározzuk azt, hogy hogyan tudjuk elkerülni a varratfémbe általában tapasztalható felkeményedést (4. ábra).



4. ábra. DP acélokon tapasztalt keménység eloszlás ellenállás ponthegeesztésnél [2]

#### 3.1 A szemcseméret ellenőrzése

Lehetőségeink volt megvizsgálni azt, hogy a DP 500, DP 600, DP 800 és DP 1000 acélokon, nem okoz-e szemcsedurulást az ellenállás ponthegeesztés a hőhatás övezetben.

A hegesztőgép egy PFP 281 típusú inverteres ellenállás ponthegeesztő gép volt, amelynek a beállítását statisztikus mérőeszközökkel ellenőriztük és meghatároztuk adott beállításhoz tartozó paramétereket. A berendezés középfrekvenciás áramú hegesztést tesz lehetővé, ez előnyös a váltakozó áramú hegesztéshez képest [2].

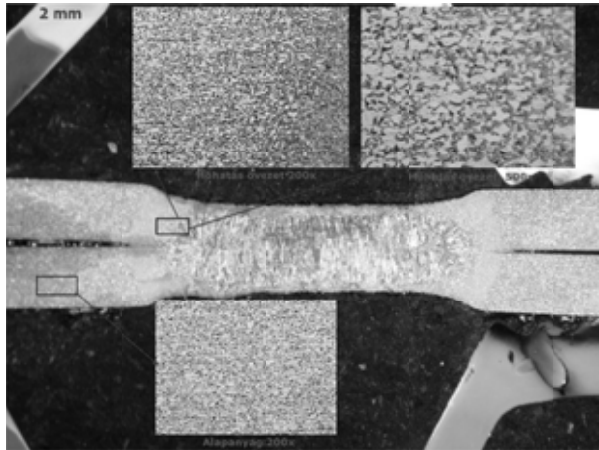
A ponthegeesztési kísérleteket  $\varnothing 5$  mm-es elektródával az 1 mm vastag DP 600 és az 1,1 mm vastag DP 800 acélokon végeztük. A DP 500 és DP 1000 acélokon  $\varnothing 6$  mm-es elektródával készítettük a kötéseket, mert a lemezvastagság 1,4 illetve 1,2 mm volt. Az alkalmazott hegesztési paraméterek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. Alkalmazott hegesztési paraméterek

Jellemzők	$I_{\text{heg}}$ (kA)	$t_{\text{heg}}$ (ms)	$F_{\text{heg}}$ (daN)
DP 500, s = 1,4 mm	10	400	400
DP 600, s = 1,0 mm	8,5	400	400
DP 800, s = 1,1 mm	9	400	400
DP 1000, s = 1,2 mm	9,5	400	400

A kötéseknel nyíró - szakító vizsgálatot végeztünk és mértük a szemcsefinomságot az alapanyagban és a hőhatás övezetben. A kötések a szakadás helyei alapján megfelelőnek voltak minősíthetők, a kötések általában kigömbölyödással szakadtak.

A kötésekben kimunkált mikroszkópi csiszolatokon mértük a szemcseméretet az alapanyagban és a hőhatás övezetben is, illetve készítettünk összefoglaló ábrákat is. A DP 500 típusú acél esetében az 5. ábra mutatja a makro- és mikro szerkezetet. A felvétel szerint az ellenállás ponthegeztés nem okozott szemmel látható szemcsedurvulást a hőhatás övezetben. A szemcsefinomságot képelemző szoftverrel is ellenőriztük.



5. ábra. DP 500 jelű acél hegesztett kötésének makro és mikro szerkezete

A különböző esetekben kapott szemcsefinomságokat a 3. táblázatban gyűjtöttük össze, a szemcsefinomsági mérőszámok legalább 5 pontban elvégzett elemzés eredményeinek az átlagai.

3. táblázat. DP acéllemezek szemcsefinomságai

Jellemzők	$I_{\text{heg}}$ (kA) $t_{\text{heg}} = 400$ ms] $F_{\text{heg}} = 400$ daN]	„n” alap- anyagban	„n” hőhatás övezetben
DP 500, $s = 1,4$ mm	10	15,6	15,3
DP 600, $s = 1,0$ mm	8,5	15,9	15,1
DP 800, $s = 1,1$ mm	9	15,2	15,6
DP 1000, $s = 1,2$ mm	9,5	13,5	13,5

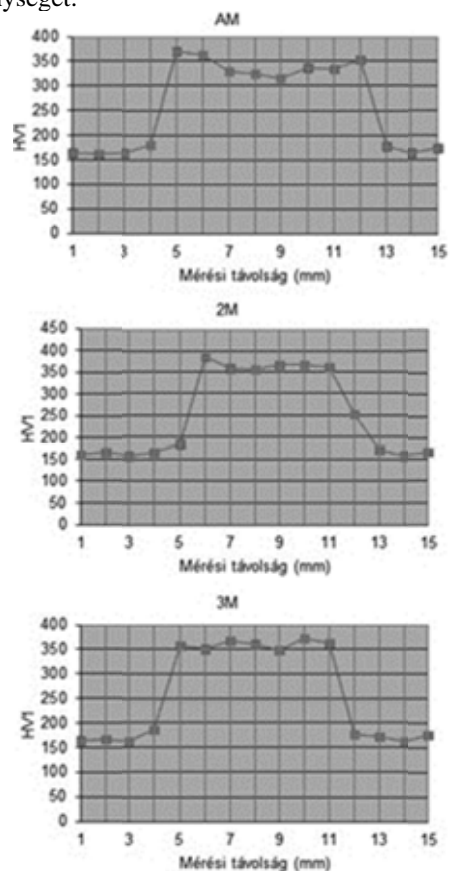
„n”: a szemcsefinomsági mérőszám

Az eredmények azt mutatják, hogy lényeges szemcsedurvulás nem jött létre, ha a tizedes értékekben látható eltéréseket nem vesszük figyelembe. Vizsgálataink azt igazolták, hogy az ellenállás ponthegeztés nem hoz létre szemcsedurvulást az ultrafinomszemcsés DP acélokban.

### 3.2 A keménység csökkentése a varratban

A keménység eloszlását ellenőriztük különböző esetekben. Alapesetben, előmelegítéssel és utólagos hőkezeléssel is, sőt áramimpulzusok alkalmazásával is készítettünk kötések.

DP 500 típusú,  $s = 1,4$  mm vastag acéllemezekon áramimpulzusok alkalmazásával készítettünk kötések. Az ezekről kapott keménységeloszlások a 6. ábrán láthatók. Az alapparaméterekkel, 1 impulzussal készített kötés az „AM” jelet kapta ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 400$  ms,  $F_{\text{heg}} = 400$  daN). A „2M” két impulzus, a „3M” jelölés három impulzus alkalmazását jelenti ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 150$  ms,  $F_{\text{heg}} = 300$  daN, szünetidő: 230 ms). A kapott eredmények kiértékelése után megállapítottuk, hogy az áramimpulzusok alkalmazása nem csökkentette a varratban a keménységet.

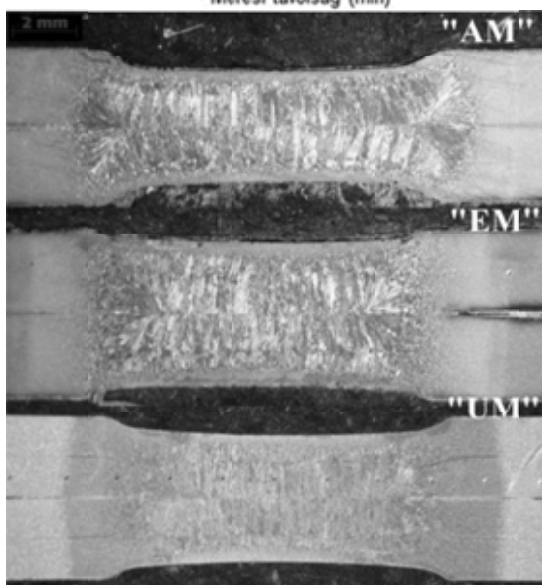
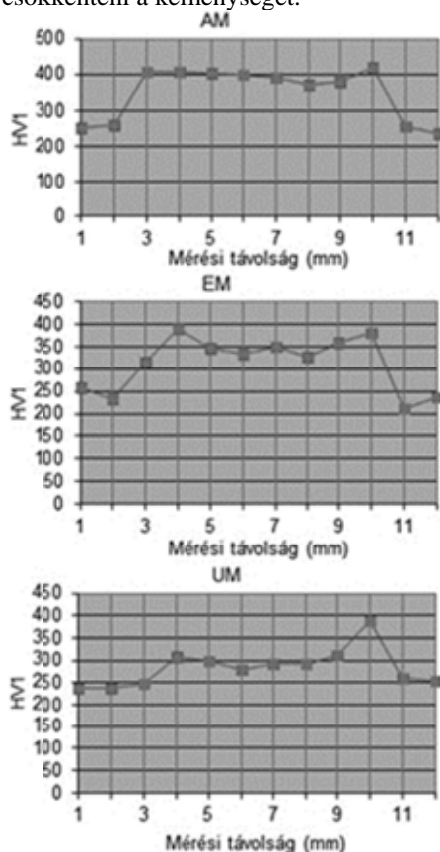


6. ábra. A keménységeloszlás diagramjai DP 500 acélnál áramimpulzusok alkalmazása esetén

További kísérleteket végeztünk DP 800 jelölésű  $s = 1,6$  mm vastag acéllemezekon, ezek keménységeloszlása látható a 7. ábra diagramjain.

Itt az „AM” alapeset kötését három áramimpulzus alkalmazásával készítettük ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 3 \times 150$  ms,  $F_{\text{heg}} = 300$  daN, szünetidő: 230 ms). Előmelegítés során a darabokat  $200$  °C-ra hevítettük kemencében, majd ugyanazokkal a paraméterekkel hegesztettük, mint az alapesetnél. Ennek diagramja az

„EM” jelölést kapta. Az ábrán „UM” jelölésű diagram mutatja az utólagos hőkezelési cikluson átesett munkadarabok keménységeloszlását. Az alapeseti paraméterekkel hegesztett kötések lehűlés után végeztük el a hőkezelést a hegesztőgépen, síkelektrodák között ( $d_e = 16 \text{ mm}$ ,  $I_{hök} = 9 \text{ kA}$ ,  $t_{hök} = 1 \text{ s}$ ,  $F_{hök} = 300 \text{ daN}$ ). Az előmelegítés nem hozott létre keménység csökkenést, míg az utólagos hőkezeléssel jelentősen tudtuk csökkenteni a keménységet.



7. ábra. Keménységeloszlás diagramjai DP 800 acélnál alapesetben (AM), előmelegítéssel (EM) és utólagos hőkezeléssel (UM)

#### 4. TRIP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A TRIP típusú acélok ellenállás ponthegesztése igen bonyolult feladat, a paramétere tervezés nagy odafigyelést igényel. Az anyag kristályosodási repedésképződése miatt mindenképpen utólagos hőkezeléssel tervezett összetett munkarend alkalmazása javasolt a szakirodalmak szerint [3].

TRIP acélon végzett hegesztési kísérleteink célja az, hogy olyan hegesztési paramétereket találjunk, mellyel elkerülhető a varrat és a hőhatásövezet keménységnövekedése, valamint a varratban és a varrat határán létrejövő kristályosodási repedésképződés.

Az általunk vizsgált TRIP acélok szakítószilárdsága  $R_m = 725 \text{ MPa}$ , egyezményes folyáshatára  $R_{p0,2} = 452 \text{ MPa}$ , az átlagos szakadási nyúlása pedig  $A_{80} = 31 \%$  volt.

Mivel a Dunaújvárosi Egyetem hegesztőbázisán található ellenállás ponthegesztő géppel összetett munkarenddel nem tudunk hegesztetni, így ezeken az acéllemezeken a REHM Kft. inverteres áramú NIMAK billenőkaros ellenállás ponthegesztő fogójával végeztük a kísérleteket. A berendezés 20 kA maximális áramerősségre képes. A szükséges elektrodaerőt pneumatikus vezérlés adja, melyhez a sűrített levegőt gázpalackról biztosítják. A hegesztési paraméterek a hegesztőgéphez kapcsolt számítógépen állíthatók be. A hegesztéshez használt sapkaelektroda CuCrZr anyagú,  $d_e = 6 \text{ mm}$  átmérőjű, kúpos kialakítású típus volt.

Az anyag lemezevastagsága  $s = 1 \text{ mm}$  volt. Négy különféle hegesztési paramétert állítottunk össze, szakirodalmi ajánlásokból kiindulva [3]. Ezeket a 4. táblázatban foglaltuk össze, a vizsgált acél kémiai összetétele az 5. táblázatban látható. A T1 jelölésű kötés összetett munkarendje egy hegesztési és egy hőkezelési ciklust tartalmaz, folyamatos elektrodaerő mellett. A T2 jelzésű kötés hőkezelés nélküli egyszerű munkarenddel készítettük, hogy jól szemléltethető legyen az acél repedésérzékenysége. A T3 kötés esetében a hőkezelő ciklus előtt 3 áramimpulzussal hegesztettük össze a lemezeket, a T4 jelölésű kötésnél pedig 2 áramimpulzust alkalmaztunk a pontvarrat létrehozásához. A T1 és T2 jelű paraméterekkel készítettünk próbatesteket nyíró – szakító vizsgálatra, ezen felül mind a 4 paraméterrel készítettünk 1 - 1 kötés keménységmérésekhez.

A következő paramétereket állandó értéken tartottuk:

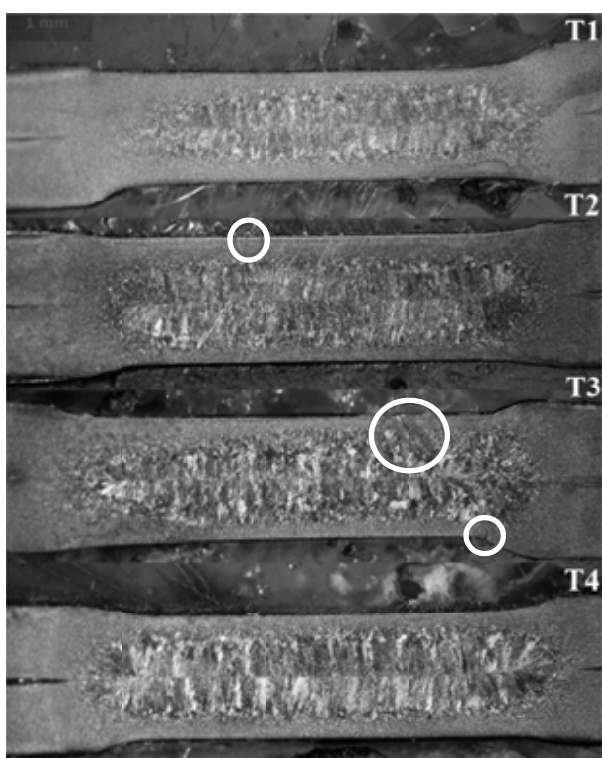
- Előtartási idő: 78 periódus,
- Áram felfutási idő: 20 periódus,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utótartási idő: 47 periódus,

A T1 jelű kötés esetében  $F_m = 11,61 \text{ kN}$ , a T2 kötés esetében pedig  $F_m = 10,87 \text{ kN}$  nyíró - szakító erő mértünk. A kapott nyíró – szakító erők mindkét esetben meghaladják a [2] alapján kiszámított minimális nyíró – szakító erő értékét (7,21kN), így azok szilárdsági szempontból megfelelőnek minősíthetők.

4. táblázat. TRIP acél hegesztésének paraméterei

Hegesztési paraméterek	Próbadarab jelölése			
	T1	T2	T3	T4
$I_{\text{heg}}$ (kA)	10	10	3 x 10	2 x 10
$t_{\text{heg}}$ (ms)	260	260	3 x 180	2 x 210
$F_{\text{heg}}$ (daN)	385	385	385	385
$t_{\text{szünet}}$ (ms)	60	0	60	60
$I_{\text{hök}}$ (kA)	4	0	4	4
$t_{\text{hök}}$ (ms)	600	0	600	600

A kötésekben készített csiszolatok a 8. ábrán láthatóak. A képen pirossal bekarikáztuk a felfedezett repedéseket, melyek a T2 és T3 kötésekben jelentek meg. A repedések a szakirodalmi adatokkal összhangban kristályosodási repedések és korábbi vizsgálataink során is hasonló repedéseket tapasztaltunk [4].



8. ábra. TRIP acélok ponthegeesztett kötéseinek makroszerkezete

A repedés akkor jött létre, ha egyszerű munkarendet alkalmaztunk, illetve ha 3 impulzus alkalmazásával készült a kötés. Az utólagos hőkezelés szükséges a repedés elkerülésére, a 3. ábra szerinti V4 munkarend tűnik jól alkalmazhatónak.

A keménységmérés eredményeit a 9. ábrán mutatjuk be. A keménység eloszlásában a hegesztési munkarendtől függetlenül nem találtunk lényeges eltéréseket. Vizsgálataink szerint a varratban lényegesen nagyobb keménység jön létre az alapanyag keménységéhez viszonyítva. Az utólagos hőkezelés alkalmazása nem hozott létre elfogadható keménységet.

Valószínű, hogy az utólagos hőkezelés idejét növelni kell.

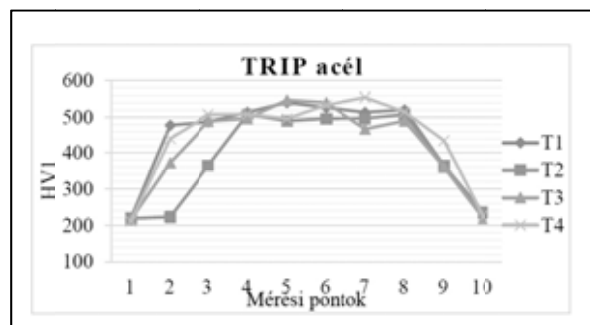
A megfelelő munkarend és hegesztési paraméterek meghatározása további kísérletek elvégzését teszi szükségessé.

## 5. TWIP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A TWIP acél magas mangántartalommal rendelkező acél, ezért szobahőmérsékleten is ausztenites szövetszerkezetű. Az ausztenites szerkezet és a deformáció hatására megjelenő ikerkristályoknak köszönhetően kiválóan alakítható acél. Emellett a TWIP acél szakítószilárdsága az 1000 MPa-t is meghaladhatja, 20 % -nál nagyobb szakadási nyúlás mellett.

5. táblázat. A vizsgált TRIP acél összetétele

Elem	C	Mn	Si	Al
Tömeg %	0,17	1,77	0,35	1,2



9. ábra. TRIP acélok hegesztett kötéseiben mért keménységeloszlás

A vizsgált TWIP acélt öntött állapotban kaptuk (C = 0,05 %, Si = 2,59 %, Mn = 24 %, S = 0,01 %, P = 0,01 %) és hőkezeléssel alakítottuk ki az anyagra jellemző szövetszerkezetet. Képlékeny hidegalakítással (hengerléssel) hoztuk létre a szükséges szövetszerkezetet.

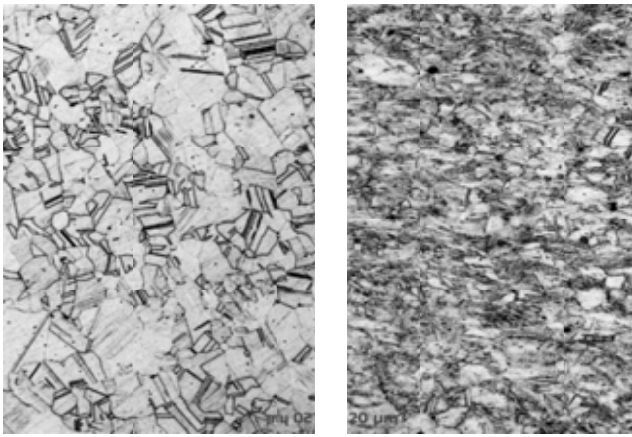
A TWIP acélokra jellemző szövetszerkezet és az alakított szerkezet a 10. ábrán látható.

Hengerlés után  $R_m=1412$  MPa szakítószilárdságot és  $A = 20,3$  % szakadási nyúlást mértünk az alapanyagon.

Az ellenállás ponthegeztési paraméterek az előkísérletek során a következők voltak:  $I_1 = 6$  kA,  $I_2 = 7$  kA,  $I_3 = 8$  kA,  $t = 350$  ms,  $F = 3$  kN (az előtartási idő 60 ms és az utótartási idő, pedig 30 ms) [5] alapján.

A kötések minőségét nyíró - szakítóvizsgálattal ellenőriztük, a szükséges nyíró - szakító erő értéke az alapanyagban mért szilárdság alapján (1412 MPa a három mérés átlagából) a 1 mm-es lemezvastagságot figyelembe véve: 7,54 kN, [2] alapján.

A hegesztett kötésekben  $F_{m1}=8,741$  kN,  $F_{m2}=10,236$  kN és  $F_{m3}=9,731$  kN nyíró - szakító erőt mértünk.

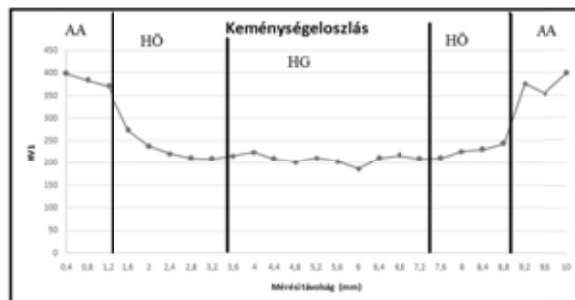


10. ábra. A TWIP acél alakítás nélküli és alakított mikroszerkezete

A második beállítást alkalmazva – ekkor mértük a legnagyobb nyíró – szakító erőt – több kötést is készítettünk és ezeken végeztük el a szükséges vizsgálatokat.

A nyíró – szakító vizsgálat szerint,  $F_{m4}=10,45$  kN;  $F_{m5}=10,36$  kN és  $F_{m6}=9,406$  kN, erőket mértünk, ezek átlaga: 10,07 kN. Az eredmények megfelelnek a korábban már megadott szükséges nyíró - szakító erőnek.

A keménységeloszlást a 11. ábrán mutatjuk be. A varratfémbe kilágyulást tapasztaltuk, a kilágyulás elkerülésére további vizsgálatokat kell elvégezni.



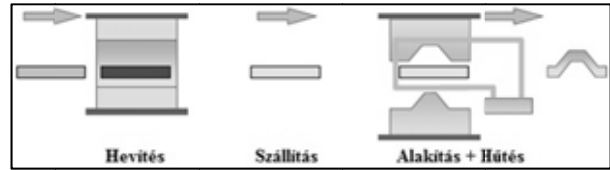
11. ábra. TWIP acél ellenállás ponthegeesztett kötésében mért keménységek

## 6. MN – B ÖTVÖZÉSŰ MELEGEN ALAKÍTHATÓ ACÉLOK (HF) ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A legnagyobb szilárdságokat a Mn – B ötvözésű acéloknál mérték. Ezekre jellemző, hogy melegen alakítják őket és alakítás után az alakító szerszámban edzik. Az előgyártmány különleges bevonattal van ellátva, ez biztosítja azt, hogy nem revésedik a megalakítás során. A hőkezelés eredményeképpen nagy részében martenzites szövetszerkezetű alkatrészt kapnak (12. ábra).

A martenzites acélokon (C = 0,25 %, Si = 0,35 %, Mn = 1,4 %, Cr = 0,3 %, B = 0,005 %) végzett ellenállás ponthegeztési kísérleteink célja az volt, hogy megfelelő

szilárdságú kötést készítsünk, továbbá vizsgáljuk a hőhatásövezet valamint a varrat keménységét, így az ipari felhasználásra is javasolható megfelelő hegesztési paramétereket határozzunk meg.



12. ábra. Mn - B ötvözésű HF acélok feldolgozásának lépesei [6]

A lemezeket hőkezeltük, ausztenitesítés után olaj és vízű hűtést alkalmaztunk.

A HF acélokon az 6. táblázat szerinti hegesztési paramétereket alkalmaztuk az előkísérletek során. A másodlagos paramétereket állandó értéken tartottuk. (Előtartási idő: 80 periódus, áram felfutási idő: 20 periódus, impulzusszám: 1, impulzus-szünet idő: 0 periódus, utótartási idő: 50 periódus).

6. táblázat. HF acélok hegesztési paramétereit

Hegesztési paraméterek	Próbadarab jelölése				
	M1	M2	M3	M4	M5
$I_h$ (kA)	5,3	6	7	7	8
$t_h$ (ms)	400	300	300	240	240
$F_{heg}$ (daN)	500				

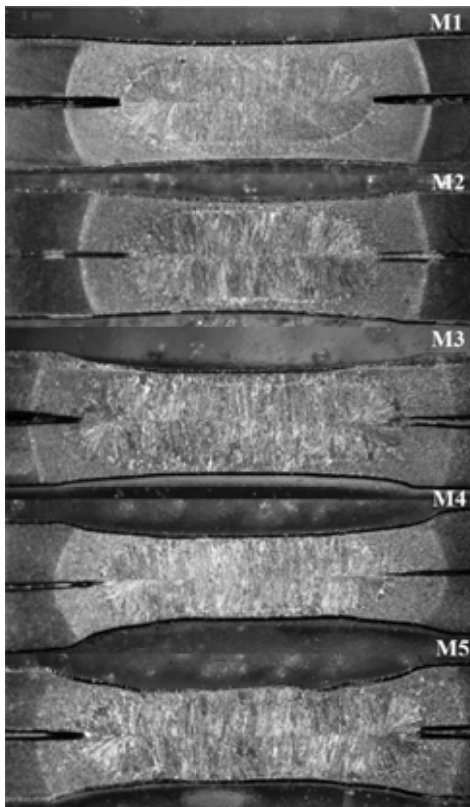
A hegesztett kötések makroszerkezetei a 13. ábrán láthatók.

A makroszerkezet alapján az M3, M4 és M5 jelű kötés túlhevítettnek látszik. A [7] irodalom szerint célszerű minél kisebb áramot és minél nagyobb nyomóerőt alkalmazni, ennek megfelelően terveztük meg a kísérletek.

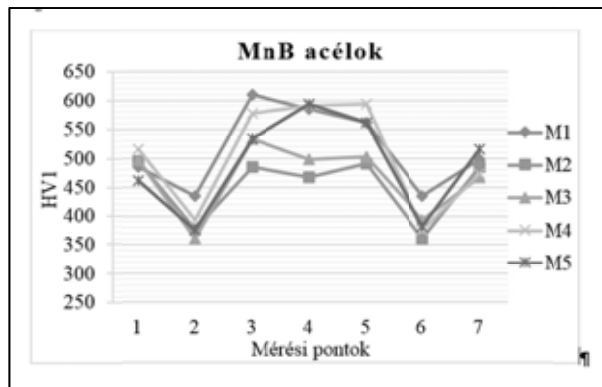
A hegesztett kötésekben kapott nyíró - szakító erő nem érte el a szükséges értéket (28,24 kN). A magas érték az alapanyag nagy szilárdságából adódik. A mért legnagyobb nyíró – szakító erő 18,45 kN volt. A kötések kigombolódással szakadtak el, így lehetséges, hogy a szükséges nyíró - szakító erőre más kritériumot kell adni.

A legjobbnak az  $I_h = 6$  kA,  $t_h = 300$  ms,  $F_h = 500$  daN paramétereket tartottuk. Ezzel a paraméterrel készített kötésekben szilárdsági vizsgálatokat és keménységmérést végeztünk. A szilárdságban nem tudtuk elérni a szükséges értéket. A kapott keménységeloszlás a 14. ábrán látható.





13. ábra. HF acélok ponthegeesztett kötéseinek makroszerkezete



14. ábra. A HF acélok ponthegeesztett kötéseinek keménységeloszlása

A keménységeloszlás szerint a hőhatás övezetben kilágyulás, a varratban pedig az alapanyagnál nagyobb keménység jött létre. A megfelelő hegesztési munkarend meghatározása további kísérleteket igényel.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A műszaki fejlődés egyik jelentős eredménye az ultra-finomszemcsés szerkezeti anyagok kifejlesztése. Ezek előállításának vizsgálatára, feldolgozásukra, tulajdonságaik megismerésére több kutatási program is született. Ilyen program volt a Dunaújvárosi Főiskola TÁMOP 4.2.2.A – 11/1/KONV-2012-0027 számú

projektje. Ennek keretében megvizsgáltuk a különböző módszerrel készített ultra-finomszemcsés anyagok hegesztésének lehetőségeit is. Célunk olyan hegesztési technológia illetve eljárás alkalmazása volt, amely nem okoz szemcsedurvulást, illetve nem hoz létre nem kívánt kiválásokat.

Az autóiparban alkalmazott korszerű nagyszilárdságú acélok kategóriájába tartozó DP, TRIP, TWIP és HF acéloknál megvizsgáltuk, hogy az ellenállás ponthegeztés okoz-e szemcsedurvulást a hőhatás övezetekben, illetve a varratokban mérhető keménységet hogyan tudjuk az alapanyagok keménységéhez közelíteni. Arra a következtetésre jutottunk, hogy célszerű összetett munkarenddel hegesztetni a korszerű nagyszilárdságú acélokat. Eredményeink összhangban vannak a [8] irodalom eredményeivel. A legjobban alkalmazható hegesztési munkarend meghatározásához további kísérleteket kell végezni.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat különszám, Dunaújvárosi Főiskola, TÁMOP-4.2.2.A - 11/1/KONV-2012-027, 2014. 5. – 6. szám, 147. évfolyam, p. 4 – 50. ([www.ombkenet.hu](http://www.ombkenet.hu))
- [2] Advanced High Strength Steel (AHSS), Application Guidelines, Version 5.0. Written by International Iron & Steel Institute, Committee on Automotive Applications, May 2014. [www.worldautosteel.org](http://www.worldautosteel.org)
- [3] S. KEELER, M. KIMCHI: Advanced High-Strength Steel Application Guidelines Version 5.0. In: [worldautosteel.org \[online\]. \[2014. 05. 14.\]](http://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/)
- [4] C. OROSZ, B. PALOTÁS, J. DOBRÁNSZKY: Welding Investigations of Modern High Strength Dual Phase and TRIP – steel for Automotive Industry application, Journal Materials Science Forum, Vols. 537-538 (2007). p.: 431 - 438
- [5] J. YU, D. CHOI, S. RHEE: Improvement of Weldability of 1 GPa Grade Twin-Induced Plasticity Steel, Welding Research, Marc 2014
- [6] ArcelorMittal: Hot Stunkping with USIBOR1500P. In: AP&T Advanced Hot Stunkping Seminar, Detroit, (2010.11.15.)
- [7] Y.-S. JONG, Y.-K. LEE, D.-C. KIM, M.-J. KANG, IN-S. HWANG, W.-B. LEE: Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Ultra High Strength Steel Containing Boron. In: Materials Transactions, Vol. 52, No. 6 (2011) p.: 1330-1333.
- [8] BALOGH A. – PRÉM L.: Hagymányos és korszerű autóipari acéllemezek ponthegeesztetőségének vizsgálata, Hegesztés-technika, XXIV. évf. 2013.4. szám, p.: 41 – 49.

# AKTÍV ERNYŐS PLAZMANITRIDÁLÁS BIAS FESZÜLTSGÉNEK HATÁSA NITRIDÁLHATÓ ACÉL NITRIDÁLT RÉTEGÉRE

## INFLUENCE OF ACTIVE SCREEN BIAS VOLTAGE ON PLASMA NITRIDED LAYERS OF LOW ALLOYED NITRIDABLE STEEL

Szilágyiné Biró Andrea\*, Dr. Tisza Miklós\*\*

### ABSTRACT

*In most cases the surfaces of engineering parts have an important role in increasing lifetime: surface needs to be wear and/or corrosion resistant, while the rest of the part needs to be tough/ductile. The surface engineering can help to fulfil these complex requirements. Using this heat treatment technology, it is possible to produce a hard surface layer on the components*

*Nitriding is a widely used process to alloy the surface with nitrogen. Plasma technology is an environmental-friendly process with some difficulty, which causes by electric field around the edges/corners. In the last few years, application of active screen plasma nitriding is an important area of the top research fields.*

*During our experiments we applied active screen plasma nitriding using different bias voltage, to investigate the role of this parameter in layer structure formation.*

### 1. BEVEZETÉS

Mindaddig, amíg az alkatrészek felületével szemben a kopásállóság elvárásaként felmerül, a nitridálás technológiája fontos hőkezelési technológia lesz az ipari gyakorlatban és a hőkezelési kutatásban egyaránt.

E publikáció célja napjaink hőkezelési kutatásainak középpontjában álló aktív ernyős plazmanitridálás során alkalmazott BIAS feszültség rétegszerkezetre gyakorolt hatásának bemutatása az elvégzett kísérletek alapján.

#### 1.1. A nitridálás jelentősége

Az alkatrészek termokémiai kezeléseik között a karbon felvételével járó cementálás, a nitrogén felvételével járó nitridálás és a bór felvételével járó boridálás rendre a három leggyakrabban alkalmazott technológia.

A nitridált alkatrész legfontosabb felhasználói tulajdonságai [1][2]:

- nagy felületi keménység,

- növelt kopásállóság,
- növelt fáradási élettartam és korróziós ellenállás,
- a felületi réteg nagyobb hőmérsékleten is stabil (mint betétedzésnél).

#### 1.2. A nitridált réteg szerkezete

Az Fe-N kétalkotós állapotára a nitrogén vashoz való viszonyának a karbonéhoz való hasonlósága miatt hasonló az Fe-C rendszerhez. Azonban a nitrogén olyan rendezett rácsú szilárd oldatokat hoz létre, amelyek termodinamikailag stabil állapotban vannak, így magasabb (a réteg keletkezés kori) hőmérsékleten is megtartják szilárdságukat [3].

A nitridálás hőmérsékletén először a ferrites állapotú acél nitrogéntartalma növekszik annak oldhatósági határáig. Amikor a nitrogéntartalom meghaladja az oldhatósági határt (0,115%), helyileg  $\gamma'$  csírák képződnek és növekednek, amíg összefüggő réteggé nem alakulnak. E fázis oldhatósági határát elérve (6,1%) a folyamat további részében  $\epsilon$  csírák képződnek és növekednek réteggé a felületen. Más fázisok nem keletkeznek.

Acélok nitridálása során a karbon és a nitrogén egymást helyettesíthetik, karbonitrid fázisokat alakítva ki. Ötvözött acélok esetén a jelenlévő ötvözők csökkentik a nitrogén diffúzióját, azonban növelik az elérhető keménységet. Az ötvözők között a legstabilabb nitrideket a Zr, a Ti és az Al képezi, míg a Cr, Mo, V a közepesen erős nitridképzők közé tartoznak. Az ilyen elemeket tartalmazó acélok esetében az elérhető maximális keménység nagy, meghaladhatja az 1000 HV-t. A nagy keménység mellett azonban mivel ezek az elemek megkötik a nitrogént, az elérhető rétegmélység kisebb, 0,1-0,4 mm a nitridálás szokványos paramétereinek mellett. Ugyanilyen paraméterek mellett a gyenge nitridképzőket tartalmazó, vagy erős nitridképzőkkel csak kis mértékben ötvözött acélok nitridált rétege akár 1 mm is lehet.

\* tanársegéd,

\*\* egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet

A nitridált réteg két, mikroszkópi képen is jól elkülöníthető részből áll:

- a felületi  $\gamma'$  és  $\epsilon$  fázisok mikroszkópi képen Nital marószerral (2%-os  $\text{HNO}_3$  oldat) jól megkülönböztethetően alkotja a vegyületi réteget, amely elsősorban az alkatrész kopásállóságát biztosítja,
- a vegyületi réteg alatt a nitrogént tartalmazó ferrit az ún. diffúziós zóna, amelynek keménysége kisebb, mint a vegyületi rétegé, azonban az oldott nitrogén miatti nyomófeszültségnek köszönhetően növeli az alkatrészek fáradással szembeni ellenállását.

## 2. A PLAZMANITRIDÁLÁS TECHNOLÓGIÁJA

A nitridálásnak három fő eljárásváltozata terjedt el a gyakorlatban [1][2][4]:

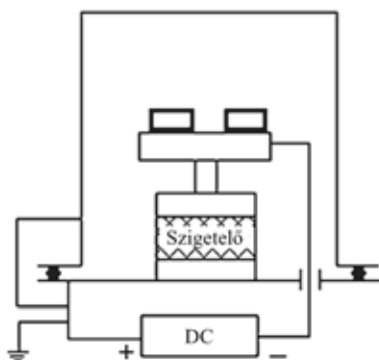
- gáznitridálás (amelynél ammónia a nitrogénleadó közeg: ennek folyamatos áramoltatása szükséges),
- sófürdős nitridálás (amelynek kezelési ideje a sófürdő anyagátadási hatékonysága miatt lényegesen rövidebb a többi eljárásváltozatnál),
- plazmanitridálás (amely esetben nitrogéngáz biztosítja a vákuumkemencében villamos körben elhelyezett alkatrészek kezelését).

A technológiák közös paraméterei:

- a kezelés ideje,
- a kezelés hőmérséklete,
- a nitrogénleadó közeg összetétele.

### 2.1. Hagyományos plazmanitridálás

Plazmanitridálás során a darabokat az alacsony nyomású (1-2mbar) katódként kapcsolt kemence falától elszigetelve anódként kapcsolják (1. ábra). Az alkalmazott feszültség 500-1000V. A kezelés során a nitrogén gáz ionjai a munkadarab felülete felé gyorsulnak, majd becsapódnak. A becsapódott ionok egyrészt felmelegítik a munkadarabok felületét, másrészt abszorbeálódnak, így ötvözve azt. A becsapódáskor keletkező lila fény a technológia természetes kísérő jelensége.



1. ábra. Hagyományos plazmanitridálás elrendezési vázlatja [5]

Az eljárás főbb technológia-specifikus paraméterei:

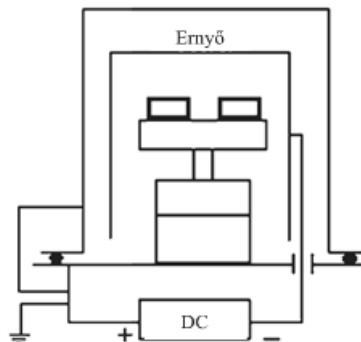
- nyomás,
- feszültség.

A technológiának van néhány alkalmazási nehézsége, amelynek legfőbb oka a darabokra kapcsolt nagy feszültség:

- egyenetlen hőmérséklet a kemencén belül: az eltérő geometriájú próbatetek különbözőképpen hevülnek, és a próbatetek nem megfelelő elhelyezése miatt előfordulhat, hogy egyes felületek leárnyékolódás miatt nem a kívánt hőmérsékletet éri el;
- ívképződés: nemfémes zárványok és szennyeződések okozhatnak a kezelés első szakaszában olyan helyi zárlatokat, amelyek felhevülést, akár a felület helyi megolvadását eredményezhetik, ezzel rontva a kialakuló réteg minőségét,
- üregkatód hatás: kisméretű furatokban vagy nem megfelelő távolságban elhelyezett munkadarabok között az ionok megrekedhetnek, oda-vissza csapódhatnak a felületek között, ami jelentős túlhevülést eredményez,
- élfhatás: plazmanitridálás során a több irányból való diffúzió mellett a munkadarabokra kapcsolt feszültség miatt az éleken kialakuló elektromos mező a réteg látható inhomogenitását okozza.

### 2.2. Aktív ernyős plazmanitridálás

Az aktív ernyős technológia során a munkadarabok köré helyezett ernyőre kapcsolják a munkafeszültséget, míg a darabok vagy egy kisebb feszültségen vannak (2. ábra), vagy egyes esetekben nem kapcsolnak rájuk feszültséget – ez a lebegő potenciál esete.



2. ábra. Aktív ernyős plazmanitridálás elrendezési vázlatja [5]

Ez a technológiaváltozat a plazmanitridálásnál felsorolt nehézségeket minimálisra csökkenti:

- mivel a nagy feszültség az ernyőre van kapcsolva, így a próbadarabok sugárzással hevülnek fel, ami egyenletesebb hőmérsékletet jelent,
- az ívképződés jelensége a munkadarabokon teljesen megszűnik, így egyúttal csökken a felület tisztaságával szemben támasztott követelmények szigorúsága [6],
- a kisebb vagy lebegő feszültségen lévő darabok esetén nagymértékben lecsökken az üregkatód hatás kialakulásának esélye,

- ugyancsak a kisebb vagy lebegő feszültség miatt nincs éhatás [7].

Az aktív ernyős technológia azon túl, hogy segít kiküszöbölni a közvetlen ívből adódó nehézségeket [8], tovább bővíti a nitridálás alkalmazhatóságának körét is: akár nem vezető anyagok, még polimerek felülete is nitridálható ezzel a változattal [9][10].

A főfeszültség munkadarabokról ernyőre való áthelyezése miatt további technológiai paraméterek befolyásolják a kialakuló réteg szerkezetét:

- a BIAS feszültség értéke [6],
- az ernyő és a munkadarabok távolsága [6][11][12],
- az ernyő geometriája [11][13].

Az aktív ernyős plazmanitridálás egy speciális változata a „katódketreces” (cathodic cage) kezelés, amely során a munkadarabok köré egyesével (3. ábra), vagy kisebb csoportonként helyezik az ernyőt. Ez a technológia főleg speciális alakú vagy igényű darabok esetén lehet indokolt.



3. ábra „Katódketrec” [14]

### 3. ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK

Mivel az aktív ernyős plazmanitridálás során alkalmazott BIAS feszültségnek kulcsszerepe lehet a kezelés eredményességében, így a kísérletek során ennek hatását vizsgáltuk.

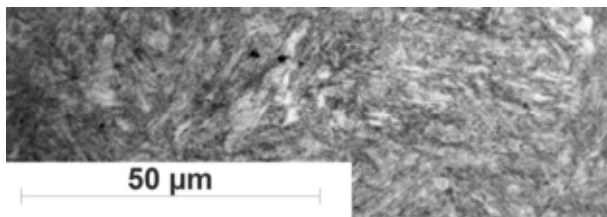
#### 3.1. Felhasznált anyag és alkalmazott technológiák

A kísérletek során a 34CrAlNi7 (W-Nr: 1.8550) nitridálható acélt nitridáltunk (1. táblázat). Bár minden acél nitridálható, a kifejezetten erre a célra kifejlesztett acélok erős nitridképzőket tartalmaznak, amelyek nagyobb maximálisan elérhető keménységet biztosítanak.

1. táblázat 34CrAlNi7 anyagminőség szabványos (MSZ EN 10027-1:1994) kémiai összetétele, tömeg%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,3-0,37	≤0,4	0,4-0,7	≤0,025	≤0,035	1,5-1,8	0,15-0,25	0,85-1,15

A nitridálás előtti szövetszerkezetet a 4. ábra mutatja.



4. ábra Alapszövet (N=1000x, marószers: Nital)

Az alapanyag előnemesített állapotú (mért keménység: 300HV<sub>0,1</sub>). A gyártó (Böhler-Uddeholm Hungary Kft.) által garantált tulajdonság:

- R<sub>m</sub>=800-1050N/mm<sup>2</sup>
- R<sub>ch</sub>=650 N/mm<sup>2</sup>

A nitridált próbatest méretei: Ø 50x10mm.

A technológiai paraméterek:

- T=520°C
- t=8h
- p=2mbar
- gázkeverék: N:H=1:3 (bontott ammónia, krakkoló hőmérséklet: 700°C)
- aktív ernyő: Rv 8-12 perforált acéllemez
- U<sub>erő</sub>=600V
- U<sub>BIAS</sub>= 70,90,105,125,150 V
- ernyő-felület távolság: 40 mm.

A kísérleteket a Miskolci Egyetem Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézetében található Nitron 10 típusú plazmanitridáló berendezéssel (5. ábra) végeztük. A berendezés gyártója: SC. PLASMATERM SA.

Főbb jellemzők:

- hasznos tér Ø 450 x 1800 mm
- maximális adag: 200 kg
- kisülés tápfeszültség:e 500-1000 V
- névleges teljesítmény: 15kW



5. ábra. Plazmanitridáló berendezés

A nitridálás után a próbatestek ¼ részét vágtuk ki keresztcsiszolat készítéséhez. Mivel a nitridált réteg csi-szoláznál és polírozásánál könnyen lemunkálódhat, így a próbatesteket befogóba helyeztük, egy rézlemezt használva a felület megtámasztásaként (6. ábra).

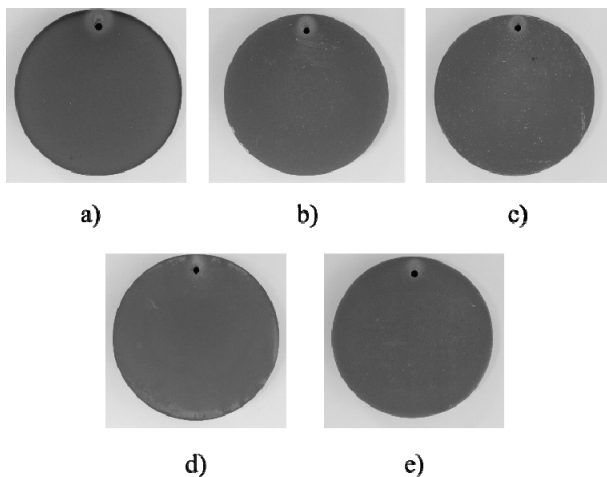


6. ábra Próbatest befogóban

A mikrokeménység mérése során MituToyo mikrokeménység-mérőt, a szövetszerkezet vizsgálatához Ziess Axion Observer D1m inverz mikroszkópot használtunk.

### 3.2. Felület és felületi keménység

A korábban leírtak alapján fontos jellemző, hogy a kezelés után a felület egyenletes színű volt, élhatás/sarokhatás nem volt megfigyelhető (7. ábra).

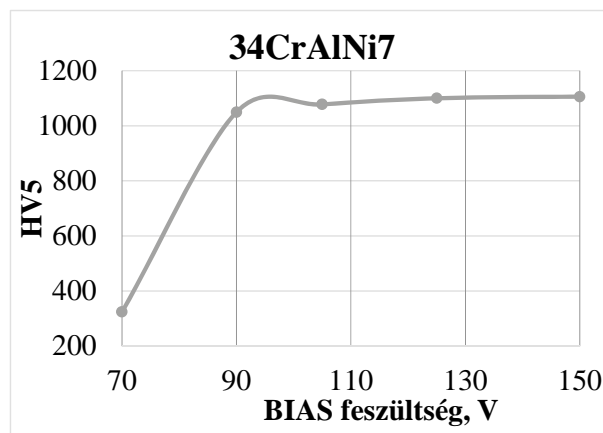


7. ábra Makrofotók

A kialakult réteg egyik fontos jellemzője annak keménysége. Az ipari gyakorlatban elterjedt a felületi keménység mérése is, aminek alkalmazásával kis ron-

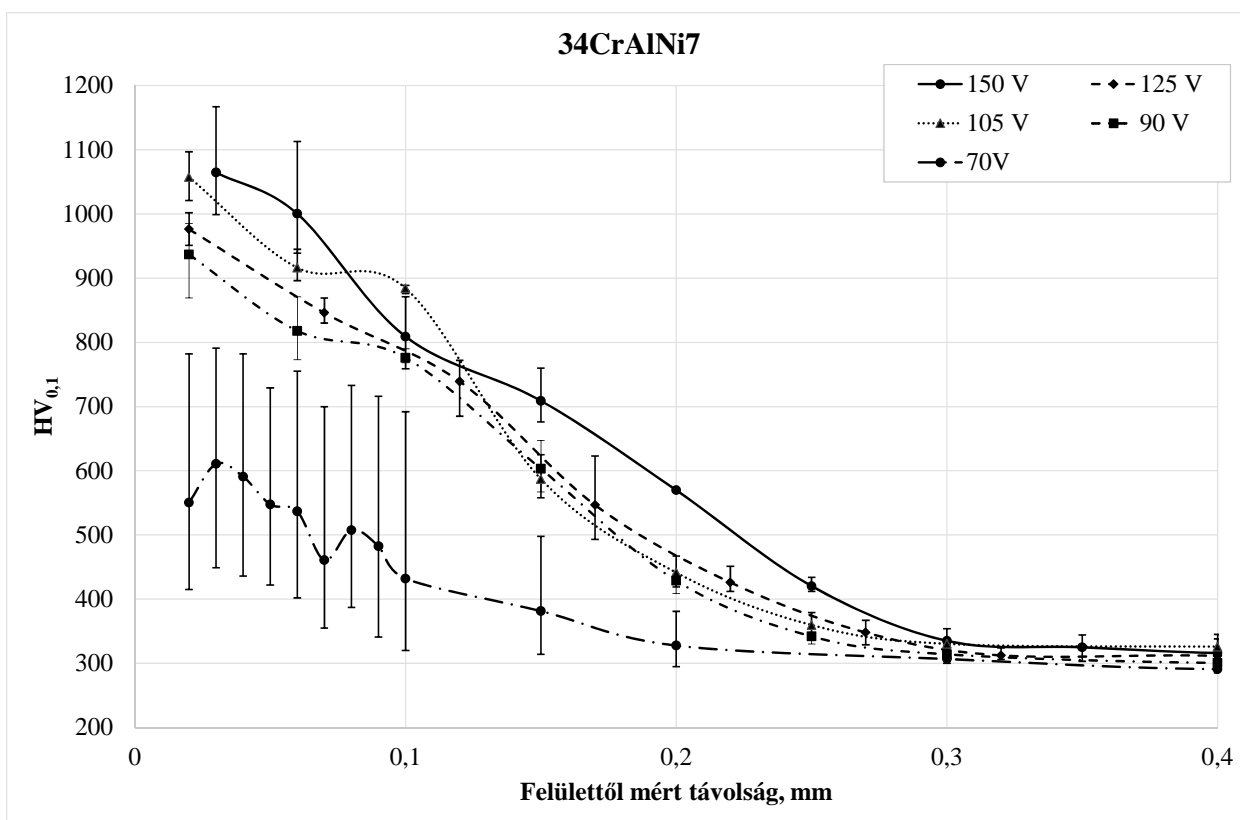
csolás mellett jellemezhető a kialakult réteg. Az eredmények elemzésénél mindig figyelemmel kell lenni arra, hogy a mért érték az egész réteget jellemzi és nem a felületi keménységét.

A három mérés átlagából kapott eredmények láthatók a 8. ábrán.



8. ábra Felületi keménység

A diagram (8. ábra) alapján elmondható, hogy a BIAS feszültség növekedésével nő a felületi keménység, a legnagyobb különbség a 70 és 90V között van.



9. ábra. Keménységprofilok

### 3.3. Keménységtraverzek

A réteg legelterjedtebb jellemzési módja a keresztcsiszolaton mért keménységtraverz: a 9. ábra 3 mérés-sorozat átlagát mutatja. Az ábra alapján elmondható:

- a nitridálás minden esetben eredményes volt,
- az elérhető maximális keménység több mint 1000 HV<sub>0,1</sub>, ami szokásos érték az alkalmazott alapanyag esetében,
- a keménységgörbék alakja minden esetben hasonló: közepes meredekséggel érik el az alapkeménységet.

A BIAS feszültség keménységgörbékre gyakorolt hatásával kapcsolatban elmondható:

- a keménységgörbék alakját a BIAS feszültség nem változtatja meg,
- a maximális keménység csökkenése a BIAS feszültség csökkenésével nem egyértelmű,
- az alkalmazott legkisebb BIAS feszültség alkalmazásával jelentősen kisebb maximális keménység érhető el,
- az alkalmazott legkisebb BIAS feszültség értékénél a mérési eredmények szórása rendkívül nagy, így a paraméter alapján értéke már nem alkalmas megfelelő minőségű réteg létrehozására.

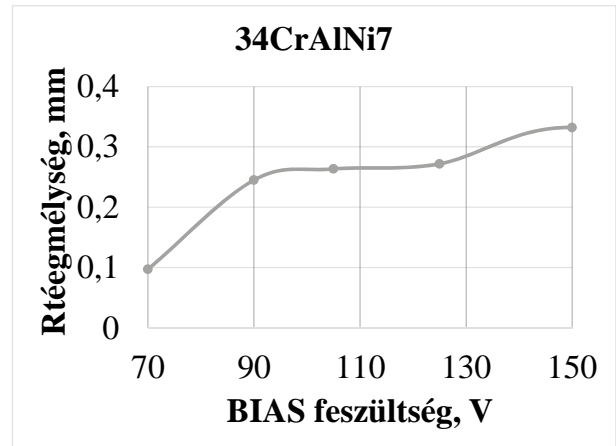
### 3.4. Rétegmélység

Nitridált alkatrészeknél szabványos eljárás a rétegmélységet az alapkeménységnél 50 HV<sub>0,1</sub>-el nagyobb keménységű pontnál kijelölni. Kísérleteinknél ez 350 HV<sub>0,1</sub>. Az ily módon kijelölt effektív rétegmélységet a BIAS feszültség függvényében mutatja a 10. ábra.

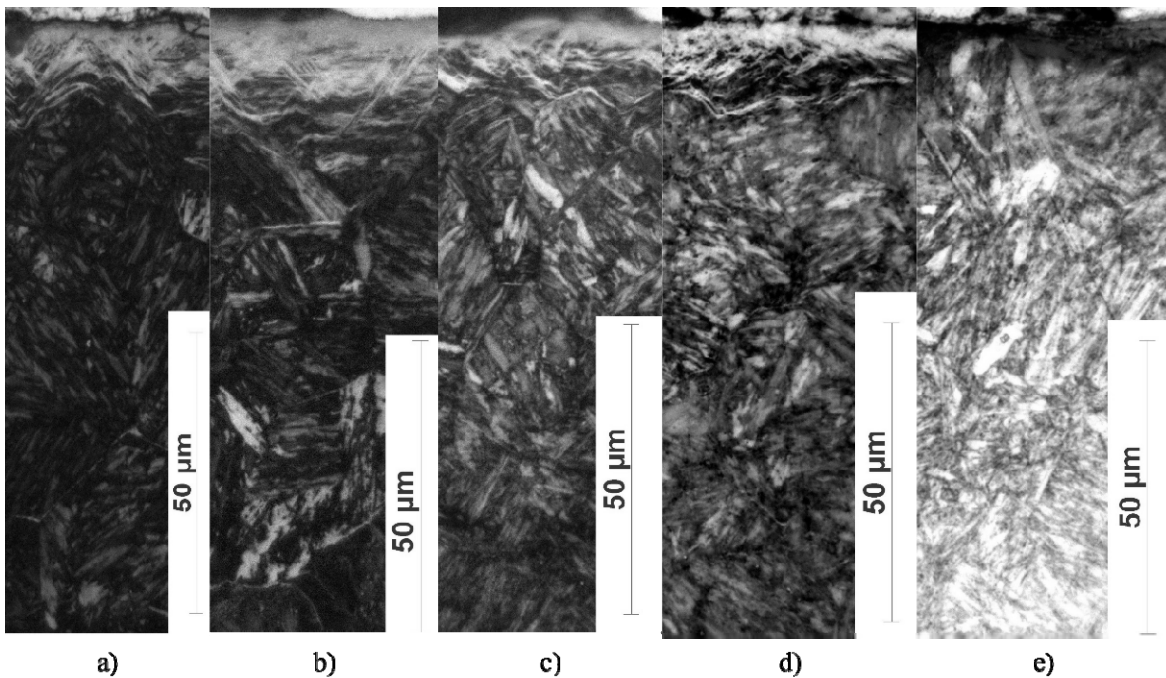
A rétegmélységgel kapcsolatban elmondható:

- a BIAS feszültség növelésével a rétegmélység egyértelműen nő,
- a rétegmélység növekedése a BIAS feszültség növekedésével nem arányos.

A nitridált réteg kopás szempontjából legfontosabb része a közvetlenül a felületen kialakuló vegyületi réteg, amelynek mélysége általában optikai úton maratás után kijelölhető. A kísérletek során használt alapanyag esetében azonban ez nem volt megtehető mivel az összefüggő vegyületi réteg alatt még egy részleges zóna is volt. Ez a jelenség jól megfigyelhető a mikroszkópi képeken, amelyet a 11. ábra mutat.



10. ábra Rétegmélység



11. ábra. Szövetképek (Marószers: Nital, N=1000x)  
a) 150 V b) 125 V c) 105 V d) 90 V e) 70 V

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett kísérletsorozat célja az aktív ernyős plazmanitridálás BIAS feszültségének rétegszerkezetre gyakorolt hatásának vizsgálata volt a kifejezetten nitridálás céljára kifejlesztett 34CrAlNi7 acélminőség esetében.

Az elvégzett kísérletek alapján a következő megállapítások tehetők:

- a BIAS feszültség növekedése egyértelműen növeli mind a felületi keménységet, mind az elérhető rétegmélységet;
- az alkalmazott paramétertartományban a 70 V BIAS feszültség értéke már nem alkalmas megfelelő egyenletességű és a többi paraméter eredményeként létrejövő rétegmélységgel összevethető nagyságú réteg létrehozására,
- az alkalmazott acélon a vegyületi réteg nem a nitridálásnál szokásos egyenletes összefüggő felületi zónaként jön létre, hanem egy erőteljes átmeneti terület is megfigyelhető.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

#### 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] PYE D.: Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, December 1, 2003., ISBN: 978-0871707918
- [2] KRAUSS G.: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1997. ISBN: 0-87170-370-X, p. 305-315
- [3] ASM Handbook, Volume 4: Heat Treating, ASM International, ISBN: 978-0-87170-379-8, 1991, p. 880-968.
- [4] TOTTEN G. E., HOWES M. A. H.: Steel Heat Treatment Handbook, 1997, ISBN: 9780824797508
- [5] ZHAO C., LI C.X., DONG H., BELL T.: Study on the active screen plasma nitriding and its nitriding mechanism, Surface & Coatings Technology 201 (2006) 2320–2325
- [6] LI C. X.: Active screen plasma nitriding – an overview, Surface Engineering 2010 Vol. 26, No. 1–2 135-141
- [7] NISHIMOTO A., TOKUDA A., AKAMATSU K.: Effect of Through Cage on Active Screen Plasma Nitriding Properties, Materials Transactions, Vol. 50, No. 5 (2009) pp. 1169 - 1173 Prabhudev, K.H.: Handbook of Heat Treatment of Steels. 2009, Tata McGraw-Hill, ISBN 9780074518311
- [8] LI C. X., GEORGES J., LI X. Y.: Active Screen Plasma Nitriding of Austenitic Stainless Steel, Surface Engineering Volume 18, 2002 - Issue 6, p. 453-457
- [9] LI C. X., BELL T.: Potential of plasma nitriding of polymer for improved hardness and wear resistance, Journal of Materials Processing Technology 168 (2005) p. 219–224
- [10] KAULING A. P., SOARES G. V., FIGUEROA C. A., de OLIVEIRA R. V. B., BAUMVOL I. J.R., GIACOMELLI C., MIOTTI L.: Polypropylene surface modification by active screen plasma nitriding, Proceedings of the 2nd "French-Brazilian-Polymer" FBPOL2008 Conference, Materials Science and Engineering: C, Volume 29, Issue 2, 1 March 2009, p. 363–366
- [11] BURLACOV, I., SPIES H., BIERMANN H., KÖHLER S., THIEN H. L.: Investigation on the active screen plasma nitriding, Conference Proceedings, Nitriding and Nitrocarburising, 29 – 30 April 2010, Aachen, Germany
- [12] AHANGARANI S., MAHBOUBI F., SABOURA A. R.: Effects of various nitriding parameters on active screen plasmanitriding behavior of a low-alloy steel, Vacuum 80 (2006) 1032–1037
- [13] GALLO S. C., DONG H.: On the fundamental mechanisms of active screen plasma nitriding, Vacuum 84 (2010) 321–325
- [14] VENTURINI L. F. R., ARTUSO F. B., LIMBERGERI da F., JAVORSKY C. de S.: Differences on the Nitrided Layer Between Classic Active Screen Plasma Nitriding and Active Screen Plasma Nitriding with a Semispherical Cathodic Cage, IFHTSE 19th Congress, Glasgow, 2011

# POLIMER HULLADÉKOK HŐBONTÁSÁRA SZOLGÁLÓ TECHNOLÓGIÁK

## TECHNOLOGIES FOR WASTE POLYMER PYROLYSIS

Sója János<sup>\*</sup>, Sebestyén Zoltán<sup>\*\*</sup>, Czégény Zsuzsanna<sup>\*\*\*</sup>, Miskolczi Norbert<sup>\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*The amount of plastic waste is rapidly growing and generates serious problem. Thermal and thermo-catalytic pyrolysis looks attractive ways for problem solution, because valuable products such as pyrolysis oil and hydrocarbon gases could be obtained. There are a lot of technologies for this aim, which use batch, tubular, fix bed, fluid bed or rotating drum reactors. This paper is dedicated to summarizing the mostly used processes for waste polymer pyrolysis together with their main parameters.*

### 1. BEVEZETÉS

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások, a nyersanyagok és szerkezeti anyagok hosszú távú elérhetőségére és árára vonatkozó előrejelzések, illetve a jelenlegi életszínvonal fenntartható növekedésével kapcsolatos kilátások miatt a hulladékok kezelése napjaink egyik fontos kérdésköre. A különböző előírások, jogszabályok, törvények és irányelvek különböző módon határozzák meg azt, hogy mi is a hulladék. Talán az egyik legegyszerűbb meghatározás az, melyet a hulladékokra vonatkozó 2008/98/EC direktíva is tartalmaz. Eszerint ugyanis minden olyan anyag hulladéknak tekinthető mely a „felhasználó számára feleslegessé vált, és azt a felhasználó kidobja, vagy kidobni szándékozik” [1].

A hulladékok összetétele a keletkezés helye (pl. város, falu, ipari terület), vagy akár az egyes iparágak vonatkozásában jelentősen különbözik. Jelenleg a világon évente közel 3,5 milliárd tonna települési szilárd hulladék keletkezik [2]. Külön is érdemes megemlíteni az autóbontókban keletkező, igen jelentős mennyiségű fém, üveg, folyadék (pl. valamilyen szénhidrogén) és polimer (műanyag, gumi, egyéb) hulladékot, amelyek újrahasznosítására igen szigorú előírások vannak érvényben. A különböző hulladékok egyes összetevői vonatkozásában elmondható, hogy a fém, a papír és az üveg hasznosítására viszonylag sok működő megoldás létezik. Ezzel szemben, a műanyagok hosszú távon is fenntartható hasznosítása közel sem tekinthető megoldottnak. A műanyagok és egyéb polimerek azért

bírnak kitüntetett szereppel a hulladékáramokon belül, mert energiatartalmuk igen jelentős. Emiatt azok újrahasznosításával a jelentős nyersanyag megtakarítás mellett számottevő energia is megtakarítható és a légkörbe kerülő, üvegházhatást okozó gázok emissziója is nagymértékben csökkenthető [3,4].

A hulladék műanyagok jelenleg leginkább lerakókba kerülnek, melyek létesítése és fenntartása a szigorodó előírások miatt egyre költségesebb. Emiatt nemcsak az EU-s direktívák, hanem a hazai szabályozás is a lerakott hulladékmennyiség jelentős csökkentését tűzte ki célul.

A műanyagok égéshője – típustól függően – akár 40-50 MJ/kg is lehet. Ennek következtében az egyik legegyszerűbb megoldás ezen energiamennyiség hasznosítására a gőz-, és elektromos áramtermeléssel egybekötött égetés. Más részről azonban az emissziós problémák miatt további nehézségek jelentkezhetnek a hulladékégetés során [5].

Hasonló megoldás lehet a hulladék műanyagok kohászati, vagy cementgyárakban történő alkalmazása. Ezen esetekben a szükséges hőmennyiség biztosításában kerülnek alkalmazásra a hulladékok. Megjegyzendő, hogy a műanyagokkal bevitt szennyezőanyagok (heteroatom, felületei szennyezés, adalék stb.) a termékek minőségromlását okozhatják. Mindemellett nem megfelelő alapanyag (hulladék műanyag, gumi stb.) alkalmazásakor az eljárások emissziós oldalról is sok nehézséggel bírhatnak [3-5].

A polimer hulladékok mechanikai és kémiai úton is újrahasznosíthatók. A mechanikai hasznosítás során a hulladékokat anyagában hasznosítják. Ez azt jelenti, hogy a hulladék műanyagot adott mennyiségben a gyári alapanyagba keverik, majd abból hagyományos műanyag-feldolgozó eljárásokkal állítják elő a terméket (pl.: gépalkatrészt, használati tárgyat, fóliát stb.) A magas hozzáadott értéket eredményező mechanikai hasznosítás – a különböző műanyagok elegyedési problémái miatt – azonban csak azokban az esetekben alkalmazható, amikor a hulladékok fajtaszelektív gyűjtése és visszakeverése nagyfokú ellenőrzés mellett gazdaságosan is megoldható. Ellenkező esetben már a hulladékok viszonylag kis visszakeverési aránya mellett is jelentős minőségromlással kell számolni.

\* PhD hallgató, Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Egyetem u. 10, 8200

\*\* Tudományos munkatárs, MTA TTK, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Budapest, Magyar tudósok krt. 2, 1117

\*\*\* Tudományos főmunkatárs, MTA TTK, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Budapest, Magyar tudósok krt. 2, 1117

\*\*\*\* Egyetemi docens, Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Egyetem u. 10, 8200



Az újrahasznosítás másik lehetősége a hulladék műanyagok levegőtől elzárva – vagy inert atmoszférában –, magas hőmérsékleten történő termikus kezelése. A folyamat során értékes szénhidrogének, egyedi vegyületek, oldószerek, szén nanocső, hidrogén stb. állítható elő. Ezeket az eljárásokat a szakirodalomban pirolitikus eljárásoknak nevezik.

## 2. HULLADÉK POLIMEREK KÉMIAI HASZNOSÍTÁSA

A műanyag hulladékok kémiai hasznosítása az anyagot felépítő makromolekulák degradációját jelenti, mely leginkább reaktív anyagok, szuperkritikus körülmények, nagy energiájú sugárzás vagy termikus hatásra következhet be (1. ábra). Ezek közül technológiai szempontból a legnagyobb jelentősége a termikus és a szuperkritikus körülmények hatására bekövetkező degradációnak van. A folyamat eredménye az alapanyagoktól jelentősen nagyobb értéket képviselő szénhidrogén gázelegy és különböző forráspont-tartományú folyadékok keletkezése [6].



1. ábra A degradációt kiváltó tényezők

A káros bomlástermékek keletkezésének megakadályozása miatt nagyon fontos, hogy a reaktorban oxigénmentes atmoszféra legyen (nitrogén, argon, szénhidrogén stb.). Ezáltal a polimert felépítő makromolekulák nem oxidálódnak, hanem a kémiai kötések felhasadásával kisebb molekulákra bomlanak, krakkolódnak. A hőbontási reakció során keletkező gáz, cseppfolyós és szilárd termékek mennyisége és azok összetétele katalizátorok alkalmazásával és az alapanyagok megfelelő megválasztásával befolyásolhatók. A 2. ábra azokat a fő paramétereket foglalja össze, melyek alapvetően meghatározzák a keletkező terméket [6,7].

A katalizátorok – általában mesterségesen előállított zeolitok – jelentősen növelik a gáztermékek, a benzin és a gázolaj forráspontú termékek mennyiségét. Emellett megváltoztatják a termékek összetételét és azok további felhasználhatóságát [6,7].

A legkedvezőbb termékjellemzők polietilén, polipropilén és polisztirol alapanyagok alkalmazásával érhetőek el. Ugyanakkor sok példát találhatunk kevert műanyag hulladékok, vagy települési hulladékok kémiai hasznosítására is. Az alapanyagok minősége meghatározó, hiszen a krakkolás során keletkező

termékekben a szennyezőanyagok is megjelennek. Azért, hogy a legkedvezőbb összetétellel rendelkező terméket kapjuk, elengedhetetlen a kiindulás anyagok válogatása, szükség esetén tisztítása is, ami jelentős többletköltséggel járhat [6,7].



2. ábra A hőbontást meghatározó tényezők

Az alkalmazott hőmérséklet-tartomány tekintetében általában enyhe krakkolásról (350-600°C), krakkolásról (600-800°C), pirolízisről (800-900°C), vagy elgázosításról (900°C <) beszélhetünk. Megjegyzendő, hogy az angol szakirodalom a lejátszódó folyamatok leírása során pirolízist használ a teljes 350-900°C közötti hőmérséklet-tartományban [6,7].

A krakkolás során általában atmoszférikus nyomást és az oxidációs folyamatok elkerülésére inert atmoszférát alkalmaznak. A nyomás krakkreakciókra gyakorolt hatásának vizsgálatával arra a következtetésre jutottak, hogy a nyomás változtatása általában kevésbé módosítja a lejátszódó folyamatokat, mint a hőmérséklet változtatása, vagy a katalizátorok alkalmazása [6,7].

A reakcióidőt (tartózkodási idő) elsősorban a reaktor felépítése és az alkalmazott működési paraméterek határozzák meg és alapvetően befolyásolja a termékek összetételét és hozamát. A hosszabb reakcióidő növeli a másodlagos reakciók (termék molekulák között lejátszódó reakciók) valószínűségét, ugyanakkor a hosszabb reakcióidő alatt a polimerláncon is több kötéshasadási reakció játszódik le, ami növeli az illékony termékek hozamát [6,7].

## 3. A KÉMIAI HASZNOSÍTÁS ELJÁRÁSAI

Hulladékok hőbontására szolgáló első eljárások az 1970-es évek olajválságai után jelentek meg. Napjainkban több, különböző elven működő krakkoló eljárás érhető el. Az eljárások elsősorban az alkalmazott hőmérséklet-tartományban, a reaktorok kialakításában, és a termékek szétválasztásának módjában térnek el egymástól.

A szükséges reakcióhő biztosítása általában külső forrásból történik. Az illékony bomlástermékeket eredményező kötéshasadás energiaigényét közvetlen gáz- vagy elektromos fűtéssel, infravörös-, vagy

mikrohullámú reaktorokkal, illetve plazmareaktorokkal biztosítják. A reaktortér kialakítása szerint megkülönböztethetünk üstreaktort, csőreaktort, fluid ágyat, vagy forgódobot alkalmazó eljárásokat.

### 3.1. Üstreaktorok

Abban az esetben, ha a polimerek kíméletes degradációjának megvalósítása a cél, általában üstreaktorokat alkalmaznak. Szintén ezt a módszert választják abban az esetben is, ha a szakaszos technológia nem kerülhető el, ami elsősorban kapacitáskorlátok miatt adódik. A pirolizáló eljárások egyik legnagyobb problémája gazdasági eredetű. Folyamatos technológiák esetében általában az 1.000-10.000 tonna/év (feldolgozott alapanyag) kapacitások feletti tartomány gazdaságos, ami természetesen nagymértékben függ az alapanyagok összetételétől is. Szakaszos, üstreaktort alkalmazó eljárások esetében 300-600°C hőmérséklet és 30-120 perc tartózkodási időtartam értékek a jellemző eljárás-paraméterek. Emellett jellemző a katalizátorok alkalmazása is, amit általában az alapanyaghoz keverve adagolnak a reaktorba 1-10% mennyiségben. Az üstreaktort alkalmazó eljárások egyik előnye, hogy különféle alapanyagok is feldolgozhatók benne, így már kis kapacitások mellett is gazdaságosan üzemeltethető.

A legismertebb üstreaktort alkalmazó eljárások a Nano Fuel (Alphakat), Hitachi, Thermofuel, BASF és az EZ-Oil eljárás (Royco) [6,7]. A Hitachi eljárás egy egyszerű üstreaktor, melyben alacsony hőmérsékleten történik a hóbontás, majd a keletkezett anyagokat sorozatos kondenzációval választják szét különböző frakciókra [6]. A Nano Fuel eljárás zeolit katalizátor segítségével, nagy hozammal állít elő folyadék szénhidrogén frakciókat 300-400°C hőmérséklet-tartományban. Az ilyen eljárást alkalmazó üzemek kapacitása 4.000-500.000t/év között van [6,8]. A Thermofuel eljárással 400-450°C hőmérséklet-tartományban 3.000-10.000t/év kapacitással lehet poliolefineket, polisztirolt, és kis koncentrációban műszaki műanyagokat krakkolni [6,9]. Az Ez-Oil eljárás infravörös fűtést alkalmazó alacsony hőmérsékletű krakkolás. Az infravörös fűtés legnagyobb előnye az egyenletes hőmérséklet-eloszlás és a kedvezőbb gazdasági jellemzők. A reaktorok jellemző átmérője 2-3m, magassága 2m, melyekkel 1000-3000t/év kapacitással lehet elsősorban poliolefineket és polisztirolt feldolgozni [6,8,9].

### 3.2. Csőreaktorok

Csőreaktorok alkalmazásával szintén enyhe- és alacsony hőmérsékletű krakkolást lehet megvalósítani, folyamatos betáplálás mellett. A reaktor elhelyezkedése szerint mind vízszintes, mind pedig függőleges

elhelyezkedésű csőreaktorok alkalmazására van példa. Az alkalmazott alacsony (300-600°C) hőmérséklet-tartomány jelentősége, hogy a nem kívánt komponensek keletkezése így háttérbe szorítható. Léteznek olyan megoldások is, amikor magasabb hőmérséklet-tartományt (700-800°C) alkalmaznak [7-9]. Ebben az esetben azonban vagy jelentősen csökkentik, vagy nagymértékben növelik a reaktorcső átmérőjét. Utóbbi esetben azonban a hőtranszport javítására és a káros lerakódások elkerülésére minden esetben belső keverőelemet kell elhelyezni a reaktorban. Létezik olyan kialakítás is, amikor a fentieket vízgőz alkalmazásával érik el. A csőreaktoros megoldások másik jellemzője, hogy viszonylag rövid a reakcióelegy tartózkodási ideje; kevesebb, mint 10-20 perc. A csőreaktoros megoldások többnyire magasabb kapacitású tartományok mellett mutatnak jó gazdasági jellemzőket. Abban az esetben, ha nagyon változik a feldolgozott alapanyagok mennyisége, általában több párhuzamos reaktor kerül alkalmazásra. Ekkor ugyanis kevesebb rendelkezésre álló alapanyag esetében az egyes reaktorok leállításával fent lehet tartani az üzem folyamatos és gazdaságos üzemeltetését.

Az ismertebb, csőreaktort alkalmazó eljárások a Compact Power eljárás és a CNRS termo-kémiai konverter [10]. A Compact Power módszer (Anglia, 8 ezer t/év) során a pirolízis két csőreaktorban történik 800°C-on. Az alapanyagot gőzzel és levegővel reagáltatják egy fix ágyas elgázosítóban, és a gázt elégetik egy ciklon kamrában 1200-1250°C-on. Az eljárás terméke energia, gőz vagy elektromos áram formájában. A CNRS termo-kémiai konverter egyelőre kísérleti jelleggel üzemelő berendezés [11]. A pirolízis hőmérséklete 400-1000°C. A csőreaktor fűtése a forró füstgáz cirkulálásával történik. A szilárd anyag vibráció segítségével folyamatosan halad át a reaktoron.

### 3.3. Fluid ágyas reaktorok

A fluid ágyas reaktorok folyamatos üzemű műveleti egységek. Azok az eljárások, melyekben fluid reaktorokat alkalmaznak jellemző módon nagyobb feldolgozási kapacitásokkal rendelkeznek, mint az előbb bemutatott eljárások. A BP eljárása például 50.000t/év kapacitású [9]. A fluid katalitikus eljárásokra viszonylag tág hőmérséklet-tartományok és a rövid reakcióidő a jellemző. A BP módszer például 500°C körüli, az Akzo Nobel és a Hamburg/ABB eljárás 700-900°C hőmérsékletet alkalmaz [9]. A BP eljárással PVC tartalmú alapanyag feldolgozására is lehetőség van, mert a technológia részét képező meszes mosó megkötí a PVC hóbomlásakor keletkező hidrogén-klorid gázt [8,9]. A fluidizáció műveletének sajátosságai miatt az alapanyagok szemcsemérete és összetétele szigorúan szabályozott. A reaktorba az alapanyagot folyamatosan adagolják, alulról táplálják be az általában inert gázt,

mellyel a fluidizációt tartják fent. Termo-katalitikus esetben a katalizátor a fluid ágyban található. Az eljárás egyik nehézsége a fluidizáció, mely bonyolult és energiaigényes művelet. Előnye viszont az, hogy gyors reakciók játszódhatnak le, ezáltal a nem kívánt komponensek keletkezéséhez vezető másodlagos reakciók lejátszódása minimális. Emellett igen jó az alapanyag keveredése, mellyel a termékek minőségének állandósága biztosítható. Az előzőek miatt a fluid ágyas berendezéseket főképp hulladék műanyagok feldolgozására használják, és csak kismértékben alkalmazzák települési szilárd hulladékok kémiai hasznosítására. A magas hőmérsékletű és/vagy katalitikus eljárások további jellemzője az aromás szénhidrogének nagy koncentrációja a termékekben [7-9].

### 3.4. Álló ágyas reaktorok

Az álló ágyas reaktorok alacsony fűtési sebességgel jellemezhetőek az alacsony hőtáadási tényező miatt. Így nagyobb tömegű anyag betáplálásakor a hőmérséklet nem egységes a reaktortérben, ezért az alapanyag egy időben több különböző hőmérsékleten bomlik. Hátránya még a jellemzően kicsi, néhány tonna/nap kapacitás. Előnye, hogy az alapanyag nem igényel előkezelést, nagy a flexibilitása és kicsi a karbantartási igénye, bár mivel általában szakaszosan üzemeltetik, így szakaszonként munkát igényel. Főként laboratóriumi kutatásokhoz használják, az iparban nem jellemzőek a fix ágyas eljárások [12].

### 3.5. Forgódobos reaktorok

A forgó dobban az alapanyag felmelegítése hatékonyabb, mint az álló ágyas berendezésben. A ferde kemence lassú forgása lehetővé teszi a hulladékok megfelelő keveredését. Az eljárásokat a kis fűtési sebesség (maximum 100°C/perc), valamint viszonylag hosszú tartózkodási idő (legfeljebb 1 óra) jellemzi. A kis falfelületen megoszló egységnyi tömegű alapanyag és azok durva szemcsemérete eredményezi az alacsony fűtési sebességet. Ennek ellenére a legtöbb települési szilárd hulladék pirolizáló technológia forgókemencés reaktoron alapul, mert annak számos egyedülálló előnye van más típusú reaktorokkal szemben. Megfelelő mértékben homogenizálja az alapanyagot, a tartózkodási idő flexibilisen változtatható és széles az alapanyagként használható heterogén összetételű hulladékok köre, így nincs szükség költséges hulladék előkezelési eljárásokra és a karbantartás is egyszerű. Jellemzően nagy, akár 150 ezer t/éves kapacitás is elérhető vele [7,9].

Az ismertebb forgódobos technológiák az alábbiak: PYROPLEQ eljárás, ConTherm technológia, Gibros PEC eljárás, EDDITH eljárás, Noell-KRC átalakító eljárás, Serpac technológia, Siemens Schwel-Brenn

technológia, Takuma SBV, Thermoselect eljárás [12-17].

A ConTherm technológiában a pirolízis 500-550°C-on játszódik le kb. 1 órán át, a gáz elégetése pedig egy szénpor-tüzelésű kazánban történik [13]. A Gibros PEC eljárás során a pirolízis 500-550°C-on, kb. 45-60 percig tart, a kemencét pedig kívülről, a folyamatban termelt gáz egy részének az elégetésével fűtik. A pirolízis gázokat ezután 1200-1300°C-on elgázosítják egy gázgenerátorban [14]. Az EDDITH eljárásban 450-600°C-on, 45 percig történik a pirolízis és a keletkező gázelegyet kb. 1100°C-on égetik el [10,15]. A Noell-KRC átalakító eljárás során a pirolízis kb. 550°C-on, az elgázosítás 1400-2000°C-on és 2-50 bar között történik [10,16]. A Serpac technológia két összekapcsolt kamrából áll. Az egyik henger, a másik kúp alakú, ferde és forgó. A pirolízis 600-700°C-on, a szén elgázosítás kb. 800°C-on, a gáz elégetés kb. 1100-1200°C-on történik [10]. A Takuma SBV eljárás során a betáplált nyersanyagot 500-550°C-on pirolizálják a forgókemencében. A pirolízis gáz elégetése egy nagy hőmérsékletű kamrában megy végbe [17].

### 3.6. Egyéb elven működő reaktorok

A hagyományos termikus pirolízis mellett, ahol a szükséges hőmennyiség biztosítása kívülről történik a forró füstgáz által, a hőközlés alternatív módja lehet a plazma pirolízis, és a mikrohullámú pirolízis [18,19].

A plazma pirolízis egy olyan eljárás, mely során a hulladékot nagyon magas hőmérsékletre, több mint 1000°C-ra melegítik levegőellátás nélküli plazmaégők használatával. A nagyon hatékony hőközlés eredményeképp a hulladék anyagokban bekövetkező fizikai és kémiai változások pillanatszerűek. Jellemzői az előre meghatározható termékek, megfelelő energia és anyagi újrahasonosítás, ártalmatlan a közegészségügy és a környezet szempontjából, de nagy mennyiségű másodlagos energiát igényel. Jelenleg tesztelés alatt áll ez a technológia, főleg a veszélyes hulladékok ártalmatlanítását végeznék így [20].

A mikrohullámú pirolízis a mikrohullámú dielektromos melegítési módszeren alapul. Fő előnyei közé tartozik az aktív zónában lévő molekulák gyors és hatékony fűtése közvetlen mikrohullámú energiával, a könnyű szabályozhatóság és a kívánt termékek hozamának növelése érdekében a pirolízis megfelelő hőmérsékletének fenntartása. Azonban a gyors fűtési sebességet eléréséhez, az alapanyag szemcséinek nagyon finomnak kell lennie [18].

### 3.7. Hidrogénező eljárások

Az előbb említett példákban inert atmoszférát alkalmaznak. Néhány esetben a kedvezőbb termékösszetétel elérése érdekében hidrogén

atmoszférában végzik a krakkolást. Ilyen többek között a Böhlen eljárás, aRWE hidrogénező eljárás, vagy az ITC eljárás [6,8,9]. Ezen eljárások 400-500°C hőmérsékletet és 100-400 bar hidrogénnyomást alkalmaznak. A termékek alacsony telítetlen szénhidrogén tartalma szintén a hidrogén jelenlétének a következménye [9]. A hidrogénező eljárások legnagyobb nehézsége maga a hidrogén gáz, ami gyúlékony, levegővel robbanóelegyet képez, ezért a technológia igen körültekintő reaktor és eljárástervezést, illetve üzemeltetést kíván.

#### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal, Magyar-indiai (KTIA-DST) K+F+I együttműködési program (TÉT\_13\_DST) keretében nyújtott támogatásért (TÉT\_13\_DST-1-2014-0003)

#### 6. IRODALOM

- [1] Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive) (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>) (2017. január 9)
- [2] <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/AnnexJ.pdf> (2017. január 20)
- [3] BORSODI N.: *Szénhidrogén-frakciók előállítása szilárd hulladékok pirolízisével és a termékek minőségjavítása*, Doktori értekezés, Pannon Egyetem, 2014, Veszprém
- [4] BOZI J.: *Halogén- és nitrogéntartalmú szintetikus polimerek hő bomlástermékeinek azonosítása és kémiai átalakítása*, Doktori értekezés, ELTE, 2010, Budapest
- [5] XIAONING Y., LUSHI S., JUN X., SONG H., SHENG S.: Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Waste Management*, Vol. 33, No. 2, (2013), pp. 462-473, doi:10.1016/j.wasman.2012.07.025
- [6] SCHEIRS J., KAMINSKY W.: *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastic into Diesel and Other Fuels*, John Wiley & Sons Ltd 2006, ISBN:978-0-470-02152-1
- [7] TULOK E.: *Polimer hulladékok termo-katalitikus krakkolása*, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, 2016
- [8] KOZÓ CS.: *Műanyag hulladékok petrokkémiai alapanyagokká való átalakításának vizsgálata*, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, 2007
- [9] MISKOLCZI N.: *Műanyagok termikus degradációjának és a termékek használhatóságának vizsgálata*, Doktori értekezés, 2005, Pannon Egyetem Veszprém
- [10] MALKOW T.: Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal, *Waste Management*, Vol. 24, No. 1, (2004), pp. 53-79, doi: 10.1016/S0956-053X(03)00038-2
- [11] MARCULESCU C., ANTONINI G., BADEA A., APOSTOL T.: Pilot installation for the thermochemical characterization of solid wastes, *Waste Management*, 2007, 27(3), 367-374
- [12] WANG L.H., ZHANG Y., SONG L.N.: Experimental research on pyrolysis process of waste rubber, *Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, Vol. 25, No. 3, (2006), pp. 336-338
- [13] HAUKE R., SPINDELDREHER O., USDROWSKI N., STADTMULLER J., ZIMMER F.J., MARSICO C.: ConTherm - thermal utilisation of waste in a power plant by integrated waste pyrolysis of high-calorific residual derivate fuels, *VGB Powertech*, Vol. 84, No. 7, (2004), pp. 66-71, ISSN 1435-3199
- [14] IEA Bioenergy, 2004, IEA Bioenergy Task 34. <http://www.pyne.co.uk/Resources/user/PYNE%20Newsletters/PyNews%2004.pdf> (2017. január 24)
- [15] MARTIN G. H., MARTY E., FLAMENT P., WILLEMIN R.: The Eddith Thermolysis Process: a Ground-Breaking Solution for Clean Treatment of Wastes, *Oil & Gas Science and Technology*, Vol. 53, No. 2, (1998), pp. 217-224, doi:10.2516/ogst:1998020
- [16] JAEGER M., MAYER M.: The Noell Conversion Process - A gasification process for the pollutant-free disposal of sewage sludge and the recovery of energy and materials, *Water Science and Technology*, Vol. 41, No. 8, (2000), pp. 37-44
- [17] KAWAI Y.: Operation report of pyrolysis gas melting system, *Takuma Technology Review*, Vol. 17, (2009), pp. 1-20
- [18] GEORGE A.S.: Plasma arc heating – an overview, *Industrial Heating*, Vol. 61, (1994), pp. 57-60
- [19] CHO H.Y., AJAZ A., HIMALI D., WASKE P.A., JOHNSON R.P.: Microwave flash pyrolysis, *The Journal of Organic Chemistry*, Vol. 74, No. 11, (2009), pp. 4137-4142, doi:10.1021/jo900245v
- [20] HUANG H., TANG L.: Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 4, (2007), pp. 1331-1337, doi:10.1016/j.enconman.2006.08.013

# VORTEX ÁRAMLÁSMÉRŐ KALIBRÁLÁSI TAPASZTALATAI

## CALIBRATION EXPERIENCES ON A VORTEX FLOW METER

*Fenyvesi Bence*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Áramlástan Tanszék

### ABSTRACT

The paper presents the diagnostic investigation of the effects of non-linear behavior caused by the main measurement principle of vortex-shedding flow meters. The investigation is presented in detail. This includes the start to finish design and building of the calibration equipment, the description of the diagnostic method and the processing of the acquired data. The presented calibration method and the built equipment can be applied to several kinds of flow meter calibrations, it is not restricted to the case under investigation. The investigations could be deepened by applying numerical simulations.

### JELÖLÉSJEGYZÉK

$A$	[ $m^2$ ]	áramlási keresztmetszet
$D$	[ $m$ ]	keresztmetszet magassága
$d$	[ $m$ ]	örvényhagyó elem jellemző mérete
$\Delta$	[-]	eltérés
$e$	[ $m$ ]	keresztmetszet szélessége
$f$	[ $Hz$ ]	örvényleválási frekvencia
$m$	[-]	tömeg
$Q$	[ $m^3/s$ ]	térfogatáram
$Re$	[-]	Reynolds-szám
$Str$	[-]	Strouhal-szám
$t$	[ $s$ ]	idő
$T$	[ $^{\circ}C$ ]	hőmérséklet
$u$	[ $m/s$ ]	áramlási sebesség
$\nu$	[ $m^2/s$ ]	kinematikai viszkozitás
$\rho$	[ $kg/m^3$ ]	sűrűség

### 1. BEVEZETÉS

Az örvényhagyó elven működő vortex áramlásmérők széles körben alkalmazhatóak cseppfolyós, illetve gáz/gőz közegek térfogatáramméréséhez.

A műszer áramlástechnikai elve, hogy ha egy testet olyan áramlásba helyezünk, amelynek jellemző Reynolds-száma egy adott tartományon belülre esik, akkor a testről Kármán-féle örvénysor úszik le. Ezen örvények leválási frekvenciája hozzávetőlegesen egyenes arányosságban van a közeg sebességével, ezáltal pedig a térfogatárammal is. Az örvényleválási jelenség jellemzéséhez szükség van a Strouhal-, illetve a Reynolds-számra, melyek alakja a következő:

$$Str = \frac{f \cdot d}{u} \quad (1)$$

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (2)$$

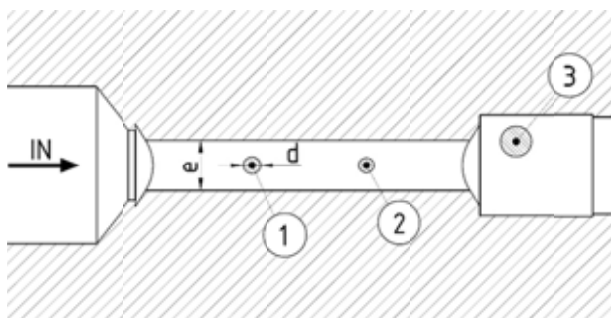
$Str$  ismerete és  $f$  mérése alapján számítható az  $u$  sebesség. A módszer kritikus pontja a Strouhal-szám értékének változékonysága a vizsgált Reynolds-szám tartományon. Ideális esetben, a Strouhal-szám Reynolds-szám függetlensége esetén, idealizált – tökéletesen lineáris karakterisztikájú – áramlásmérő műszer lenne kialakítható, amely az örvényleválás  $f$  frekvenciájával tökéletesen arányos térfogatáram-adatot szolgáltatna a teljes mérési tartományon.

Vizsgálataim motivációja: kalibrációs esettanulmány végzése ipari vortex áramlásmérőn, a műszer nemlinearitásának

kritikai elemzése, és ez által a  $Str(Re)$  összefüggés részleteinek feltárása.

E vizsgálatok hozzájárulhatnak más olyan jelenségek mélyebb megértéséhez is, melyekben az örvényleválás kulcsszerepet játszik. Ilyen jelenség a ventilátor-lapátok, szárnymetszetek örvényzaja [1], mely az Áramlástan Tanszék egyik kutatási témája. Az örvényzaj frekvenciáját befolyásolhatja a szárnymetszetre jellemző  $Str(Re)$  trend.

Az esettanulmányul választott műszer áramlási terének geometriáját a gyártói katalógus [2] tanulmányozásával, illetve saját mérések elvégzésével állapítottam meg. Az áramlási tér vizsgálat szempontjából lényeges részének egy – hossz tengelyre merőleges – metszete az 1. ábrán látható.



1. ábra: A vortex áramlásmérő belső áramlási terének felépítése

Az „e” szélességű (nem hengeres keresztmetszetű) mérőszakaszban található az (1), áramlásba helyezett örvényhagyó elem. Az arról leváló örvények leválási frekvenciáját a (2) szenzorral mérve – a Strouhal-szám elhanyagolható változását feltételezve – az eszköz meghatározza az áramlási sebességet, majd ez alapján jelzi ki a térfogatáramot.

Az műszerben a mérőszakasz után található egy hőmérsékletszenzor is (3), továbbá a kimeneti szakaszon egy szelep helyezkedik el, amellyel az átengedett térfogatáram pontosan beállítható.

Fontos továbbá megjegyezni, hogy az örvényhagyó elem geometriája a gyártó kizárólagos tulajdona, így ipari titoknak minősül. Ezért jelen cikkben az elemet egy szimmetrikus körhengernek feltételezve végzem el a szükséges vizsgálatokat.

## 2. PROBLÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az áramlásmérő gyártó által dokumentált pontossága a [3] katalógusban szerepel. Kérdésként merül fel, hogy ebben a pontossági korlátban mekkora szerepet játszik a feltételezett nemlinearitás, mely a Strouhal-szám Reynolds-szám függésének tulajdonítható. Ennek vizsgálatára egy, a mérőműszer dokumentált pontosságánál jelentősen nagyobb pontosságú kalibrációs mérésre van szükség. E mérés megmutatja azt is, hogy adott műszer eseti kalibrációjával megvalósítható-e a [2] szerint dokumentálnál nagyobb mérési pontosság.

Mivel a vortex áramlásmérők alkalmazásának alapja a Strouhal-szám állandósága az adott Reynolds-szám tartományon, ezért fontos e feltétel teljesülését ellenőrizni.

A témával foglalkozó szakirodalmi forrás [3] utal rá, hogy a Strouhal-szám Reynolds-számtól való függetlensége csak közelítőleg valósul meg, bár hozzáteszi, hogy az ebből adódó nemlinearitási hiba viszonylag kicsi.

Jelen cikk a fenti kérdésfelvetésre kíván választ adni, kalibrációs mérések és azok kiértékelése révén. A vizsgálat magában foglalja a kalibráló berendezés megtervezését, megépítését, a mérések kivitelezését és a kapott adatok vizsgálati célból történő feldolgozását. Az adatfeldolgozás és kiértékelés a következő szempontok szerint történik:

1) Kalibrációs diagramok felvétele, azok nemlinearitási vizsgálata, lineáris trendvonal-illesztés révén, a legkisebb négyzetek módszerével.

2) A nemlinearitás részletesebb feltárása érdekében a műszert jellemző  $Str(Re)$  trendek származtatása. E trendek összehasonlítása a szakirodalomban fellelhető adatokkal [3], körhengerre és ún. delta-idomra vonatkozóan. A trendek jellegzetességeinek megállapítása.

3) A  $Str(Re)$  trendnek megfelelő nemlinearitás összevetése a műszer katalógusban dokumentált pontosságával. Annak megállapítása, hogy a műszer eseti kalibrációja révén milyen mértékben fokozható a mérési pontosság, melyet ezek után alapvetően már csak a  $Str(Re)$  trend korlátoz.

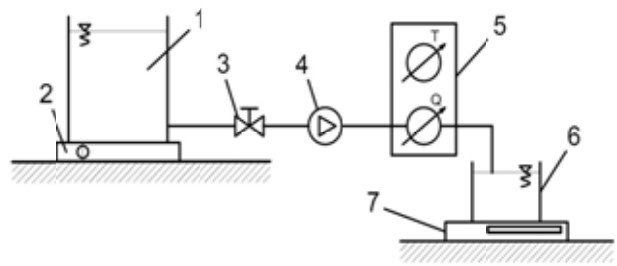
### 3. KALIBRÁLÓ BERENDEZÉS TERVEZÉSE ÉS KIVITELEZÉSE

A kalibráló berendezés tervezéséhez elengedhetetlen a kalibrálandó műszer alapos megismerése.

A vizsgálandó műszer kalibrátor-tervezés szempontjából leglényegesebb adatai [2]:

- térfogatáram-mérési tartomány:  $0,5 - 4$  liter/perc
- a műszer hidraulikai ellenállás görbéjének ismerete (a maximális mérhető térfogatáramon a nyomásesés  $0,04$  MPa)
- gyártó által szavatolt mérési pontosság:  $\pm 3$  %, a teljes mérési tartományra vonatkoztatva

A fenti tulajdonságok figyelembe vételével, a szükséges hidraulikai számítások elvégzése után, a 2. ábrán vázolt kalibráló berendezést terveztem meg.



2. ábra: A kalibráló berendezés felépítése

Az (1) tartályból biztosított a mérőfolyadék utánpótlása. Fontos a lehetőleg nagy átmérőjű tartály alkalmazása, hogy a vízszintváltozásból adódó nyomáscsökkenés által okozott hiba minimális legyen. A közeg hőmérsékletének pontos beállítását a (2) fűtőelem végzi el, a tartály után a térfogatáram szabályozásáról pedig a (3) szelep gondoskodik. A tartálybeli mérőfolyadékot a (4), frekvenciaváltóval is felszerelt szivattyú áramoltatja. A tartály és a szivattyú szintkülönbsége  $0,7$  m. A szivattyú a közeget a beállított térfogatárammal átáramoltatja az (5) kalibrálandó műszeren. A műszer után közvetlenül elhelyezkedő (6) tartályba kerül a közeg, melynek pillanatnyi tömegét a (7) precíziós mérleg méri.

A rendszer teljes hidraulikai ellenállása az elért maximális térfogatáramon  $34$  kPa, azaz  $3,5$  vízoszlop méter, melyből a szivattyúnak  $2,8$  vízoszlop métert kell fedeznie. Az így kialakult munkapontban az áramlásmérőnél létrehozott maximális térfogatáram  $3,2$  liter/perc.

A mérési módszer a következő: A tartály feltöltendő a közeggel, mely jelen esetben a belső korrózió elkerülése érdekében desztillált víz. A kívánt hőmérséklet elérése után történik a szelep nyitása, majd a szivattyú bekapcsolása. Ezután beállítandó a térfogatáram, amely a szelepnyitás változtatásával és a szivattyú fordulatszámának szabályozásával tehető meg. Amikor állandósult az áramlás és a műszer felvette a közeg hőmérsékletét, indul a mérés. Ez a műszer által kijelzett térfogatáram leolvasását, illetve az átáramoltatott folyadék

tömegének kilépési oldalon való mérését, valamint a kifolyási idő rögzítését jelenti.

Így a kalibráló berendezés által mért térfogatáramot a következőképpen számíthatjuk ki:

$$Q_{mért} = \frac{\Delta m}{\Delta t \cdot \rho_{víz,T}} \quad (3)$$

A kalibrálási mérések során általános alapelv, hogy a kalibrálási módszernek legalább kétszer-háromszor, ideális esetben egy nagyságrenddel pontosabbnak kell lennie a kalibrálandó műszernél. Ahhoz, hogy a tömeg-, illetve időmérés relatív hibáját minimalizáljuk, célszerű a lehető nagyobb  $\Delta m$  és  $\Delta t$  értékekkel dolgozni.

A fenti megfontolásokat figyelembe véve a hibaszámítások megmutatták, hogy az épített kalibráló berendezés relatív hibája 0,15 és 0,3 % között mozog, tehát teljesül az egy nagyságrenddel nagyobb pontosság elve.



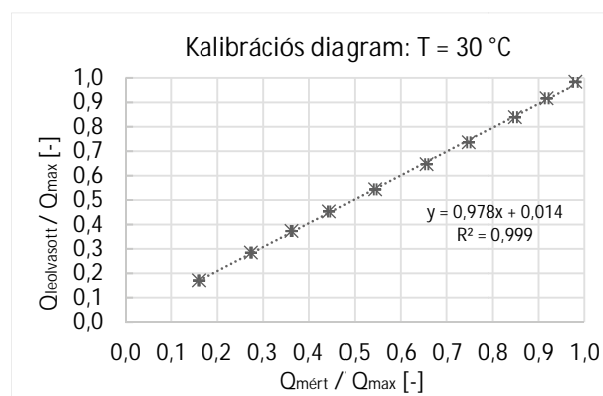
3. ábra: Az összeállított kalibráló berendezés

#### 4. A MÉRT ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

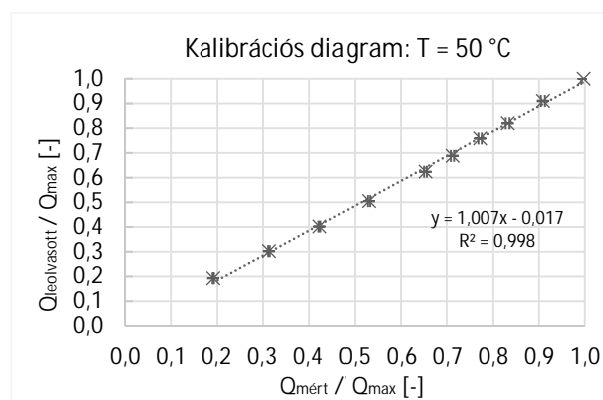
A méréseket az előbbieken leírtak alapján két, egymástól jelentősen eltérő hőmérsékleten végeztem. Mindkét esetben az üzemi tartomány 10 pontjában mértem, és a

kiértékelés során ezekkel az adatokkal dolgoztam.

Az adatsorokat mindegyik esetre dimenziótlánítva közlöm. A dimenziótlánítást a 20 db mérési pont során elért maximális térfogatáram értékkel való leosztással végeztem el. A kalibrációs diagramok 30, illetve 50 °C-on, a hozzájuk tartozó hibásávokkal a 4., illetve az 5. ábrán láthatók.



4. ábra: A kalibrációs diagram 30 °C-on



5. ábra: A kalibrációs diagram 50 °C-on

A diagramokon látható, hogy a mérési pontokra illesztett egyenesek közel tökéletes „1” meredekségű egyenesek, tehát a műszer által mért értékek majdnem teljesen megegyeznek a kalibráló berendezéssel mértekkel.

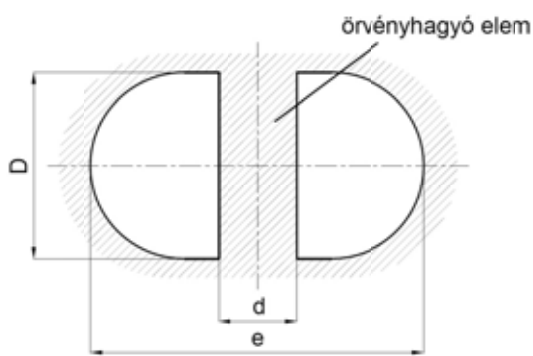
Megfigyelhető azonban egy trend a pontok egyenestől való eltérésében. Látható, hogy a legkisebb térfogatáramokon még az egyenes fölött helyezkednek el, később lassan



átkerülnek a kalibrációs egyenes alá, majd fokozatosan újra fölé tartanak. A továbbiakban ezt a nemlinearitást, „hullámzó” jelenséget vizsgáljuk meg alaposabban.

## 5. NEMLINEARITÁSI VIZSGÁLATOK

Már említésre került, hogy a nemlinearitás vizsgálata lényegében a Strouhal-szám Reynolds-szám függvényében vett állandóságának vizsgálatát jelenti. Mindkét dimenziótlan jellemző számításához szükség van a közeg sebességére, amelyet a mért térfogatáramból számolhatunk, a sebesség meghatározásához pedig szükség van az áramlási keresztmetszet területére. A keresztmetszet kialakítását a 6. ábra mutatja.



6. ábra: Az áramlási keresztmetszet

A fentiek ismeretében közegsebesség:

$$u = \frac{Q_{\text{mért}}}{D^2\pi/4 + D \cdot (e - D - d)} \quad (4)$$

A mért hőmérsékletre tartozó kinematikai viszkozitás [4], valamint az előbb meghatározott adatok ismeretében már számolható a Reynolds-szám.

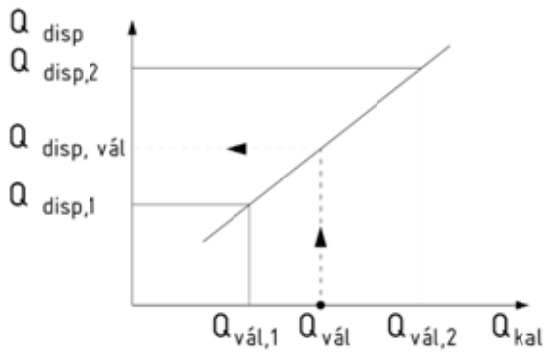
A Strouhal-szám meghatározásához még szükség van az örvényleválási frekvenciára. Bár a műszer ezt közvetlenül méri és kijelzi a belőle számolt térfogatáramot, nincs lehetőség  $f$  értékének pontos meghatározására. Mivel jelen esetben nem kifejezetten a Strouhal-szám pontos értéke, hanem inkább annak Reynolds-

szám függvényében történő lefutása és arányainak változása a fontos, ezért ezt a probléma áthidalható. Ki kell választani egy jellemző Strouhal-szám – Reynolds-szám értékpárt, és ezekhez a rögzített értékekhez viszonyítva kell vizsgálni a nemlinearitás jelensége miatt bekövetkező változásokat. A jellemző értékpár kiválasztásához az [5] szakirodalom nyújt segítséget, mely szerint állandó keresztmetszetű körhenger esetén a Strouhal-szám értéke közel állandó:  $Str \approx 0,21$ . Ez alapján kiválasztottam a  $Re_{\text{vál}} = 5000$  és a  $Str_{\text{vál}} = 0,21$  értékpárt.

A hőmérséklet – így a kinematikai viszkozitás – ismeretében számítható a megadott Reynolds-számhoz tartozó áramlási sebesség ( $u_{\text{vál}}$ ), a sebesség és a Strouhal-szám ismeretében pedig meghatározható a megadott értékpárra az örvényleválási frekvencia ( $f_{\text{vál}}$ ).

Az előbb kiszámított áramlási sebesség, valamint az ismert keresztmetszet szorzatából számítható a választott pontban a térfogatáram ( $Q_{\text{vál}}$ ). Ezek után meg kell határozni, hogy ez a térfogatáram melyik, kalibráló berendezéssel mért térfogatáram-intervallumba esik, illetve, hogy ezekhez a mért értékekhez milyen, az áramlásmérő által kijelzett (leolvasott) értékek tartoznak.

Ezután lineáris interpoláció alkalmazásával kiszámítandó, hogy ha a választott pontokhoz számolt térfogatáramot a kalibráló berendezéssel mértük volna, akkor ahhoz a trendeket figyelembe véve milyen értéket mutatott volna a műszer. Ez szemléletesen:



7. ábra: A lineáris interpoláció

Ezek után meghatározható egy  $C$  konstans:

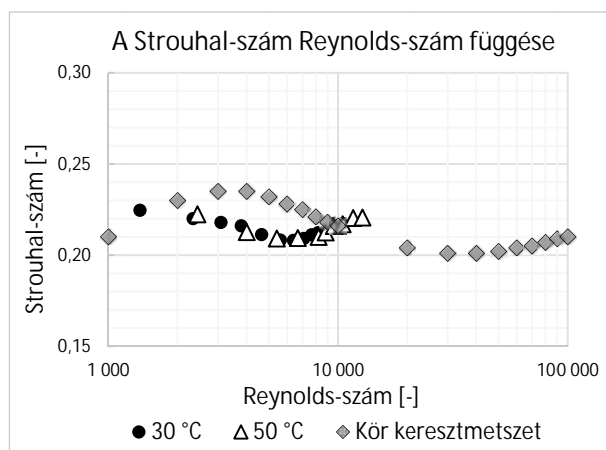
$$C = \frac{Q_{leolv,vál}}{f_{vál}} \quad (5)$$

A  $C$  tényező ismeretében már minden térfogatáramhoz számolható a hozzá tartozó arányos örvényleválási frekvencia:

$$f_{leolvasott} = \frac{Q_{leolvasott}}{C} \quad (6)$$

A frekvenciákat ismerve minden rendelkezésre áll, hogy az arányos Strouhal-szám meghatározására az összes mérési pontban.

Az nemlinearitások lefutása a két vizsgálati hőmérsékleten a 8. ábrán látható. E diagramban ábrázoltam továbbá – összehasonlítás céljából – a [3] szakirodalom eredményeit is kör keresztmetszetű örvényhagyó elemre.



8. ábra: A Strouhal-szám változása

Az adatsorok vizsgálata alapján az alábbi megállapítások tehetők:

1) Szemrevételezés és lineáris regresszió alapján az ipari elvárásoknak számos esetben megfelelő, igen jó linearitási karakterisztikát mutat a műszer.

2) A Strouhal-szám Reynolds-szám függését vizsgálva jelentősen kisebb Reynolds-szám függés, tapasztalható, mint azt a vonatkozó szakirodalom körhengerre megállapította. Az ingadozásokat befoglaló sáv szélessége a körhengerhez tartozó sáv szélességének megközelítőleg fele.

3) A fenti két pontban foglaltak alapján megállapítható, hogy a Strouhal-szám Reynolds-szám függése inkább a célirányosan vortex mérőkhöz kifejlesztett delta-idoméhoz hasonlatos. Tehát, köszönhetően a vizsgált mérőműszerhez a gyártó által speciálisan kifejlesztett örvényhagyó elemnek, a műszer karakterisztikája jóval közelebb van a lineárishoz, mint ahogy azt előzetesen – körhenger alakú örvényhagyó elemet feltételezve – vártuk.

4) A  $Str(Re)$  függés vizsgálata alapján kijelenthető, hogy az ingadozás a teljes mérési tartományra vetítve a gyártó által vállalt  $\pm 3\%$  alatt maradt. Tehát a vizsgált műszer eseti kalibrációjával a [2] katalógus szerinti értéket meghaladó pontosság is elérhető.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra került egy vortex áramlásmérő teljes kalibrálási folyamata. Ez magában foglalta egy kalibráló berendezés tervezését és kivitelezését a megadott paraméterek alapján, a kalibrálási mérések elvégzését, majd a mérési adatok feldolgozását és azok kiértékelését. A kiértékelés során a műszer mérési elvéből adódó nemlinearitás hatásait vizsgáltam, azokat összehasonlítottam

az ismert szakirodalomban és a gyártói katalógusban szereplő értékekkel. A mérési adatok feldolgozásának eredményeként kijelenthető, hogy a műszer minden vizsgálati pontban teljesítette, illetve több pontra vonatkozóan túlteljesítette az előzetes elvárásokat. Az örvényhagyó elven működő áramlásmérő műszerek viselkedésének részletesebb megértéséhez javasolt numerikus áramlástan vizsgálatokat is végezni. Ezen kívül érdemes lehet több, más mérési tartományra gyártott vortex áramlásmérővel is elvégezni a fent bemutatott vizsgálatokat.

### SUMMARY

The whole calibration process of a vortex flow meter was presented in the article. This included the design and building of a calibration setup by the parameters given, carrying out the calibration measurements, and the processing and evaluating of the data acquired. In the evaluation stage, the effects of the non-linearity caused by the measurement principle has been examined. Then comparisons has been made with the values that can be found in the related literature and the manufacturer's catalogue. As the results of the data-processing it can be stated, that the flow meter met the expectations in every investigation points, and it even exceeded them in some cases. For deeper understanding of the behavior of vortex flow meters, application of computational fluid dynamics is recommended. If given the chance, it can be useful to carry out the measurements presented above with vortex flow meters manufactured for other measuring ranges too.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző kinyilvánítja köszönetét az SMC Hungary Kft. felé a rendelkezésre bocsátott vortex áramlásmérő, és a feladathoz kötődő konzultációs segítség kapcsán.

A cikk elkészítését támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal a K 112277 pályázat keretein belül.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben", valamint a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" című projektek szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 és a TÁMOP-4.2.1/B-09/11/KMR-2010-0002 programok támogatják.

### IRODALOMJEGYZÉK

[1] Balla, E., Vad, J. (2016), Beamforming studies on basic models of low-speed axial fan blade sections. *12th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics (ETC'12)*, Stockholm, Svédország (benyújtva).

[2] SMC Co., *3-color display Digital Flow Switch for Water-Series PF3W; 6-p1039-1065-pf3w.* (2015.10.06)  
<http://www.smcworld.com>

[3] Durchfluss Fibel. 3. Ausgabe (1990), ISBN3905615037. Endress+Hauser GmbH+Co. <http://www.endress.com>

[4] Microelectronics Heat Transfer Laboratory. (1997), *Fluid Properties Calculator.* (2015.10.06)  
<http://www.mhlt.uwaterloo.ca/old/onlinetools/airprop/airprop.html>

[5] Dr. Lajos Tamás. (2008), *Az áramlástan alapjai.* Műegyetemi Kiadó, Budapest

[6] Dr. Gruber József és szerzőtársai: *Ventilátorok.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.

# KEVERÉSI HATÉKONYSÁG VIZSGÁLATA DISZKRÉT ELEMELÉVEL

## INVESTIGATION OF MIXING EFFICIENCY WITH DISCRETE ELEMENT METHODS

Varga Attila<sup>\*</sup>, Dr. Fenyvesi László<sup>\*\*</sup>, Dr. Keppler István<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

*There are cases when the mixing process can be performed only by using open mixing screws, for example in the case of silos or silo dryers. Although the mixing process appears unsophisticated, it is a very complex phenomenon. The aim of our prior work was to quantify the mixing efficiency [2]. To determine the effectiveness of the mixing process, the effective radius has been defined. With the effective radius, the optimal angular velocity of a screw auger has been determined. In the present article, we investigate, how the mixing efficiency changes with a given angular velocity in case of screw augers with different diameters. To model this phenomenon, the EDEM Academic 2.7. discrete element software was used.*

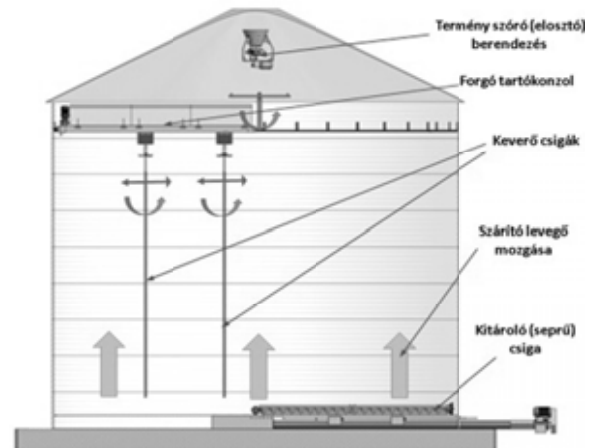
### 1. BEVEZETÉS

A konvekciós szárító berendezések esetében a termék szárítását alapvetően áramló levegő végzi, mely a vízelvonó képesség növelése miatt többnyire meleg levegő. A szárítólevegővel ellentétes irányban mozgó terményt a gravitációs erő hajtja, de léteznek kényszermozgatásos (pl. szalagos, vibrációs) megoldások is. A vastag rétegű gravitációs szárítóknál a megkívánt módon leszáradt réteg általában már a kitérő szakasz előtt kialakul, ezért könnyen létrejöhethet a túlszáritás. A mozgás közben a termék szemek forgása korlátozott, amely kihat a szárítás hatásfokára. A szárítási hatásfok növelése érdekében alakították ki a vékony rétegű megoldásokat (pl. palást, szalagos szárítók). Sok esetben ezeket a termék kéméletesebb (alacsony hőmérsékletű, kisebb sebességű szárítóközeggel megvalósított) szárítására használják (pl. gyógynövények, leveles zöldségek). Az ismert megoldások többségénél a szárítóban a termék mozgása egyirányú a halmazon belüli relatív mozgás (keveredés) nem számottevő. Ez a körülmény hátrányos, amennyiben a szárított közeg nedvességtartalma nem homogén. Az egyenletes, a terményhalmaz nedvességtartalmi inhomogenitását kezelni tudó, jó hatásfokú szárítás megvalósításához előnyös a szárított

termény bolygatása. A megoldás alkalmazása – szimmetria okok miatt – különösen előnyös szárítósilók esetében. Ekkor a szárított anyag átkeverését ugyanis függőleges irányban elhelyezett csigák végzik (1. ábra), amelyek mozgatása a torony sugárirányában és egy konzol segítségével körbeforgatva történik. A keverőszerkezet mozgása így többszörösen összetett, amely a terményréteg fellazításával a levegőáramlást is megkönnyíti.

A megfelelően beállított hőmérsékletű szárítólevegő a teljes perforált szellőztető padozaton keresztül jut a szárítótérbe. A leszártott terményt kitérő csigával lehet eltávolítani. A megoldás számos kivitele ismert, a csigák száma, és a terménybe nyúlásuk mértéke, a mozgatás jellege (önállóan mozgó, vagy fixen szerelt keverőcsigák) szerint.

A rendszerrel kéméletes szárítás valósítható meg, a magok beltartalmi értékeinek megőrzésével, homogén szárítási minőséggel. A rendszer jól szabályozható ezert szinte mindenféle gabona és sok egyéb termék szárítására alkalmas.



1. ábra A silószárító perforált padozatú légbevezető rendszerrel

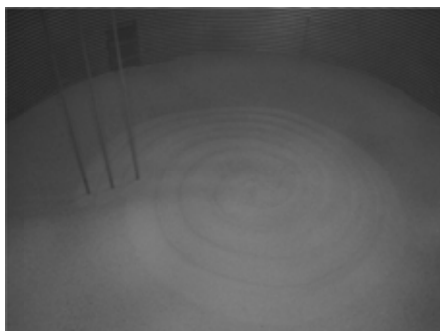
A keverőcsigák által bejárt mozgáspálya függ a csigák számától, radiális sebességüktől, valamint a tartókonzol szögsebességétől. A kisebb radiális

<sup>\*</sup> levelező tagozatos doktorandusz, Szent István Egyetem Mechanikai és Géptani Intézet

<sup>\*\*</sup> egyetemi docens, Szent István Egyetem Mechanikai és Géptani Intézet

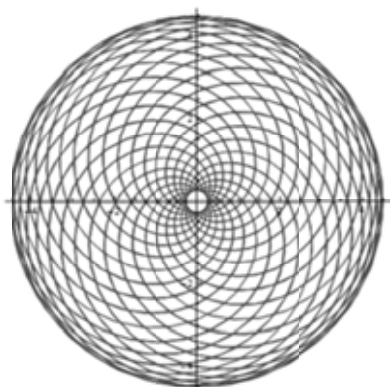
<sup>\*\*\*</sup> egyetemi tanár, Szent István Egyetem Mechanikai és Géptani Intézet

sebességű, a tartókonzolon fixen rögzített keverőcsigák esetén a felszíni keverési kép csigavonal szerint alakul (2. ábra). Ebben az esetben a keverőcsigák együtt mozognak a tartókar mentén. Azaz, a keverés művelete három mozgás szuperpozíciójából (tartókonzol körmozgásából, a csigák a tartókar mentén végzett mozgásából és a csigák saját tengelyük körüli forgásából) tevődik össze.



2. ábra A csigavonal szerint alakuló felszíni keverési kép

Amennyiben a radiális sebesség nagy, és a keverőcsigák egymástól függetlenül mozognak, megváltozik a felszíni keverési kép is (3. ábra). Mindkét verzió esetében látható, hogy a centrumban erőteljesebb a keverőhatás, mint a széleken.



3. ábra A csigás keverőrendszer mozgásának pályái[4]

A keverőrendszerek tervezésének a legfontosabb kérdései, hogy a keverés során a keverőcsigák az adott idő alatt mekkora utat járnak be és mennyi anyagot mozgatnak meg. A tervezés során, úgy kell kialakítani a konstrukciót, hogy a lehető legjobban végezze a keverést, azaz minél egyenletesebben, minél több anyagrészt keverjen át.

Nagyon fontos a geometria és az üzemeltetési beállítások pontos megadása. Ha ezeket a paramétereket rosszul választják meg, akkor a teljesítmény sem lesz megfelelő. Maga a keverési folyamat egyszerűnek tűnik, azonban a folyamat modellezése rendkívül nehéz és összetett feladat. Az ezen a területen dolgozó kutatók

és mérnökök a tervezésnél és a fejlesztéseknél javarészt empirikus adatokra támaszkodnak. Korábbi és jelenlegi munkáink során, azt vizsgáltuk, hogy egy álló tengely körül forgó csiga környezetében milyen áramlási viszonyok alakulnak ki, ha a keveredést befolyásoló tényezőket (a keverőcsigák szögsebessége, levélátmérő, menetemelkedés) változtatjuk. A modellezéshez az EDEM Academic 2.7. diszkrét elemes szoftvert használtuk.

## 2. KEVERÉSI HATÉKONYSÁG VIZSGÁLATA

### 2.1. Diszkrét elemek módszere

A diszkrét elemes módszer (DEM) egy új numerikus eljárás a szemcsés halmazok mechanikai viselkedésének modellezésére. Egy numerikus eljárást diszkrét elemes modellnek tekinthetünk, ha egymástól egyértelműen elkülöníthető elemekből épül fel és ezek az elemek önálló elmozdulási szabadságfokokkal rendelkeznek oly módon, hogy a modell képes követni az elemek véges nagyságú eltolódásait és elfordulásait (esetleg deformációit is) [1].

A diszkrét elemes közelítés a szemcsés anyagot az egyes szemcsék mechanikai viselkedésének nyomán követésével modellezi. A DEM szimuláció lényege, hogy az összes szemcse mozgásegyenletét egyenként oldjuk meg. A közelítés során a halmazt idealizált tulajdonságokkal rendelkező szemcsék összességének tekintik. A szemcsék mechanikai kölcsönhatását erők és nyomatékok segítségével modellezzük.

A szimulációk során a szemcsék, illetve a szemcsék és a keverőcsiga közti kapcsolatok leírására a Hertz-Mindlin-féle "no slip" kapcsolati modellt használtunk.

A diszkrét elemes modellben a szimuláció kezdetétől a program kiszámolja az érintkezésből adódó erőket a Hertz-Mindlin csúszásmentes kapcsolati modellhez: az anyagi és kapcsolati paramétereknek hatása van a normál, illetve az érintőirányú erőkre. Ezek az erők illetve nyomatékok hatnak a szárítandó szemcsék között a következő összefüggésnek megfelelően:

A normál irányú erő:

$$F_n = \frac{4}{3} E_0 \delta^{\frac{3}{2}} \sqrt{R_0} - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \frac{\ln C_r}{\sqrt{\ln^2 C_r + \pi^2}} \sqrt{2 E_0^{\frac{4}{3}} R_0 \delta} \sqrt{m_0 v_{\text{rel}}} \quad (1)$$

Ahol  $C_r$  az ütközési tényező,  $E_0$  az egyenértékű Young modulusza a két kölcsönhatásban lévő szemcsének és  $\delta$  az átfedés a két szemcse között. Az  $R_0$  az egyenértékű sugár az  $m_0$  egyenértékű tömeg és  $v_{\text{rel}}$  a normális irányú komponense a relatív sebességnek a szemcsék között.

Az érintő irányú erő:

$$F_t = -8 G_0 \sqrt{R_0} \delta \delta_t - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \frac{\ln C_r}{\sqrt{\ln^2 C_r + \pi^2}} \sqrt{2 G_0^{\frac{4}{3}} R_0 \delta} \sqrt{m_0 v_{\text{rel}}} \quad (2)$$

Ahol  $G_0$  az egyenértékű nyírási modulusza két egymással kapcsolatba lépő szemcsének,  $\delta$  az átfedés a két szemce között. A  $\delta_i$  az érintőirányú átfedés a két szemce között, a  $v_{\text{rel}}$  pedig az érintőirányú komponense a szemcsék közötti relatív sebességnek. Az érintőirányú átfedés az érintőirányú elmozdulása az érintkezési pontnak, egészen addig a pontig ameddig az érintkezés véget nem ér vagy a szemce el nem kezd gördülni vagy csúszni. Az érintő irányú átfedés az adott szemcséknek az érintőirányú deformációját reprezentálja. Az érintőirányú erőt a Coulomb törvény korlátozza:  $\mu_s F_n$  ahol  $\mu_s$  a csúszási súrlódási együttható (avagy a súrlódási félkúpszög tangense). A gördülési súrlódásból adódó nyomaték:

$$M_r = -\mu_r F_N R_i \omega_i \quad (3)$$

Ahol  $R_i$  az  $i$  szemce középpontjának távolsága az érintkezés pontjától,  $\omega_i$  pedig egy szögsebességirányú vektor, amely dimenzió nélküli mennyiség és csak az  $i$ . szemce forgásának az irányát mutatja meg. A  $\mu_r$  a gördülési súrlódási együttható. Az érintő irányú erőnek szintén van nyomatéka a szemcsére:

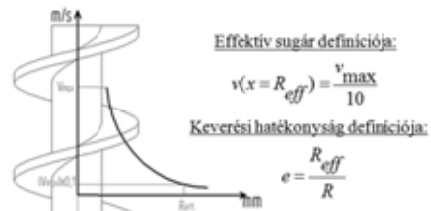
$$M_t = F_t R_i \quad (4)$$

A szimulációk során lendülettel illetve a perdülettel segítségével fel kell írni a mozgásegyenleteket az összes különálló szemcsére. A felhasznált időléptéknek nagy hatása van a numerikus modell stabilitására. Az egyik gyakran alkalmazott időlépték Rayleigh-féle időlépték [2]:

$$T_R = (0.1631\nu + 0.8766)^{-1} \pi R \left( \frac{\rho_p}{G_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

## 2.2. Diszkrét elemes szimulációk

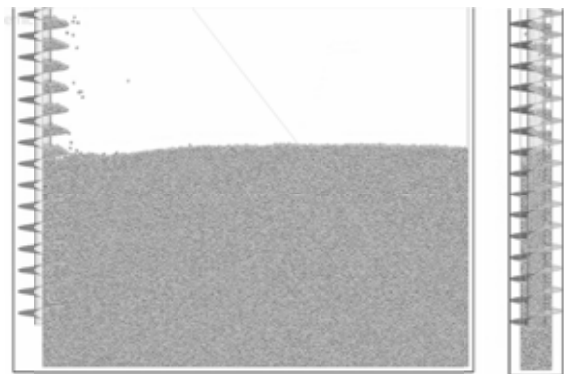
Korábbi kutatásunk [2] eredményeként bebizonyítottuk, hogy a cikkünkben bemutatott numerikus modell alkalmazásával a búza-halmazban forgó csiga hatására kialakuló mozgás és a mérési tapasztalat között szoros kapcsolat van. A modell kísérleteket 6.3 % nedvességtartalmú búzával végeztük el. Ezért cikkünkben ezt a numerikus modellt alkalmazzuk a keverés minőségének, hatásfokának jellemzésére irányuló vizsgálatainkban. A diszkrét elemes szimulációk során 5 különböző levéltámmérvél rendelkező keverőcsiga keverési hatékonyságát vizsgáltuk állandó fordulatszám mellett. A keverési hatékonyságot úgy definiáltuk, mint az effektív sugár és a csigalevél sugárának hányadosát (4. ábra.).



4. ábra A keverési hatékonyság meghatározása[2]

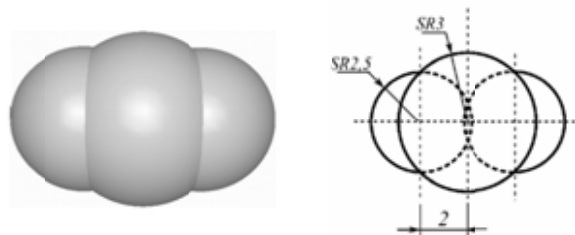
A effektív sugár az a csiga hossz tengelyétől mért távolság, amelynél a szemcsék csiga-tengely irányú sebessége a sugár mentén fellépő maximális csiga-tengely irányú sebesség értékének 10%-ával egyenlő.

A szimulációkban csak a búzaszemcsék és a keverőcsiga kölcsönhatását vettük figyelembe, mivel az általunk kiemelt hengeres tartomány környezetében a valóságban szintén szemestermény van. A modelltér falát 1,5 méterre helyzetük el a csigától, megszüntetve ezzel a fal szemceáramlásra gyakorolt hatását. Ezért az így létrehozott modelltér falainál a súrlódás hatásával nem kellett számolnunk. A számítás igény csökkentése érdekében csak a csiga középvonalától jobbra eső részt vizsgáltuk a csiga átmérőjével megegyező szélességű sávban [5. ábra].



5. ábra A keverőrendszer diszkrét elemes modellje

A szemcséket három egymásba metsző gömb segítségével modelleztük [6. ábra].



6. ábra Egy búzaszem diszkrét elemes modellje[3]

A búza és az acél mikromechanikai paraméterei megegyeztek a korábbi munkánk során meghatározott értékekkel [2][3]. A szimulációkban 80, 90, 100, 110, 120 mm-es levéltámmérvél rendelkező csigákat alkalmaztunk. A tengelyátmérő és a menetemelkedés

minden esetben 40 mm volt. A csigák hossza 1200 mm, szögsebessége 20rad/sec.

A diszkrét elemes modellezés első lépése a modellterben véletlenszerűen elhelyezkedő szemcsék generálása. Az általunk használt szoftver először a modellterben generálja a szemcséket és ezt követően gravitációs úton „hullanak” le a szemcsék a modellter aljára. A folyamat következményeként kialakul a véletlenszerű elhelyezkedés. Ezután meg kell várni, amíg a halmaz lecsillapodik és ezután lehet indítani a keverést.

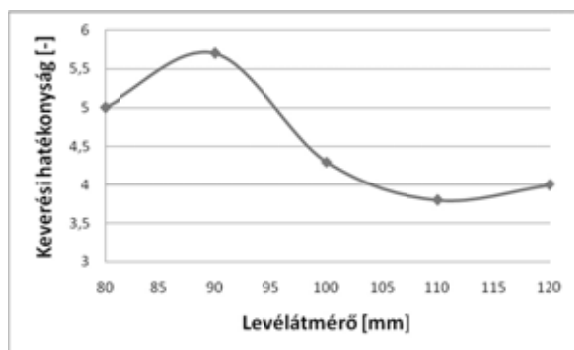
### 3. EREDMÉNYEK

AA függőleges irányú sebességek meghatározásához 10x10x10 mm<sup>3</sup> tartományokat helyeztünk el a csiga aljától mérve 200mm magasságban, sugárirányban. A tartományban található búzaszemcsék függőleges irányú sebességeinek vettük az átlagát. Ezek segítségével számítottuk ki az effektív sugarakat, valamint a keverési hatékonyságot (1. táblázat).

1. táblázat Keverési hatékonyság meghatározása

Csiga levélméret	Effektív sugár	Kev. hat.
[mm]	[mm]	[-]
80 mm	200	5
90 mm	260	5.7
100 mm	215	4.3
110 mm	210	3.8
120 mm	240	4

A következő ábrán látható, hogyan változik a keverési hatékonyság különböző levélméretök esetén (7. ábra).



7. ábra Keverési hatékonyság változása

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során azt vizsgáltuk, hogyan változik a keverési hatékonyság 5 különböző levélmérettel rendelkező keverő csigák esetén adott fordulatszám mellett és menetemelkedés mellett. A szimulációkban alkalmazott szemcsehalmoz búza volt. Korábbi kutatásunk [2] során létrehozott, a megadott paraméterek esetén igen jól illeszkedő, diszkrét elemes

modellünket alkalmaztuk a keverési hatékonyság meghatározására. Egy búzaszemcsét három egymásban metsző gömb segítségével modelleztünk. A vizsgálatokat a keverés szempontjából leghátrányosabb helyzetben végeztük el, amikor a forgó csiga hatását határoló fal nem növeli. Mivel ekkor a fal a szemcseáramlásra nem gyakorol hatást, az így létrehozott modellter falainál a súrlódás hatásával nem kellett számolnunk. A tartomány falait súrlódásmentes anyagként definiáltuk. Az eredmények azt mutatják, hogy a keverő csiga levélméretjének a növelése nem javítja a keverési hatékonyságot. Létezik egy optimum érték, amely felett a keverési hatékonyság már jelentősen csökken.

### 5. SUMMARY

In this paper, the changes of the mixing efficiency were investigated in the case of 5 different diameters right-handed augers with a constant pitch length and a given angular velocity. The investigations were done in the worst case of mixing terms when effect of the rotating screw was not increased by the bounding wall. In this case the wall has no effect to the particle motion. The wheat particle model has been created as the clump of three spheres. The wall of the volume was defined as a frictionless material. It can be found that increasing of the screw diameters do not revise the mixing efficiency. There is an optimal value above which there is no reason to increase the diameter.

### 6. IRODALOM

- [1] CUNDALL, P.A., HART, D.H.: Numerical modelling of discontinua. Journal of Engineering Computations, 1992
- [2] KEPLER I., VARGA A., SZABO I., KATAI L., FENYVESI L.: Particle motion around open mixing screws: optimal screw angular velocity, Engineering Computations Vol. 33 (2016) Iss: 3, pp.896 – 906
- [3] KEPLER I., KOCSIS L., OLDAL I., FARKAS I., CSATAR A.: Grain velocity distribution in a mixed flow dryer, Advanced Powder Technology 2, (2012) pp.824-832.
- [4] VARGA A.: Silószárítók szemcsemozgás viszonyainak elemzése, Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, XX, Kolozsvár (2015), 319-322. o., ISSN: 2393-1280





# CONTENTS

1. Hanula Barna, Vízur Gábor László:

## **EVOLUTION OF ENGINEERING EDUCATION – WHAT REQUIRES THE GENERATION Z? .....5**

*The social, economic and technological development in recent decades dramatically changed the work of engineers and at least in the same way young people entering the universities changed as well. It cannot be a surprise that the training must change significantly, to adapt to the new conditions. Those, who take part in the education need to consider the actual objectives, structure, content and methodology of training.*

2. Pfliegler Péter, Várnai Beáta, Márton Ádám:

## **COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF TOWN MISKOLC .....8**

*The article explains that in recent years the town Miskolc through comprehensive improvements developed using innovative technologies. Through the settlement of Hungarian and international companies it has become a modern, viable regional center, which plays a major role in automotive industry. Moving forward the town Miskolc plans to become a “green and clever” city.*

3. Jármái Károly, Farkas József:

## **OPTIMUM DESIGN OF A TRUCK FLOOR FOR MINIMUM MASS AND COST, USING DIFFERENT MATERIALS .....13**

*In the article the floor structure of a truck produced by a company in Hungary has been investigated. The structure consists of steel members, or extruded Al-alloy longitudinal and cross members as well as a tread deck plate. Using an optimum design process, namely the Hillclimb optimizer, significant mass and cost savings may be achieved by decreasing the deck plate thickness and changing the profile, dimensions and number of cross members. Design constraints relate to fatigue stress range of welded joints, to local buckling of extruded or normal profiles and to fabrication size limitations.*

4. Ervin Kerekes, Ákos Finta, Gábor Erdei, Miklós Tóth:

## **LIFE CYCLE EMISSION REDUCTION – THE INCREASING CHALLENGE FOR ENGINE DEVELOPMENT .....19**

*According to the current directives the engines must comply with emissions standards throughout their useful lives. To ensure that the engine manufacturers can fulfil this legalization requirements an additional well-defined process was prescribed for the engine certification called Deterioration Factor Testing (DF). DFs are applied to account for any increase in emissions over the useful life of an engine. The certification engine must comply with emission standards after the DFs are applied.*

5. Zsemberi Andor, Siménfalvi Zoltán Károly,

Palotás Árpád Bence:

## **INVESTIGATION OF THE THERMAL-CATALYTIC CRACKING PARAMETERS .....22**

*In this publication we present recycling options of various rubber tyre and plastics derivatives in combined material flow by means of applying thermo-catalytic degradation process at different temperature levels. This technology offers an opportunity to produce a secondary energy source (petrol- and gas oil-type hydrocarbons) and/or raw material for the chemical industry from the mentioned waste fraction.*

6. Palotás Béla, Pogonyi Tibor:

## **RESULTS OF RESISTANCE SPOT WELDING OF AHSS IN UNIVERSITY OF DUNAUJVAROS .....27**

*The paper shows the results of resistance spot welding of DP, TRIP, TWIP and HF steels, results proved that they can be welded without any grain growing. The results of research – which will be demonstrated in the paper – proved that these AHS steels shall be welded with complex welding schedules.*

7. Szilágyiné Biró Andrea, Tisza Miklós:

## **INFLUENCE OF ACTIVE SCREEN BIAS VOLTAGE ON PLASMA NITRIDED LAYERS OF LOW ALLOYED NITRIDABLE STEEL .....34**

*In most cases the surfaces of engineering parts have an important role in increasing lifetime: surface needs to be wear and/or corrosion resistant, while the rest of the part needs to be tough/ductile. The surface engineering can help to fulfil these complex requirements. Using this heat treatment technology, it is possible to produce a hard surface layer on the components. Nitriding is a widely used process to alloy the surface with nitrogen. Plasma technology is an environmental-friendly process.*

8. Sója János, Sebestyén Zoltán, Czégény Zsuzsanna, Miskolczi Norbert:

## **TECHNOLOGIES FOR WASTE POLYMER PYROLYSIS .....40**

*The amount of plastic waste is rapidly growing and generates serious problem. Thermal and thermo-catalytic pyrolysis looks attractive ways for problem solution, because valuable products such as pyrolysis oil and hydrocarbon gases could be obtained. There are a lot of technologies for this aim, which use batch, tubular, fix bed, fluid bed or rotating drum reactors. This paper is dedicated to summarizing the mostly used processes for waste polymer pyrolysis together with their main parameters.*

9. Fenyvesi Bence:

## **CALIBRATION EXPERIENCES ON A VORTEX FLOW METER .....45**

*The paper presents the diagnostic investigation of the effects of non-linear behaviour caused by the main measurement principle of vortex-shedding flow meters. The investigation includes the start to finish design and building of the calibration equipment, the description of the diagnostic method and the processing of the acquired data. The presented calibration method and the built equipment can be applied to several kinds of flow meter calibrations, it is not restricted to the case under investigation.*

10. Varga Attila, Dr. Fenyvesi László, Dr. Keppler István:

## **INVESTIGATION OF MIXING EFFICIENCY WITH DISCRETE ELEMENT METHODS .....52**

*The aim of the prior work was to quantify the mixing efficiency. To determine the effectiveness of the mixing process, the effective radius has been defined. With the effective radius, the optimal angular velocity of a screw auger has been determined. In the present article, we investigate, how the mixing efficiency changes with a given angular velocity in case of screw augers with different diameters.*

# GÉP

## INFORMATIVE JOURNAL

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

Dr. Döbröczöni Ádám

**President of Editorial Board**

Vesza József

**General Editor**

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

**Deputy**

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercesy 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. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

**DEAR READER,**

Last year in 2016 the vehicle engineering training started at the University of Miskolc. It was a great pleasure to see the enthusiasm of the 37 young persons. On registration week we have organized a workshop, where they could listen several lectures on the training and after that we have visited the TAKATA Company. On the occasion of this training we have organized a conference on Vehicle Engineering and Vehicle Industry, JK2016. The conference was at November 17-18, 2016 at the university.

The research work, which elaborated in the 4th Centre of Excellence, entitled *Innovative Vehicle, Energetic and Mechanical Engineering Design and Technologies* went on properly at the University of Miskolc. The aim of the Centre of Excellence is to continue research, the innovative modelling, design and technological processes, which are in-line with the priorities of the European Union, to strengthen the innovation and developing technologies with better environmental protection.

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.

The described articles partially were carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-00011 "Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation" project implemented in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund."

The first 7 articles are the lectures of the conference on *Vehicle Engineering and Vehicle Industry* and the research results of the 4th Center of Excellence, the followings are the results of the researchers at other universities.

*Prof. Dr. Károly Jármái*  
*Vice rector for strategy and development,*  
*leader of the Center of Excellence*

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

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, Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: a.gaby@gteportal.eu, Web: www.gte.mtesz.hu

Web: http://www.gepujsag.hu \* Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: gazdasz@chello.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.

hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343

ISSN 0016-8572

**The published articles have been reviewed.**

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary



## 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON VEHICLE AND AUTOMOTIVE ENGINEERING VAE2018



23-25. May 2018. University of Miskolc, Hungary



# A jövő jelen van.



**MACH-TECH**



**IPAR NAPJAI**



**2017. május 9–12.**

## **MACH-TECH és IPAR NAPJAI szakkiállítások**

a HUNGEXPO Budapesti Vásárközpontban!

A Hungexpo ipari szakkiállítás-együttese a legátfogóbb rendezvény, mely egy időben, egy helyen ad lehetőséget minden ipari szegmens bemutatására, felvonultatva az ipar összes ágazatát.

**Magyarország legjelentősebb üzleti eseménye az iparban**

**Kiemelt téma:** Ipar 4.0 – M2M, IoT, AI, smart solutions, termelési hálózatok és további számos technológiai irányzat

**Legfontosabb megjelenő tematikák:** elektronika, automatizálás, gépipar, robotika, chemtech, hegesztéstechnika, energetika, IT, beszállítóipar és még sok más iparág

**A honlapon online látogatói regisztráció működik az ingyenes belépésért.**

**Bővebb információ**

[www.iparnapjai.hu](http://www.iparnapjai.hu)

**A kiállítás támogató partnere:**



**hungexpokiállítás**

**50 ÉVE**