

MŰSZAKI SZEMLE

67. szám, 2016.

Szerkesztőbizottság elnöke / President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

Szerkesztőbizottság tagjai / Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU
Dr. Barabás István – RO
Dr. Biró Károly Ágoston – RO
Dr. Csibi Vencel-József – RO
Dr. Fedák László – UA
Dr. Karácsony János – RO
Dr. Kása Zoltán – RO
Dr. Kontra Jenő – HU
Dr. Majdik Kornélia – RO
Dr. Nagy László – RO
Dr. Pécs Hajnalka – RS
Dr. Sebestyén-Pál György – RO
Dr. Szalay György – SK
Dr. Turchany Guy – CH
Dr. Zsuga Miklós – HU

Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki
Tudományos Társaság – EMT
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică
din Transilvania
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche
Gesellschaft in Siebenbürgen
Hungarian Technical Scientific Society
of Transylvania

Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. Köllő Gábor

A szerkesztőség címe / Address

Romania
400604 Cluj, Kolozsvár
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.
Tel/fax: 40-264-590825, 594042
Levélcím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

www.emt.ro

emt@emt.ro

Tartalomjegyzék – Content – Cuprins

- Új szempontok homorú ívelt profilú hengeres csigahajtások geometriai méretezéséhez, hordkép lokalizálásához
New Viewpoints to Geometrical Dimensioning and Bearing Pattern Localization of Cylindrical Worm Gear Drives Having Concave Arched Profil
Noi puncte de vedere în dimensionarea geometrică a transmisiilor melcate cu profil curb concav și localizarea petei de contact
BALAJTI Zsuzsanna, DUDÁS Illés 3
- Biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságainak modellezése
Modeling the Key Fuel Properties of Biodiesel-diesel Fuel-bioetanol Blends
Modelarea proprietăților principale ale amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol
BARABÁS István, ZÖLDY Máté, TODORUȚ Ioan-Adrian 10
- Spiroid csigahajtómű zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálata
Noise and Vibration Analysis of Spiroid Gear Box
Diagnosticarea vibroacustică a unui reductor melcat spiroid
BODZÁS Sándor, DUDÁS Illés Szabolcs, HORVÁTH Róbert, MÁNDY Zoltán, DUDÁS Illés 17
- A beton sokszínűsége
The diversity of concrete
Diversitatea betonului
LECZOVICS Péter, KÁSZONYI Gábor 25
- Kibocsátásbecslési eljárások és modellek összehasonlítása
Comparison of Emission Models and Processes
Compararea procedurilor și modelelor pentru evaluarea emisiilor
SZENDRŐ Gábor, TÖRÖK Ádám 33
- Gyártórendszerek folyamatfejlesztési lehetőségei a negyedik ipari forradalomban
Process improvement possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0
Posibilitățile dezvoltării proceselor în sistemelor de fabricație în a 4-a revoluție industrială
TAMÁS Péter, ILLÉS Béla 41

Új szempontok homorú ívelt profilú hengeres csigahajtások geometriai méretezéséhez, hordkép lokalizálásához

New Viewpoints to Geometrical Dimensioning and Bearing Pattern Localization of Cylindrical Worm Gear Drives Having Concave Arched Profil

Noi puncte de vedere în dimensionarea geometrică a transmisiilor melcate cu profil curb concav și localizarea petei de contact

Dr. BALAJTI Zsuzsanna PhD¹, Pro. DR. DUDÁS Illés DSC.²

Miskolci Egyetem, Miskolc-Egyetemváros,
¹balajtizs@uni-miskolc.hu, ²illes.dudas@uni-miskolc.hu

ABSTRACT

In this paper reader can have new viewpoints to design worm gear drives with concave arched profile on the cylindrical worm. The new viewpoint can help to optimize the bearing pattern with design of the geometrical parameters of the profile of the worm.

The first manufacturing of arched worm in axial section was in 1972, in DIGÉP [5]. Since then the development of research is in process in this area. The aim is the processing of the connection between the bearing pattern and the geometrical parameters in this paper.

Kulcsszavak: Csigá, kapcsolódási tengelyek, csomópont, hordkép, geometria

1. BEVEZETÉS

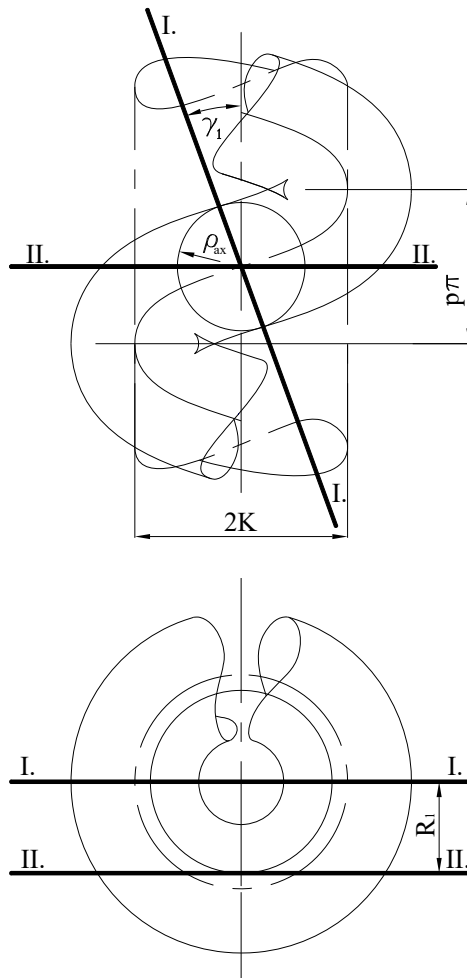
A kutatómunka során vizsgáljuk, hogy milyen geometriai összefüggés lehet a hengeres csiga paramétere (az a tengelytáv, a γ emelkedési szög, az i áttétel, az z bekezdés szám, a q átmérőhányados, a p_1 emelkedési paraméter, stb.) és a csiga ívelt profilú fogfelületének (r_{ax} , K) geometriai paramétere között? Ezek az értékek függenek egymástól, de milyen értékhatárok között mozognak? A tanulmány célja annak eldöntése, hogy a geometriai paraméterek megváltoztatása segíti-e a geometriai méretezést?

Az ívelt profilt egy archimedesi csőfelület egy íve írja le, melynek geometriai adatai: a p paraméter, a középvonal K sugara és a felület axiális metszetben kör sugarának r_{ax} mérete (1. ábra). Geometriai méretezés-kor a tervezők a K és a r_{ax} sugarakat különböző megfontolások alapján veszik fel, vagy számítják [2], [4], [5], [6], [7], [8], [9].

Egyelőre annyit kell megjegyezni, hogy a csőfelület p csavarparaméterének és a csiga ugyancsak p csavarparaméterének megegyezőnek kell lenni.

2. KAPCSOLÓDÁSI TENGELYEK

A szóban forgó paraméterek közötti kapcsolat feltárását segíti elő a hajtás kinematikájában előálló **kapcsolási tengelyek** ismerete. A kapcsolódás tengelyeire vonatkozóan megfelelő szakirodalmak állnak rendelkezésünkre [1], [6], [9], [10], [12]. A kapcsolódás tengelyeit az archimedesi csőfelülethez viszonyított elhelyezkedésével az 1. ábra mutatja be. A tengelyek paramétere: R_1 és γ_1 , a p paraméter a $p = R_1 \cdot \tan \gamma_1$ szerint vehető fel.



1. ábra
A kapcsolódás tengelyei [11]

3. CSOMÓPONTOK, CSOMÓVONALAK

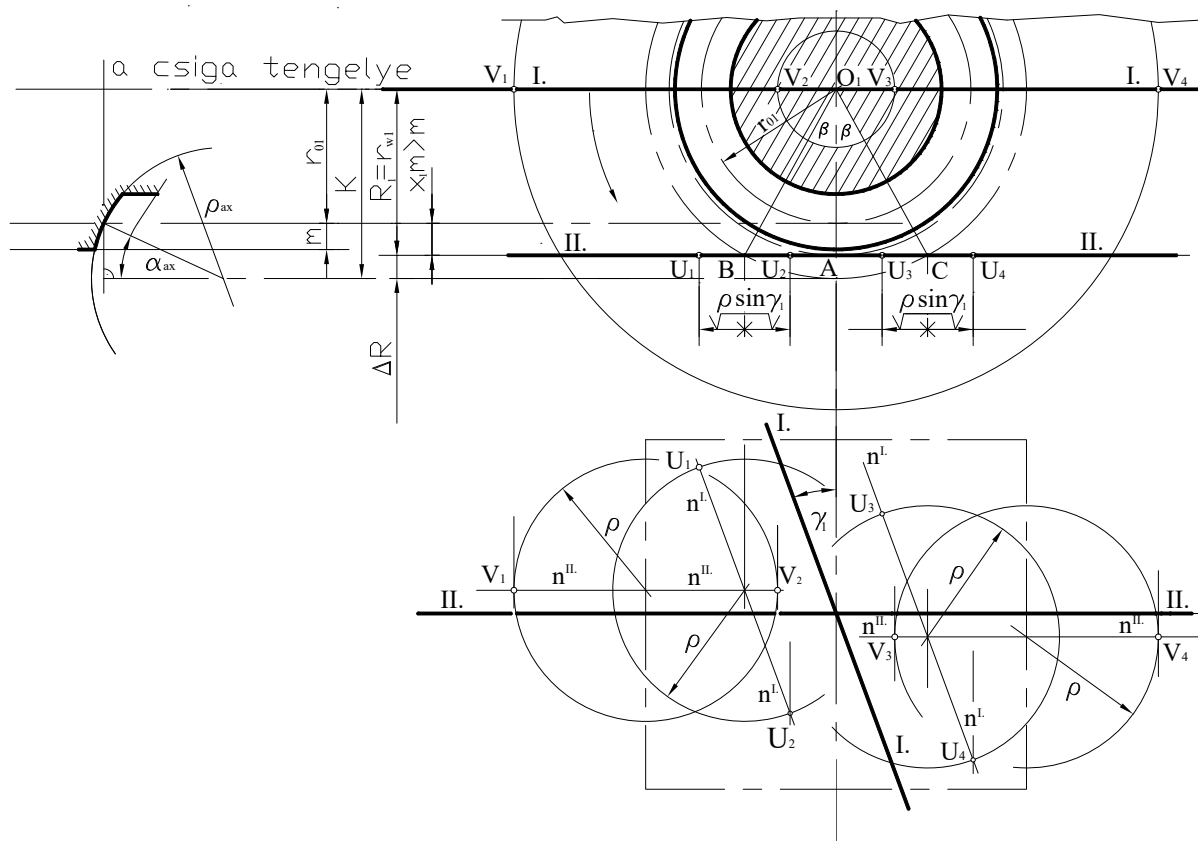
A kapcsolódásban határhelyzet áll elő, amikor a kapcsolódó fogfelületi normális párhuzamos helyzetbe kerül az I. vagy II. kapcsolódási tengellyel, melyet a 2. ábrán tüntettünk fel. Az ábrán előtérbe helyeztük a kapcsolódási tengelyekre illeszkedő síkmetszeteket. Az egyik sík a I. tengely és a csigatengely által meghatározott sík, melyben a II. tengellyel párhuzamos \mathbf{n}^{II} normálisok találhatók. A másik sík illeszkedik a II. tengelyre és párhuzamos az \mathbf{n}^{I} normálisokkal.

Az I. kapcsolási tengely, az \mathbf{n}^{II} - \mathbf{n}^{II} normálisok és a csigatengely egy síkban vannak. Ebben a síkban vannak a V_1, V_2, V_3, V_4 **csomópontok** is, amelyekben az \mathbf{n}^{II} normálisok metszik a fog-felületet. Ezen pontoknak a vetületei, mint csomóponti vetületek a homlokmetszeten látszanak. Ugyanígy a csiga tengellyel párhuzamos, II. kapcsolási tengelyre illeszkedő síkban található az \mathbf{n}^{I} - \mathbf{n}^{I} normálisok az U_1, U_2, U_3, U_4 fogfelületi pontokkal, amelyek mint csomópontok vetületei ugyancsak látszanak a homlokmetszeten.

A 2. ábrán látható, hogy a **csomópontok vetületeinek száma nyolc** ($V_1, V_2, V_3, V_4, U_1, U_2, U_3, U_4$). Ez a maximális szám. Az archimedesi csőfelület bizonyos K és r_{ax} méreteinél ez lehet kisebb, mert a csomópontok kerülhetnek fedésbe például a $K = r_{ax}$, esetén, vagy eltűnnek, ha például $R_1 > K$. Működés közben, amikor a csiga elfordul, a csomópontok a csigatengellyel párhuzamos alkotókon, az úgynevezett **csomóvonalakon** mozognak. A csomópontok, csomóvonalak feltárása Krivenko és Bernackij nevéhez, meghatározása pedig **Litvin** és munkatársai nevéhez fűződik. Magyarországon **Drahos** [2] nevét kell megemlíteni. A kapcsolódásban a csomópontok pillanatnyi helyének ismerete azért fontos, mert a pillanatnyi érintkezési vonalak a csomópontokból indulnak és a csomópontokba érkeznek. Így a tervezőnek – a karakterisztikák feltárása nélkül is – már előtervezéskor lehetősége van tájékozódni a kialakult hordképről.

4. ÍVELT PROFILÚ CSIGAHAJTÁS ELŐTERVEZÉSE

Felvázolunk egy olyan módszert, amely a tervezés során egyszerűvé és szemléletessé teszi a csomópontok helyzetét. Javaslatunkat a 2. ábra alapján mutatjuk be.



2. ábra
Csomópontok elhelyezkedése

Elsőként felírjuk a csiga alapterveit, különös tekintettel az

$$r_{w1} = R_1 = r_{01} + x_1 \cdot m_{ax} = \left(\frac{q}{2} + x_1 \right) \cdot m_{ax} \quad (1)$$

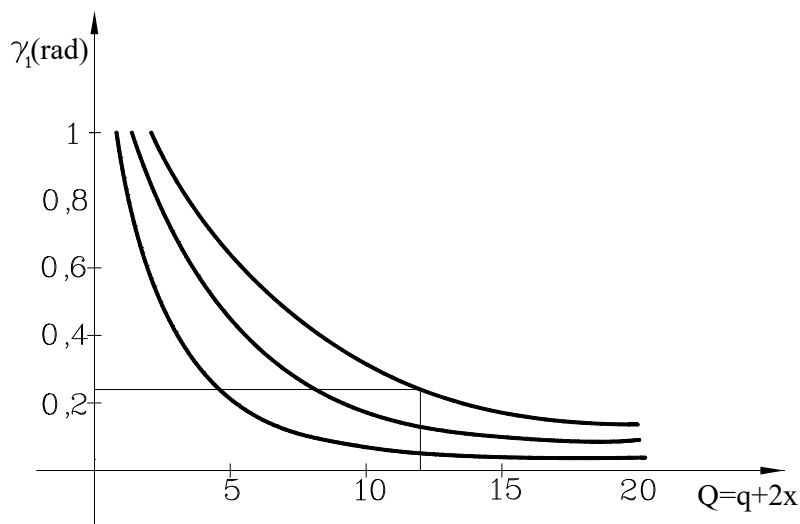
összefüggésre.

$$\tan \gamma_1 = \frac{z_{f1}}{q + 2x_1} = \frac{z_{f1}}{Q}$$

$$Q = \frac{z_{f1}}{\tan \gamma_1}$$

A q átmérőhányados a 3. ábrán látható diagram alapján vehető fel. Az m_{ax} a csiga axiális modulja, az $1,5 > x_1 > 1$ fajlagos szerszám elállítás.

A $p = \frac{z_{f1} \cdot m_{ax}}{2}$ a csiga paramétere, ahol z_{f1} a fogszám, azaz a bekezdések száma, $\tan \gamma_1 = \frac{z_{f1}}{q + 2x_1}$, ahol γ_1 emelkedési szög az r_{w1} gördülőkörön (2. ábra).



3. ábra
A q átmérőhányados megválasztása

A

$$K=R_1+DR, \quad (2)$$

ahol K az archimedesi csőfelület középső csavarvonalának sugara. $\Delta R \cong m_{ax}$ körüli nagyság, amelyet befolyásolhatnak még az alábbi képletek is:

$$\sin \alpha_{ax} = \frac{x_1 \cdot m_{ax} + \Delta R}{\rho_{ax}} = \sin(21^\circ \dots 24^\circ), \quad (3)$$

illetve

$$\frac{\Delta R}{\rho_{ax}} = \sin(\Psi_f), \quad \Psi_f = 7^\circ \dots 10^\circ. \quad (4)$$

A ρ_{ax} az arcimedesi csőfelület axiális körmetszetének sugara, általában $r_{01} < \rho_{ax} < R_1$, figyelembe véve (3)-at, illetve (4)-et.

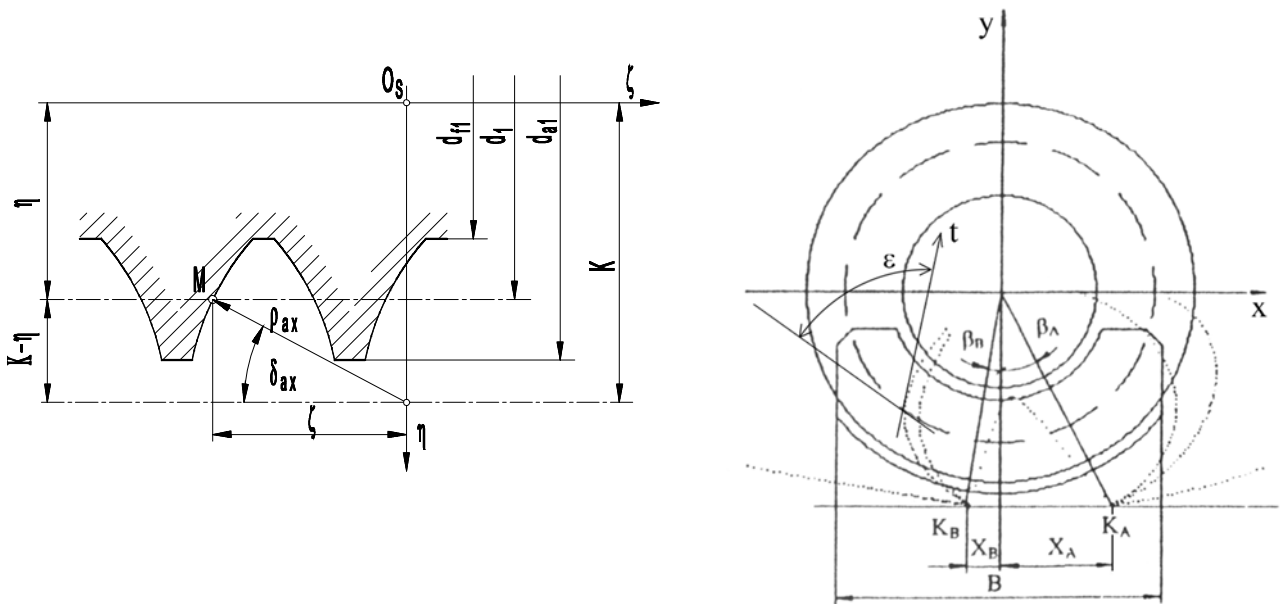
Az interaktív előtervezés során azt kell optimálisnak tekinteni, amit a tervező is jónak tart (felvétel szabadsága).

A jó hordkép kialakításához a csomópontok 2. ábrán látható homlokmetzeti vetületeinek ismerete hozzájárul. A kapcsolódó karakterisztika vonal és így a hordkép helyzetét az dönti el, hogy az archimedesi fogfelületnek **melyik fogfelületi tartománya van kapcsolódásban**. A 2. ábrán megrajzolt esetben látható, hogy a V_2 - U_2 - V_3 - U_4 csomópontok közötti tartományban alakul ki a hordkép a karakterisztikák vonalszakaszaiból.

Az azonos vetületű csomópontok axiális távolsága az axiális osztás. A felvázoltakból következik, hogy a leírt menetrendben, az összefüggések és felvételek helyes alkalmazásával, a bemutatott, könnyen áttekinthető módszer már az előtervezés szakaszában hozzásegíti a tervezőt az ívelt profilú csigahajtás céljának megfelelő optimális tervezéséhez.

5. HORDKÉP OPTIMÁLÁS

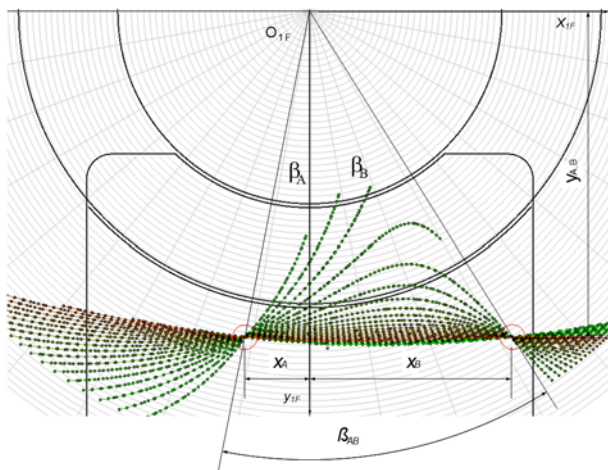
A 4. ábrán követhetők szerint meghatározhatók azok az optimális geometriai paraméterek, melyek a kapcsolókép ideális elhelyezkedését lehetővé teszik.



4. ábra

Geometriai paraméterek hatásának értelmezése az érintkezési vonalakra és elhelyezkedésére ZTA csigahajtás esetében (átvéve [6]-ből)

A fenti módon tervezett és köszörült csigán olyan csavarfelület képződik, melynél a kapcsolt egyenesen fekvő pillanatnyi érintkezési görbék csomópontja (KB) a főponttól (C) a csigakerék (B) szélességének kb. 1/6-od résznyi távolságára helyezkedik el. Ebben az esetben a kapcsolódó felületek között a kenőfolyadék részére szükséges ún. kenőék és a kívánt korlátozott fogérintkezési mező is kialakul. E feltételekből kiszámítható profilkorrekció $x_2=0,8 \div 1,5$ között van [6], [7].



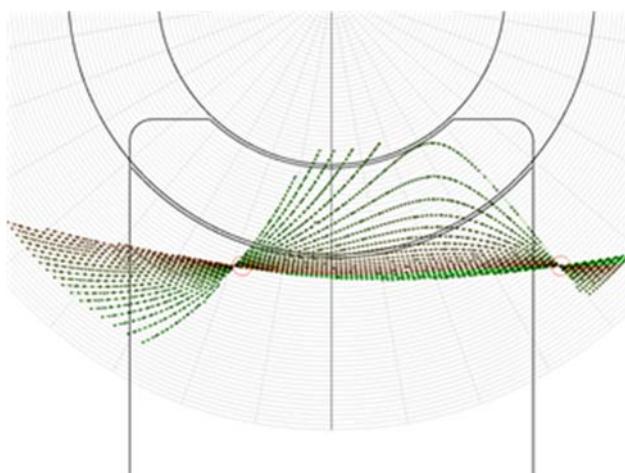
$\beta_{AB} = 38,999957^\circ$
 $X_A = -19,67 \text{ mm}$
 $X_B = 38,24 \text{ mm}$
 $i_{21} = 0,0857142$
 $K = 69,5 \text{ m}$
 m
 $a = 285 \text{ mm}$
 $x_2 = 1$
 $p = 18,75 \text{ mm}$

$z_{ax} = 0 \text{ mm}$
 $\rho_{ax} = 45 \text{ mm}$
 $\varphi_1 = -30 - 200^\circ$
 $\eta = 38,75 - 58,75 \text{ mm}$
 $\vartheta = -60 - 60^\circ$
 $nv \leq 0,001$

5. ábra

A csomópontok β_A és β_B szögei, valamint a ρ_{ax} körív profil sugár, illetve a profil körív középpontja és a csiga tengely K távolsága, mint bemenő geometriai adatok [13]

Ezzel az eljárással egy adott hajtástípusnál tehát meghatároztuk azokat a kapcsolóvonalak ideális elhelyezkedését lehetővé tevő optimális geometriai paramétereket, amelyek az 5. és 6. ábrán követhetők.



$$\beta_{AB} = 57,9218^\circ$$

$$T\% = 52,5510\%$$

$$X_A = -19,89 \text{ mm}$$

$$X_B = 51,09 \text{ mm}$$

$$i_{21} = 0,0857142$$

$$\mathbf{K} = 70 \text{ mm}$$

$$a = 280 \text{ mm}$$

$$x_2 = 1$$

$$p = 18,75 \text{ mm}$$

$$z_{ax} = 0 \text{ mm}$$

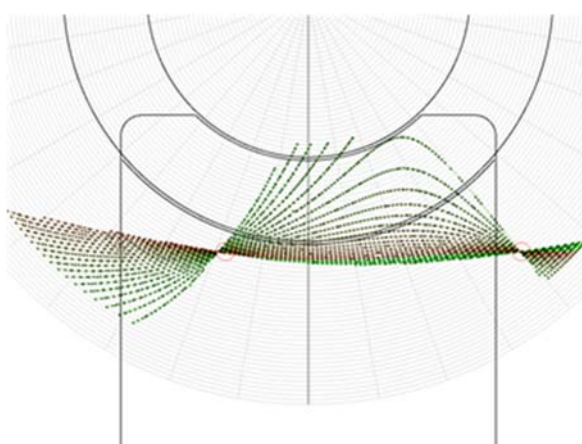
$$\rho_{ax} = 50 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 = -30 - 200^\circ$$

$$\eta = 38,75 - 58,75 \text{ mm}$$

$$\vartheta = -60 - 60^\circ$$

$$nv \leq 0,001$$



$$\beta_{AB} = 76,4901^\circ$$

$$T\% = 69,5420\%$$

$$X_A = -35,47 \text{ mm}$$

$$X_B = 64,26 \text{ mm}$$

$$i_{21} = 0,0857142$$

$$\mathbf{K} = 78 \text{ mm}$$

$$a = 280 \text{ mm}$$

$$x_2 = 1$$

$$p = 18,75 \text{ mm}$$

$$z_{ax} = 0 \text{ mm}$$

$$\rho_{ax} = 50 \text{ mm}$$

$$\varphi_1 = -30 - 200^\circ$$

$$\eta = 38,75 - 58,75 \text{ mm}$$

$$\vartheta = -60 - 60^\circ$$

$$nv \leq 0,001$$

6. ábra

A csomópontok $\beta_{AB} = \beta_A + \beta_B$ szöge, a ρ_{ax} körív profil sugár és a K profil körív középpontja és a csiga tengely távolságának változtatása esetén

6. ÖSSZEGZÉS

Kitűzött célunk volt, hogy összefüggést találjunk a csigahajtás geometriai paramétereit, valamint az ívelt csiga fog alakjának paramétereit között. Esetünkben az ívelt profilú csigát egy körívvel határoztuk meg. Elsőként ilyen csigahajtást a Diósgyőri Gépgyárban gyártottunk, dolgoztuk ki a körszörülés egzakt módját. Természetesen bármilyen más ívelt profil is választható, melyet a kapcsolódás szempontjából meg lehet vizsgálni. Munkánk eredményeként új szempontokat tártunk fel a geometriai kialakítás és a helyes hordkép meghatározása céljából. Eredményeinket konkrét számítással és gyártással igazoltuk.

Tisztelettel emlékezünk Dr. Lévai Imre Professzorra szakmai tanácsaiért, a téma kidolgozásakor nyújtott előremutató gondolataiért, akivel volt szerencsénk egy csigakutató csoportban dolgozni.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Altmann, F. G.: *Bestimmung des Zahnflankeneingriffs bei allgemeinen Schraubengetrieben*, VDI. Forschung aus dem Gebiet des Ingenieurwesens, Berlin, 1937. No.5. pp. 209-225.
- [2] Balajti, Zsuzsa: *New Modelling of Computer Aided Design of worms in the Same Axis*, Journal Manufacturing and Industrial Engineering, No. 2 Volume XL, ISSN 1338-6549, Slovakia, Kosice, 2012, pp.: 26-29.

- [3] Drahos I.: *A Litvin-féle csigahajtás érintkezési vonalseregének és kapcsolási felületének szerkesztése*. NME Magyar Nyelvű Közleményei, XII. kötet. Miskolc, 1965.
- [4] Drobni J.: *Korszerű csigahajtások*, TENZOR Kft. Miskolc, 2001.
- [5] Dudás I.: *Ívelt profilú csigahajtás egyszerűsített gyártása és minősítése*, Egyetemi Doktori Értekezés, Miskolc, 1972.
- [6] Dudás I.: *The Theory and Practice of Worm Gear Drives*. Penton Press, London, 2000.(ISBN 1 8571 8027 5)
- [7] Dudás I.: *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2007. (ISBN 978-963-16-6047-0)
- [8] Dudás I., Bodzás S., Dudás I. Sz., Mándy Z.: Konkáv profilú spiróid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására. Találmány lajstromszáma: Szabadalmi bejelentés napja: 2012. 07. 04.
- [9] Krivenko, I. SZ.: *Novüie tipü cservjacsnüh peredacs na szudah*, Izd. Szudoszrovenie, Leningrád, 1967.
- [10] Lévai I.: *Contact cylindrical Worms- internal face and their Meshing*, GÉP LIX. ÉVF. 2008. 10-11 szám, pp. 69-85., Miskolc
- [11] Lévai, I., Dudás, I., Balajti, Zs.,: Geometrical dimensioning of cylindrical worm having concave arched profile, circle in axial intersection, Gépgyártást c. folyóirat, 2009. december 6-7.
- [12] Litvin, Faydor L. – Fuentes, Alfoso: *Gear geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2001.
- [13] Óváriné Dr. Balajti Zsuzsanna: *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, PhD doktori disszertáció, Miskolc, 2007.

Biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságainak modellezése

Modeling the Key Fuel Properties of Biodiesel-diesel Fuel-bioetanol Blends

Modelarea proprietăților principale ale amestecurilor de biodiesel-motorină-bioetanol

Dr. BARABÁS István¹, Dr. ZÖLDY Máté², Dr. TODORUȚ Ioan-Adrian¹

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, 400641 Kolozsvár, Muncii sugárút 103-105, tel.: 0040264401674, e-mail: istvan.barabas@auto.utcluj.ro; adrian.todorut@auto.utcluj.ro

²MOL Group, Október huszonharmadika u. 18, H-1117 Budapest, tel. 0036-70-373-1738, email: mzoldy@mol.hu

ABSTRACT

Recently, the ternary blends made of biodiesel, fossil diesel and bioethanol have been the theme of an increasing number of research works in the field of fuels for internal combustion engines. The fuel properties of these kinds of blends may differ significantly from the properties of diesel fuel. In the present work the authors present a series of mathematical models for describing the density, viscosity, surface tension, cetane number and flash point of these blend. These models may be used to optimise the composition of these blends.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az utóbbi időben a biodízelből, gázolajból és bioetanolból előállított hármass keverékek egyre több motorhajtó-anyagokkal foglalkozó tudományos kutatás témái. Az ilyen típusú keverékek tulajdonságai nagyban eltérhetnek a gázolaj tulajdonságaitól. Tanulmányunkban az ilyen típusú keverékek sűrűségére, viszkozitására, felületi feszültségére, cetánszámára és lobbanáspontjára javasolunk matematikai modelleket, melyek segítségével ezek keverési arányai optimalizálhatók.

Kulcsszavak: biodízel-gázolaj-bioetanol, tulajdonságok modellezése, sűrűség, viszkozitás, felületi feszültség, cetánszám, lobbanáspont

1. BEVEZETÉS

A hagyományos motorhajtó-anyagok nyersanyagának rohamos csökkenése, a belsőégésű motorokkal felszerelt gépjárművek számának gyors növekedése és az ezzel együtt járó környezetszennyezés fokozódása arra ösztönzi a kutatókat, hogy alternatívákat keressenek a hagyományos motorhajtó-anyagokra [7, 8, 13]. A legígéretesebbek ezek közül a biodízel a gázolaj és a bioetanol a motorbenzin részleges vagy teljes kiváltására. Jelenleg a kúti gázolaj legtöbb 7% (V/V) biodízelt, míg a motorbenzin legfeljebb 10% (V/V) etanolt tartalmazhat. A biodízel növényi olajokból vagy állati eredetű zsírokból átszterezéssel állítható elő, míg a bioetanolt cukor, keményítő vagy cellulóz tartalmú alapanyagokból lehet cukrosítással, erjesztéssel, desztillálással és töményítéssel kinyerni.

A motorhajtó-anyagok sűrűségét és viszkozitását a EN 590 számú szabvány mind alulról mind felülről korlátozza (820–845 kg/m³, illetve 2–4,5 mm²/s). Túl alacsony sűrűség és viszkozitás esetén a befecskendezéskor túl sok kistömegű üzemanyag-részecske keletkezik, amelyek nem képesek messze repülni a befecskendezés helyétől. Ezáltal egy hajtóanyagban túl gazdag zóna alakul ki a befecskendezési pont környékén, ami elegendő oxigén hiányában nem képes elégni. Ezzel ellentétben a túl magas sűrűség és viszkozitás nagyméretű részecskék keletkezéséhez vezet, amelyek mélyen bepépülnek az motor égésterébe és még mielőtt teljesen elpárolognának, elérik az égéster szemközti, aránylag hideg falát. Itt lehűlve az égési reakciók leállnak. Mindkét esetben a motor teljesítménye lecsökken, fogyasztása és károsanyag-kibocsátása megnő. Ezenkívül a sűrű-

ség egyenesen befolyásolja az adagolt üzemanyag energiátartalmát, mivel az üzemanyag fűtőértéke tömeg-egységre van meghatározva. Továbbá, a viszkozitás befolyásolja az üzemanyagellátó rendszer tömíthetőségét, de részben felelős az olyan rendszerek kenésében, ahol ez nem megoldható egyéb kenési módszerek alkalmazásával (pl. nagynyomású szivattyúk, befecskendezők, stb.).

A sűrűség és a viszkozitás mellett, a hajtóanyagok felületi feszültsége a harmadik legfontosabb tulajdonság, ami a keverékképzés minőségét befolyásolja. Magas felületi feszültség nagy méretű cseppek keletkezéséhez vezet, míg az alacsony felületi feszültség kis cseppek kialakulása mellett az üzemanyag-ellátó rendszer tömíthetőségét is veszélyeztetheti. Ahhoz, hogy megfelelő legyen a keverékképzés a motor égésterében, szükséges a motorhajtó-anyag sűrűségének, viszkozitásának és felületi feszültségének megfelelő korrelálása.

Cetánszám a motorhajtó-anyagok öngyulladás hajlamának jellemzésére szolgáló szám. Általában különleges, erre a célra fejlesztett cetánszám meghatározó motorokban határozzák meg. A vizsgált gázolaj cetánszáma egyenlő a vizsgálmotorban vele azonos égési tulajdonságokat mutató normál-cetánból – melynek cetánszáma 100, és alfa-metil-naftalinból – aminek cetánszáma 0, készült elegyben levő cetántartalom térfogatszázalékban kifejezett számértékével [9]. A gázolajok és a biodízel cetánszáma legalább 51 kell legyen.

A lobbanáspont az a 101,3 kPa nyomásra átszámított, °C-ban kifejezett legalacsonyabb hőmérséklet, amelyen megszabott körülmények mellett a motorhajtó-anyagból annyi gőz keletkezik, hogy az a körülötte levő levegővel elegyedve lángközelítésre az anyag egész felületére kiterjedően ellobban [9]. A hajtóanyag biztonságos raktározását, szállítását és forgalmazását jellemzi, nem befolyásolja a motor teljesítményét. A gázolaj lobbanáspontja nagyobb kell legyen, mint 55 °C.

Jelen tanulmány célja olyan matematikai modellek azonosítása, amelyek megfelelő pontossággal képesek leírni a biodízel-gázolaj-bioetanol keverékek fontosabb tulajdonságait, mint ezek sűrűsége, viszkozitása, felületi feszültsége, cetánszáma és lobbanáspontja.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

Kísérleteinkhez kúti gázolajat (EN 590), nátrium-hidroxid (NaOH) jelenlétében metanollal átészterezett repceolajat (EN 14214) és burgonyából előállított bioetanol használtunk (EN 15376). Az összetevők és a keverékek sűrűségét, viszkozitását, felületi feszültségét, cetánszámát és lobbanáspontját az 1. táblázatban bemutatott berendezésekkel és módszerekkel határoztuk meg. Ezen tulajdonságok az összetevők esetében, szabványos körülmények között mért értékeit a 2. táblázat tartalmazza [3, 4, 11, 12].

| Tulajdonság | Berendezés | Szabvány |
|-------------------------|-----------------------|--------------|
| Kinematikai viszkozitás | Anton Paar – SVM 3000 | ASTM D7042 |
| Sűrűség | Anton Paar – SVM 3000 | EN ISO 12185 |
| Felületi feszültség | Sztalagmométer | – |
| Cetánszám | CFR F5 | EN ISO 5165 |
| Lobbanáspont | HFP 339 | EN ISO 2719 |

| Sűrűség 15 °C-on, kg/m ³ | 843,3 | 887,4 | 794,85 |
|--|--------|--------|--------|
| Kinematikai viszkozitás 40 °C-on, mm ² /s | 2,4853 | 5,5403 | 1,0697 |
| Cetánszám | 52 | 55,5 | 8 |
| Lobbanáspont, °C | 61 | 126 | 13 |
| Felületi feszültség 20 °C-on, mN/m | 28,2 | 38,60 | 19,19 |

Szobahőmérsékleten biodízeltől, gázolajtól és bioetanolból hármass keverékek készültek olyan összetételben, hogy a biodízel- és bioetanol-tartalmuk 5%-os (V/V) lépcsőkben változott, de ezek összege legfeljebb 30 % (V/V) volt. Az így kapott keverékeket úgy jelöltük, hogy ez tükrözze az összetételüket: például a B10G85E5 jelű keveréket 10% biodízeltől, 85% gázolajtól és 5% bioetanolból állítottuk elő.

Az összetevők és a keverékek sűrűségét és viszkozitását környezeti nyomáson, 273,15...343,15 K hőmérséklet-intervallumban mértük a bioetanol esetében és 273,15...373,15 K intervallumban a biodízel és a gázolaj esetében. A felső határt a bioetanol esetében ennek aránylag alacsony forráspontja határozta meg.

A felületi feszültséget 20 °C-on, sztalagmométerrel határoztuk meg, azonos térfogatú hajtóanyagból és desztillált vízből képződő cseppek számának az összehasonlításával. Mivel az etanol lobbanáspontja alacsonyabb a környezeti hőmérsékletnél, a lobbanáspont méréséhez a hajtóanyagot és a tégelyt le kellett hűteni.

3. A KEVERÉKEK TULAJDONSÁGAINAK A MODELLEZÉSE

3.1. Modellezési eljárások

A keverékek tulajdonságait az összetevők tulajdonságai és bekeverési arányai határozzák meg:

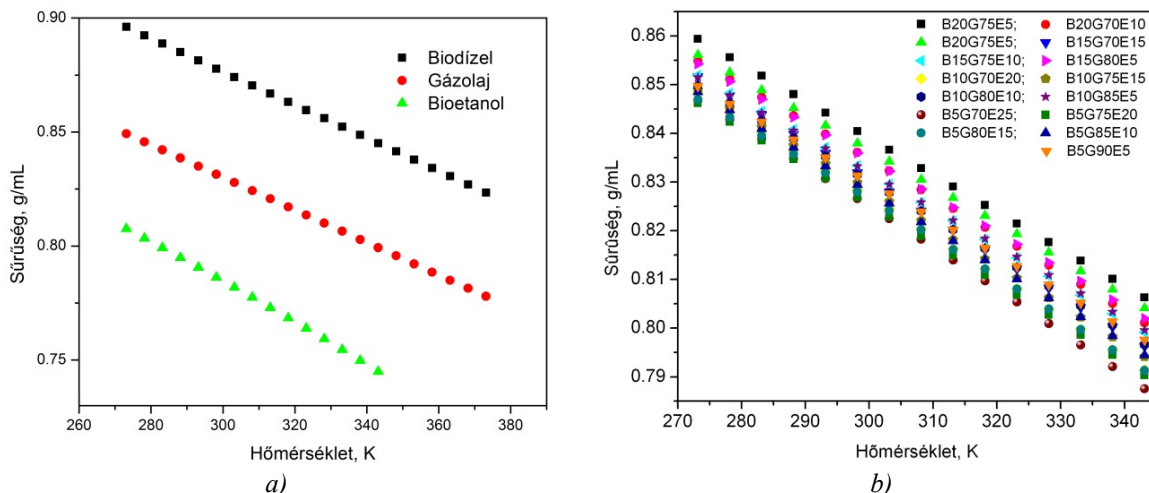
$$J_k = f(J_1, J_2, J_3, \dots, J_n; \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n), \quad (1)$$

ahol n az összetevők száma, $J_k, J_1, J_2, J_3, \dots, J_n$ a keverék, illetve az összetevők egyik tulajdonsága, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$, az összetevők koncentrációja a keverékben, míg f az adott tulajdonság keverési szabálya, ami lehet például additív vagy kiegyenlítő.

A hajtóanyagok sűrűsége és viszkozitása erősen hőmérsékletfüggő. Ezért előbb az összetevők sűrűségét és viszkozitását modelleztük a hőmérséklet függvényében, majd ezeket a modelleket használva kiválasztottuk a keverékek sűrűségét és viszkozitását leíró modelleket.

3.2. A keverékek sűrűségének modellezése

Az összetevők és a keverékek sűrűségének hőmérsékletfüggő változását az 1. ábra mutatja be. Megfigyelhető, hogy a keverékek esetében a biodízel nagyobb sűrűségét jól kompenzálja a bioetanol alacsonyabb sűrűsége.



1. ábra

Az összetevők (a) és a keverékek (b) sűrűségének változása a hőmérséklet függvényében.

Az összetevők sűrűségének hőmérsékletfüggő változása jól leírható egy polinomiális függvény segítségével [1]:

$$\rho = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2, \text{ g/mL} \quad (2)$$

ahol ρ a sűrűség, T a hőmérséklet Kelvinben, a_0, a_1, a_2 pedig állandók. A három összetevőre regresszióval megállapított állandók értékeit és a modellek pontosságát (\overline{AE} – átlagos eltérés, NSz – normál szórás, R – korrelációs együttható) a 3. táblázat tartalmazza.

| Az összetevők sűrűség-modelljeinek állandói és a modellek pontossága | | | | | | 3. táblázat |
|--|-----------------------------|---|---|---------|--------------------------|-------------|
| Összetevő | a_0 (g mL ⁻¹) | a_1 (g mL ⁻¹ K ⁻¹) | a_2 (g mL ⁻¹ K ⁻²) ± σ | ÁE, % | NSz, g·mL ⁻¹ | R |
| Biodízel | 1,09957 | -7,58651×10 ⁻⁴ | 4,97291×10 ⁻⁸ | 0,00295 | 3,42836×10 ⁻⁵ | 1 |
| Gázolaj | 1,04437 | -7,14456×10 ⁻⁴ | 8,12307×10 ⁻¹⁰ | 0,00410 | 4,23439×10 ⁻⁵ | 1 |
| Bioetanol | 0,95789 | -2,77591×10 ⁻⁴ | -9,99192×10 ⁻⁷ | 0,00513 | 5,02090×10 ⁻⁵ | 0,99999 |

A keverékek sűrűségét az összetétel függvényében a következő egyenlettel lehet leírni [1, 2]:

$$\rho_k = \varphi_B \rho_B + \varphi_G \rho_G + \varphi_E \rho_E - \Delta\rho, \quad (3)$$

amiben ρ_k a keverék sűrűsége, φ_B , φ_G és φ_E az összetevők térfogataránya, $\Delta\rho$ a sűrűség hőmérsékletfüggő kontrakciója, amit a következő összefüggéssel lehet meghatározni [1]:

$$\Delta\rho = b_0 + b_1\varphi_B + b_2\varphi_E + b_3(T - 288,15) \quad (4)$$

ahol b_0 , b_1 , b_2 és b_3 regressziós állandók ($b_0 = 1,27800 \times 10^{-03}$; $b_1 = 1,77429 \times 10^{-03}$; $b_2 = -1,94300 \times 10^{-02}$; $b_3 = 3,81247 \times 10^{-5}$).

Figyelembe véve mind az összetétel mind a hőmérséklet befolyását, a hármas keverékek sűrűsége a következő összefüggéssel írható le [1]:

$$\rho_k = A_0 + A_B\varphi_B + A_E\varphi_E + A_T T \quad (5)$$

ahol az A_0 , A_B , A_E és A_T állandókat többszörös lineáris regresszióval határoztuk meg ($A_0 = 1.06164$; $A_B = 0,04425$; $A_E = -0,03371$; $A_T = -7,74554 \times 10^{-4}$). A fenti modell által szolgáltatott sűrűség értékeinek átlagos eltérése a tapasztalati értékektől $\Delta E = 0,34\%$.

Mivel a motorhajtó-anyagok sűrűségét a szabványok szerint 15°C -on kell megadni, erre a hőmérsékletre a következő többszörös lineáris regresszióval megállapított egyenlet használható ($\Delta E = 0,172$; $R = 0,999$) [5]:

$$\rho_k^{15^\circ\text{C}} = 0,8433 + 2,04 \cdot \varphi_B - 4,78 \cdot \varphi_E \quad (6)$$

3.3. A keverékek viszkozitásának a modellezése

Az összetevők és a keverékek kinematikai viszkozitásának hőmérsékletfüggő változását a 2. ábra mutatja be. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a keverékek esetében a biodízel nagyobb viszkozitása nagyon jól kompenzálható a bioetanol alacsonyabb viszkozitásával.

A sűrűség modellezéséhez hasonlóan, előbb az összetevők hőmérsékletfüggő viszkozitását írtuk le, majd ezeket felhasználva a keverékek viszkozitását modelleztük. Az összetevők hőmérsékletfüggő viszkozitása jól leírható a Vogel–Fulcher–Tammann féle egyenlettel [6, 10]:

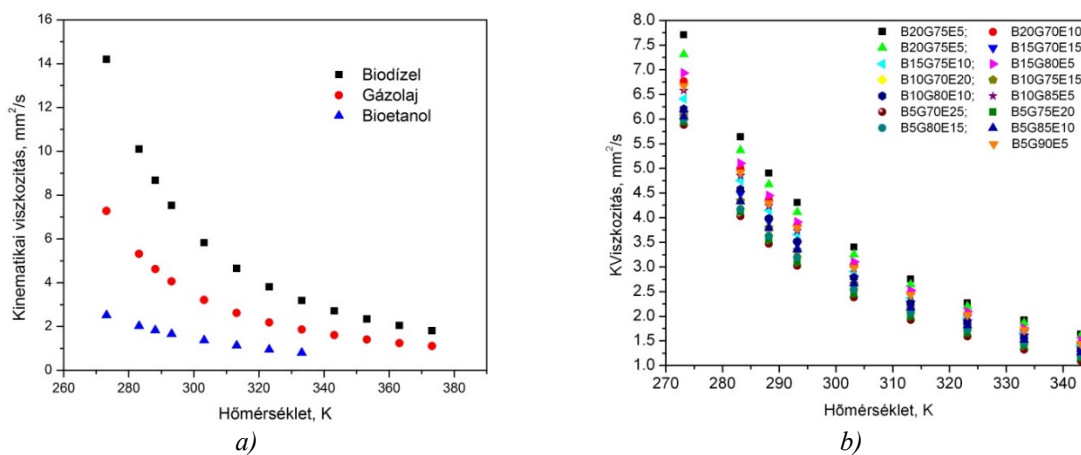
$$\ln \nu = A + \frac{B}{C + T} \quad (7)$$

ahol T a hőmérséklet K-ben, az A , B és C állandók, melyeket nemlineáris regresszióval határoztuk meg mindhárom összetevő esetében. Ezek értékeit valamint a modellek pontosságát a 4. táblázat tartalmazza.

Az összetevők viszkozitás-modelljeinek állandói és a modellek pontossága.

4. táblázat.

| Összetevők | A | B | C | ΔE , % | R |
|------------|---------|-----------|-----------|----------------|--------|
| Biodízel | -2,0148 | 593,7011 | -145,9664 | 0,1349 | 0,9999 |
| Gázolaj | -2,2055 | 518,9578 | -149,2932 | 0,2652 | 0,9999 |
| Bioetanol | -7,7005 | 3393,6975 | 120,4393 | 0,2093 | 0,9999 |



2. ábra

Az összetevők (a) és a keverékek (b) kinematikai viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében.

A keverékek viszkozitása a következő, koncentrációkkal súlyozott, additív modellel (Kay szabály) írható le [10]:

$$\ln \nu_k = \varphi_B \cdot \ln \nu_B + \varphi_G \cdot \ln \nu_G + \varphi_E \cdot \ln \nu_E \quad (8)$$

ahol ν_k , ν_B , ν_G , ν_E a keverék, illetve az összetevők ugyanazon a hőmérsékleten mért viszkozitása, φ_B , φ_G és φ_E az összetevők térfogataránya. A modell által szolgáltatott értékek a mért viszkozitás értékektől való általános eltérése $\overline{AE} = 10,6945\%$, a korrelációs együtthatója pedig $R = 0,9965$. A modell pontossága további súlyozási tényezők alkalmazásával növelhető [6]:

$$\ln \nu_k = k_B \cdot \varphi_B \cdot \ln \nu_B + k_G \cdot \varphi_G \cdot \ln \nu_G + k_E \cdot \varphi_E \cdot \ln \nu_E \quad (9)$$

ahol k_B , k_G és k_E a biodízel, a gázolaj és a bioetanol viszkozitására vonatkozó súlyozási tényezők, melyeknek értékeit úgy határoztuk meg, hogy a modell által szolgáltatott értékek és a mért adatok közötti általános eltérés legalacsonyabb legyen. Így, a $k_B = 1,0617$; $k_G = 0,9070$; $k_E = 0,9160$ értékekre a modell általános eltérése $\overline{AE} = 5,6923\%$, míg a korrelációs együtthatója $R = 0,9938$.

A logaritmus elhagyásával az előző modell egy súlyozott additív modellre egyszerűsödik [6]:

$$\nu_k = k_B \cdot \varphi_B \cdot \nu_B + k_G \cdot \varphi_G \cdot \nu_G + k_E \cdot \varphi_E \cdot \nu_E \quad (10)$$

A fenti modell általános eltérése a $k_B = 0,8961$; $k_G = 0,8788$; $k_E = 0,1051$ súlyozási tényezőkre a legkisebb, $\overline{AE} = 2,7228\%$, a korrelációs együttható értéke pedig $R = 0,9964$.

3.4. A felületi feszültség modellezése

A felületi feszültség mért értékei a 3. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy a keverékek felületi feszültsége a biodízel tartalom növekedésével egyenes arányban nő, míg a bioetanol tartalom növekedése ennek csökkenéséhez vezet. Lineáris regresszióval a kettős keverékek felületi feszültségének leírására a következő modellek alkalmazhatóak [5]:

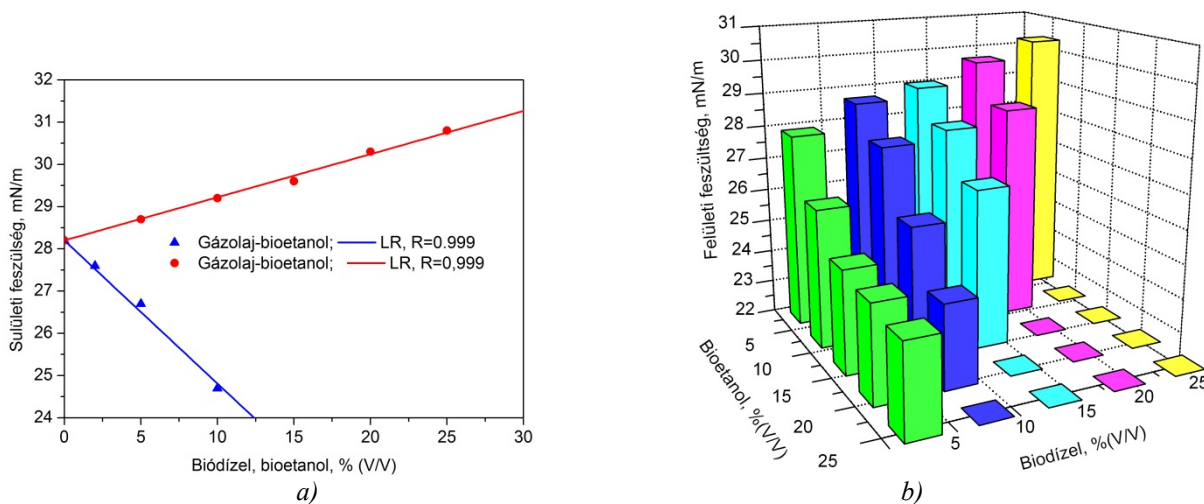
$$\sigma_{GE} = 28,2 - 33,88 \cdot \varphi_E, \text{ mN/m}; \quad (11)$$

$$\sigma_{BG} = 28,2 + 10,22 \cdot \varphi_B, \text{ mN/m}. \quad (12)$$

A hármas keverékek felületi feszültsége a következő, többszörös lineáris regresszióval megállapított egyenlettel modellezhető [5]:

$$\sigma_k^{20^\circ\text{C}} = 28,144 + 12,1942 \cdot \varphi_B - 20,2343 \cdot \varphi_E, \text{ mN/m}, \quad (13)$$

melynek általános eltérése $\overline{AE} = 1,281\%$, korrelációs együtthatója pedig $R = 0,932$. Következésképpen, 1% biodízel hozzáadása által okozott felületi feszültség-növekedés 0,6% etanol hozzáadásával kiegyenlíthető.



3. ábra

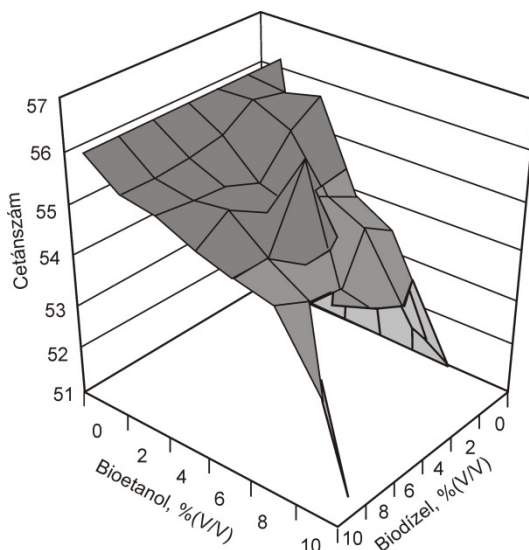
A kétkomponensű (a) és a hármas keverékek (b) felületi feszültsége 20 °C-on az összetétel függvényében

3.5. A cetánszám modellezése

A keverékek cetánszámának változását az összetételük függvényében a 4. ábra mutatja be. Megállapítható, hogy a bioetanol alacsony cetánszáma nagyban befolyásolja a keverékek cetánszámát. Többszörös lineáris regresszió a következő modellt eredményezte [12]:

$$CSz_k = CSz_G - 59 \cdot \varphi_E + 55 \cdot \varphi_B \quad (14)$$

ahol CSz_k és CSz_G a keverékek, illetve a gázolaj cetánszáma, míg a φ_E és φ_B a bioetanol, illetve a biodízel térfogataránya.

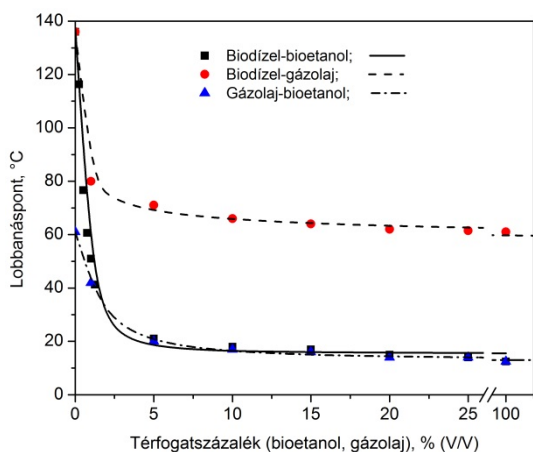


4. ábra

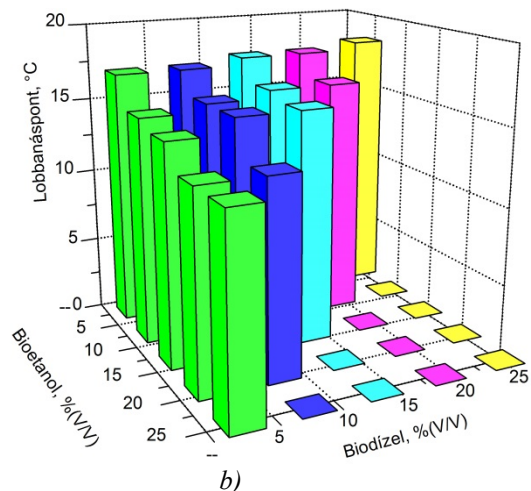
A keverékek cetánszámának alakulása ezek összetételének a függvényében.

3.6. A lobbanáspont modellezése

Kettős és hármas keverékek lobbanáspontjának változását az összetételük függvényében az 5. ábra szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a biodízel-gázolaj keverékek lobbanáspontja a gázolaj koncentráció növekedésével csökken, 25% gázolajtartalomnál gyakorlatilag egyenlő lesz a gázolaj lobbanáspontjával. Alacsonyabb lobbanáspontja miatt az etanol bekeverése sokkal gyorsabban csökkenti a biodízel-bioetanol és a gázolaj-bioetanol keverékek lobbanáspontját, 5-10%-os bioetanol tartalomtól a keverékek lobbanáspontja megközelíti a bioetanolét.



a)



b)

5. ábra

Kettős (a) és hármas (b) keverékek lobbanáspontjának változása az összetétel függvényében.

Megállapítható tehát, hogy a biodízel–gázolaj–bioetanol keverékek lobbanáspontját a bioetanol határozza meg. Az összes keverék lobbanáspontja 18 °C alatt van, ami azt jelenti, hogy a tanulmányozott keverékek környezeti hőmérsékleten veszélyesek. A kísérleti adatok alapján többszörös lineáris regresszióval a következő modellt határoztuk meg a keverékek lobbanáspontjának leírására [5]:

$$LP_k = 17,4 + 6 \cdot \varphi_B - 21 \cdot \varphi_E, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (15)$$

ahol LP_k a keverékek lobbanáspontja, míg a φ_E és φ_B a bioetanol, illetve a biodízel térfogataránya. A lobbanáspont-modell átlagos eltérése $\overline{AE} = 1,032\%$ korrelációs együtthatója pedig $R = 0,965$.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A sűrűség, a kinematikai viszkozitás és a felületi feszültség esetében a biodízel esetében mérhető nagyobb értékek jól kiegyenlíthetőek a bioetanolnál mért alacsonyabb értékekkel. A cetánszám esetében azonban, a bioetanol nagyon alacsony cetánszámát a biodízel a gázolajénál csupán pár számmal magasabb cetánszáma nem képes kompenzálni. Domináns hatás figyelhető meg a lobbanáspont alakulásában, aminél a keverékek lobbanáspontja gyakorlatilag csupán pár egységgel különbözik a bioetanolétól.

Ebben a tanulmányban olyan matematikai modelleket mutattuk be, melyek képesek a biodízel–gázolaj–bioetanol keverékek sűrűségének, viszkozitásának, felületi feszültségének, cetánszámának és lobbanáspontjának a becslésére az összetételük alapján. Az azonosított modellek lehetővé teszik az ilyen típusú hármas keverékek összetételének az optimalizálását, úgy, hogy ezek tulajdonságai minél jobban megközelítsék a gázolaj tulajdonságait maximális biohajtóanyag-tartalom mellett.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] BARABÁS, I. Predicting the temperature dependent density of biodiesel–diesel–bioethanol blends. *Fuel*, 2013, 109, 563-574.
- [2.] BARABÁS, I. Liquid densities and excess molar volumes of ethanol + biodiesel binary system between the temperatures 273.15 K and 333.15 K. *Journal of Molecular Liquids*, 2015, 204, 95-99.
- [3.] BARABÁS, I., TODORUȚ, A., BÁLDEAN, D. Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends. *Fuel*, 2010, 89, 3827-3832.
- [4.] BARABÁS, I., TODORUȚ, A., BÁLDEAN, D., SUCIU, F. Key fuel properties of biodiesel–diesel–bioethanol blends which influence the spray process. In: LEŠINSKÝ, J. (ed.) 12. EAEC European Automotive Congress, Bratislava, EAEC 2009. Bratislava, Slovak Republic: Slovak Society of Automotive Engineers Bratislava.
- [5.] BARABÁS, I., TODORUȚ, I.A., ZÖLDY, M. The Potential of Biodiesel–Petrodiesel–Bioethanol Blends as an Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. In: UMESH CHANDRA SHARMA, S. S., RAM PRASAD (ed.) *Energy Science and Technology*. Houston: Studium Press LL, C2015.
- [6.] BARABÁS, I., TODORUȚ, I.A. Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel–diesel–bioethanol blends. *Energy & Fuels*, 2011, 25, 5767-5774.
- [7.] SZABADOS, G., LOVAS, M. 2015. Gázolaj és biodízel tüzelőanyagok Diesel-motorban történő égési folyamatának szimulációja az AVL FIRE CFD szoftver segítségével. *Műszaki Szemle*, 2015, 66, 35-40.
- [8.] TÖRÖK, Á. Theoretical estimation of the environmental impact of biofuel mixtures. *Transport*, 2009, 24, 26-29.
- [9.] WILDE, G. Olajipari értelmező szótár. Budapest: Magyar Ásványolaj Szövetség, 2016. <http://www.petroleum.hu/jindex.html>
- [10.] YUAN, W., HANSEN, A., ZHANG, Q., TAN, Z. Temperature-dependent kinematic viscosity of selected biodiesel fuels and blends with diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2005, 82, 195-199.
- [11.] ZÖLDY, M. Megújuló hajtóanyag–gázolaj keverékek motorikus alkalmazásának műszaki, gazdasági és környezetvédelmi vizsgálata. PhD, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2007.
- [12.] ZÖLDY, M. Ethanol–biodiesel–diesel blends as a diesel extender option on compression ignition engines. *Transport*, 2011, 26, 303-309.
- [13.] ZÖLDY, M., TÖRÖK, Á. Road Transport Liquid Fuel Today and Tomorrow: Literature Overview. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2015, 43, 172-176.

Spiroid csigahajtómű zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálata

Noise and Vibration Analysis of Spiroid Gear Box

Diagnosticarea vibroacustică a unui reductor melcat spiroid

Dr. BODZÁS Sándor¹, DUDÁS Illés Szabolcs², Dr. HORVÁTH Róbert³,
MÁNDY Zoltán⁴, Prof. Dr. DUDÁS Illés⁵

¹Ph.D., főiskolai docens, ²közgazdász, ³C.Sc., főiskolai tanár,

⁴Ph.D. hallgató, tanársegéd, ⁵D.Sc., professzor emeritus

¹Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, 4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

²Invest – Trade Kft., Miskolc, Szentpéteri kapu 5-7.

^{4,5}Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, 3515, Miskolc, Egyetemváros

^{3,4}Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék,
4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B.

¹bodzassandor@eng.unideb.hu, ²dudasi@elan3500d.com,

³horvath.robert@nyf.hu, ⁴zoltan.mandy@uni-miskolc.hu, ⁵illes.dudas@uni-miskolc.hu

ABSTRACT

The ambition is global fact for noise and vibration poor construction. The importance of noise level analysis is justified by the ambition of health protection, the improvement and conservation of the productive capacity of worker. A new geometric conical worm gear drive has been infiltrated to a power transmission and during the drive pair running we have done noise and vibration analysis among working circumstances. The received results were appreciated according to the requirements of regulations [1, 7].

Keywords: noise, vibration, spiroid worm, power transmission

ÖSSZEFOGLALÓ

A zaj- és rezgésszegény konstrukció kialakítására való törekvés világjelenség. A zajszintvizsgálat fontosságát a dolgozó egészségének védelme és egyben teljesítőképességének megőrzésére, javítására való törekvés indokolja. Egy új geometriájú kúpos csigahajtópárt a legyártás után hajtóműházba beépítettünk és üzemi körülmények között a hajtópár bejáratása során zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálatokat végeztünk. A kapott eredményeinket a vonatkozó rendeletek [1, 7] követelményeinek megfelelően értékeltük ki.

Kulcsszavak: zaj, rezgés, spiroid csiga, hajtómű

1. BEVEZETÉS

A gépiparban egyre nagyobb teret hódít az a követelmény, hogy a gépek, berendezések egy megengedett zaj értéknél csendesebben működjenek. Ebből következik az is, hogy a zajtűrések esetében a megengedett felső határérték egyben a tűrés. Ezért zajtűrésnél csak a felső határérték, azaz a megengedhető legnagyobb zaj értékének meghatározásával kell foglalkozni.

A tengelymetszetben körív profilú hengeres [3] és a tengelymetszetben egyenes profilú kúpos csigahajtások [6] előnyös tulajdonságait ötvözve kifejlesztettünk egy új geometriájú kúpos csigahajtást a tengelymetszetben körív profillal (1. ábra) [4, 5].

A hajtópárt legyártottuk a DifiCAD Mérnökiroda Kft.-nél (Miskolc, Szentpéteri kapu 2-4.), majd hajtóműházba építettük és zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálatokat végeztünk.

A vizsgálatokhoz a Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszékén található 8 csatornás SOUNDBOOK zaj- és rezgésanalizátor mérőműszert alkalmaztuk (2. b ábra).



1. ábra

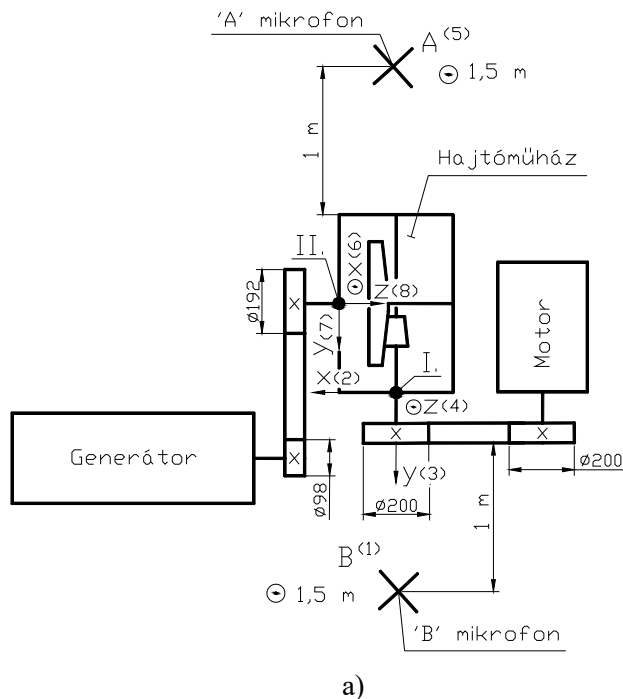
Új geometriájú kúpos csigahajtópár CAD modellje [2, 4]

2. A MÉRÉSEK VÉGREHAJTÁSA

A rezgésérzékelőket a csigatengely behajtó, és a csigakerék kihajtó csapágyazási helyeire szereltük fel, mivel a legnagyobb rezgés értékek itt ébrednek a 2.a ábra szerinti elrendezésben. A zaj méréséhez két mikrofont ('A' és 'B') használtunk.

A 2. ábrán I., II.-el vannak jelölve a rezgésérzékelők illetve A és B-vel a mikrofonok. Minden rezgésérzékelőhöz három, egymásra merőleges koordináta irány (x, y, z) tartozik. Minden koordinatáirány mellett a csatorna száma van zárójelben.

A hajtóművet $n=1440$ 1/min fordulatszámú, $P_m=5,5$ kW teljesítményű villamos motorral hajtottuk meg. A motort és a csigatengelyt egy $i=1$ áttételű ékszíjhajtás köti össze. A csiga és a csigakerék közötti áttétel $i_{cs}=41$. A hajtómű minősítése céljából 5 mérést végeztünk. A zajméréseket a zajszintmérő „A” és „C” súlyozó szűrőjével végeztük el az [1] rendelet alapján.



2. ábra

A mérés elvi elrendezése (a) és a SOUNDBOOK zaj- és rezgésanalizátor (b)

3. ZAJ MÉRÉS KIÉRTÉKELÉS

A frekvencia elemzéshez sávszűrőket alkalmazunk. A sávszűrők a hangenergiát meghatározott frekvenciahatárok között, azaz meghatározott frekvenciasávban átengedik, e sávon kívül azonban visszatartják [8].

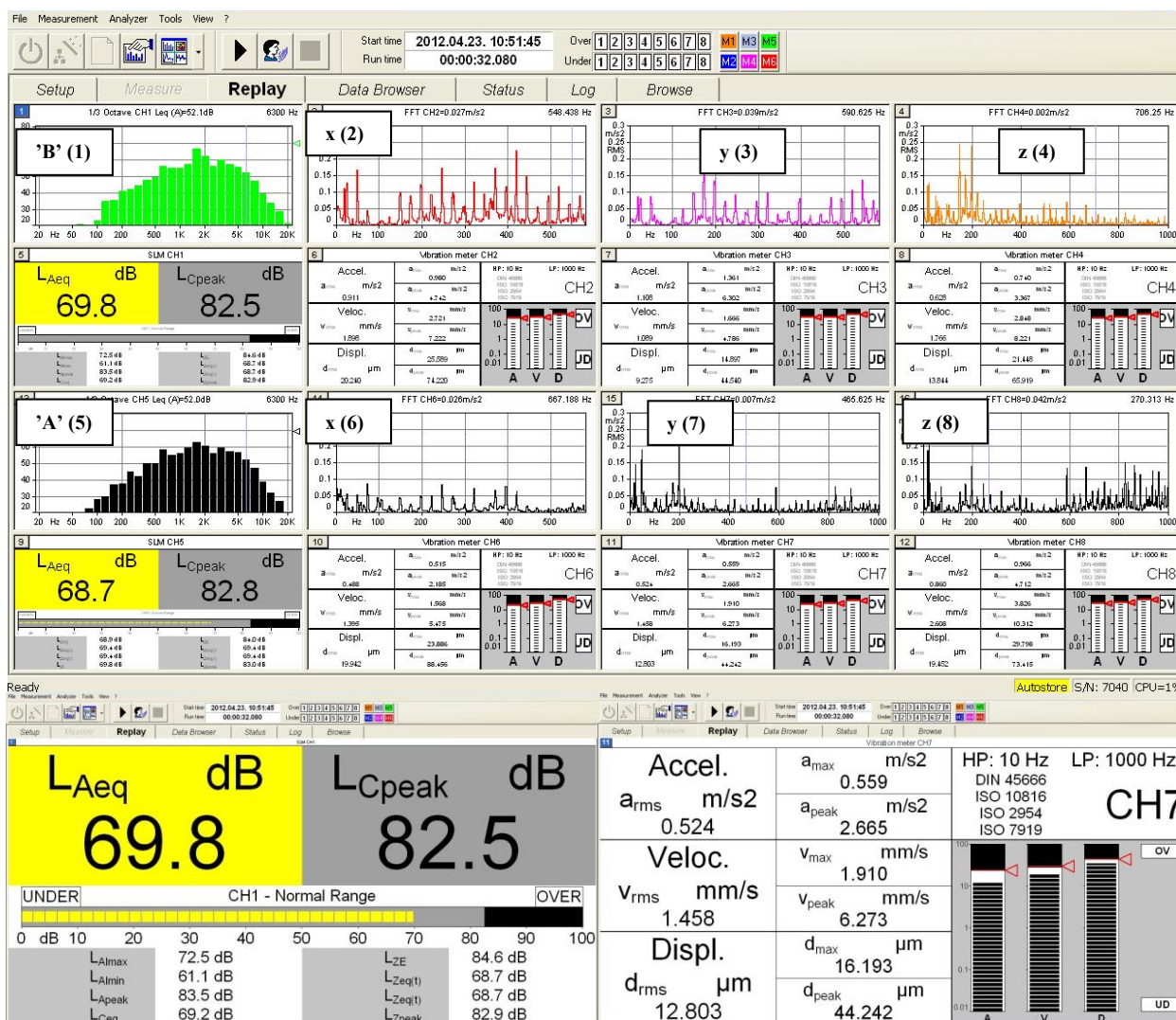
A zaj emberre gyakorolt hatásának jellemzésére szabványosan az A-hangnyomásszintet alkalmazzuk. Az A szűrő mellett szabványosítottak más súlyozószűrőket is (B, C, D szűrők).

A környezetünkben észlelt zajok többsége nem állandó, hanem az idő függvényében kisebb vagy nagyobb mértékben változik. Az időben változó zajok jellemzésére olyan állandó zajt kell keresni, amelynek hatása az emberre ugyanaz, mint a vizsgált változó zajé. Ez az egyenértékű A-hangnyomásszint (L_{Aeq} [dB(A)]) [1, 8]:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_{t_0}^{t_1} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad (1)$$

ahol:

- T_m mérési időtartam ($T_m = t_1 - t_0$) [s];
- p_A az A súlyozó szűrővel korrigált pillanatnyi hangnyomás [Pa];
- p_0 a vonatkoztatási hangnyomás ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$);



3. ábra

Zaj- és rezgésmérés eredmények az I. mérés esetén

A munkatéri zaj minősítéséhez az L_{Aeq} egyenértékű A hangnyomásszintet és az L_{Cpeak} (C súlyozó szűrővel mért csúcserték) hangnyomásszinteket kell mérni. Mivel 5 azonos időtartamú mérést végeztünk két mikrofonnal, ezért a mért L_{Aeq} értékeket átlagolni kell mindkét mikrofon esetén, az alábbi módon (1. táblázat):

$$L_{Aeq(átlag)} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeqi}} \right) \quad (2)$$

Az $L_{Aeq(átlag)}$ –ok ismeretében meghatározzuk mindkét mikrofon esetére a napi zajexpozíció szintjét [1], ami a zajexpozíció idővel súlyozott átlaga egy nyolcórás munkanapra vonatkoztatva:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \lg \left(\frac{\tau}{T} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq(átlag)}} \right) \quad (3)$$

ahol:

- T megítélési idő (28800 s);
- τ értékelési idő (8 h).

Az egyes tercsáv középfrekvencia értékekhez tartozó tercsáv egyenértékű A-hangnyomásszint értékeket külön-külön mindkét mikrofon esetén mind az 5 mérési sorozatra átlagoltuk (4. ábra).

1. táblázat: Zajmérés eredményeink ('B' és 'A' mikrofon)

| a) 'A' mikrofon előreajtás oldal | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| Mérés | L_{Aeq} [dB(A)] | L_{Cpeak} [dB(C)] | L_{Aeq} [dB(A)] átlag | $L_{EX,8h}$ [dB(A)] | L_{max} [dB(C)] |
| 1. | 68,7 | 82,8 | 69 | 69 | 94 |
| 2. | 69,1 | 82,8 | | | |
| 3. | 69,4 | 94,1 | | | |
| 4. | 69 | 82,2 | | | |
| 5. | 69,6 | 90,7 | | | |

| b) 'B' mikrofon előreajtás oldal | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| Mérés | L_{Aeq} [dB(A)] | L_{Cpeak} [dB(C)] | L_{Aeq} [dB(A)] átlag | $L_{EX,8h}$ [dB(A)] | L_{max} [dB(C)] |
| 1. | 69,8 | 82,5 | 70 | 70 | 93 |
| 2. | 69,7 | 82,8 | | | |
| 3. | 69,9 | 89,6 | | | |
| 4. | 69,4 | 82,3 | | | |
| 5. | 70,5 | 92,5 | | | |

| c) 'A' mikrofon hátrahajtás | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| Mérés | L_{Aeq} [dB(A)] | L_{Cpeak} [dB(C)] | L_{Aeq} [dB(A)] átlag | $L_{EX,8h}$ [dB(A)] | L_{max} [dB(C)] |
| 1. | 71,3 | 87,8 | 68 | 68 | 88 |
| 2. | 66,6 | 86,2 | | | |
| 3. | 67,3 | 85,6 | | | |
| 4. | 66,7 | 87,8 | | | |
| 5. | 65,9 | 83,5 | | | |

| d) 'B' mikrofon hátrahajtás | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Mérés | L _{Aeq} [dB(A)] | L _{Cpeak} [dB(C)] | L _{Aeq} [dB(A)] átlag | L _{EX,8h} [dB(A)] | L _{max} [dB(C)] |
| 1. | 71 | 87 | 68 | 68 | 89 |
| 2. | 67,1 | 84,4 | | | |
| 3. | 66,1 | 86,7 | | | |
| 4. | 66,7 | 88,8 | | | |
| 5. | 65,8 | 82,8 | | | |

Az L_{max} legnagyobb hangnyomásszint meghatározásához az 'A' és a 'B' mikrofonokkal mért legnagyobb L_{Cpeak} értéket kell kiválasztani (1. táblázat) [1]:

$$L_{\max} = \max_i \{L_{Cpeak_i}\} \quad (4)$$

Az [1] rendelet alkalmazásában a napi zajexpozíció szintjére és a legnagyobb hangnyomásszintre vonatkozó zajexpozíciós határértékek ismeretében megállapítható, hogy:

• **Előrehajtás oldal:**

'A' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 69dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 94dB(C) < 140dB(C)$$

'B' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 70dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 93dB(C) < 140dB(C)$$

• **Hátrahajtás oldal:**

'A' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 68dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 88dB(C) < 140dB(C)$$

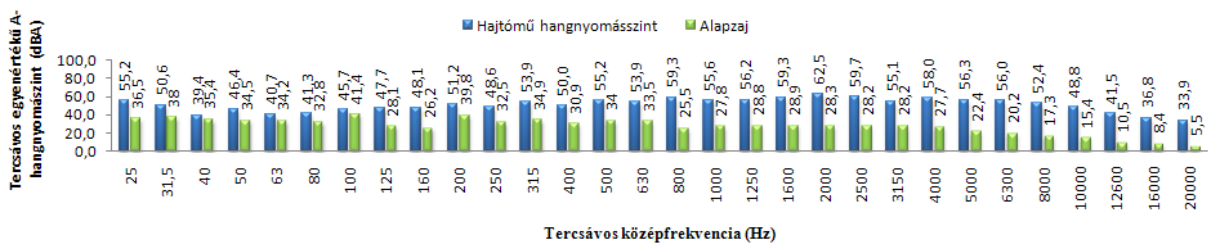
'B' mikrofon esetén:

$$L_{EX,8h} = 68dB(A) < 87dB(A)$$

$$L_{\max} = 89dB(C) < 140dB(C)$$

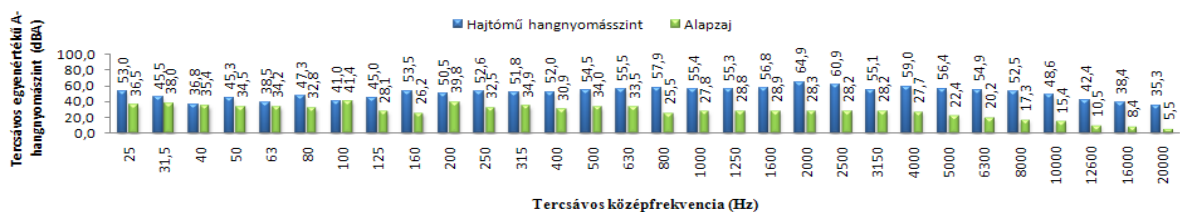
Az [1] rendelet szerint ha az L_{EX,8h} és/vagy az L_{max} legnagyobb hangnyomásszint érték legalább 3 dB-el kisebb a követelményeknél, akkor megfelel a zajterhelés.

'A' mikrofon előrehajtás oldal



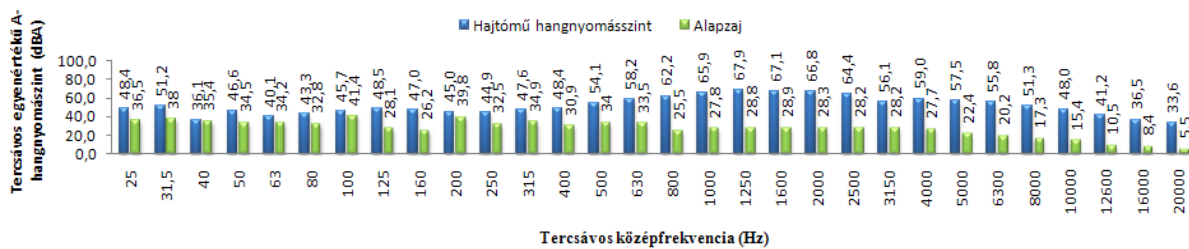
a)

'B' mikrofon előrehajtás oldal



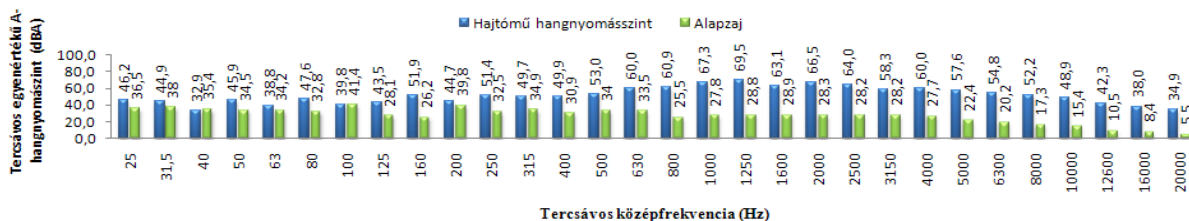
b)

'A' mikrofon hátrahajtás oldal



c)

'B' mikrofon hátrahajtás oldal

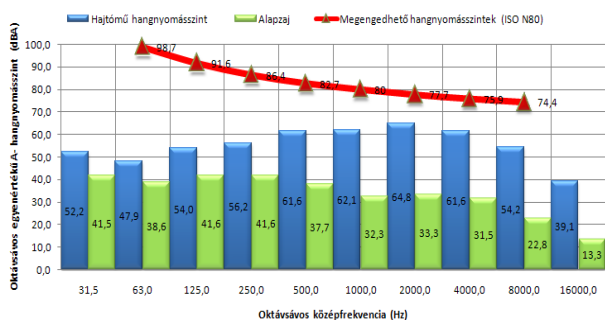


d)

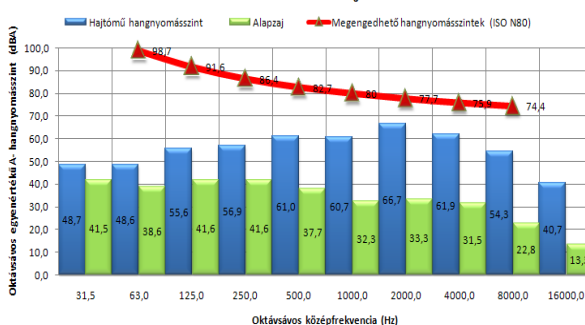
4. ábra

Az 'A' és 'B' mikrofonokon mért tercsávós egyenértékű A-hangnyomásszint átlagértékek (az 5 mérés átlagai) előre- és hátrahajtás oldal esetén

'A' mikrofon előrehajtás oldal

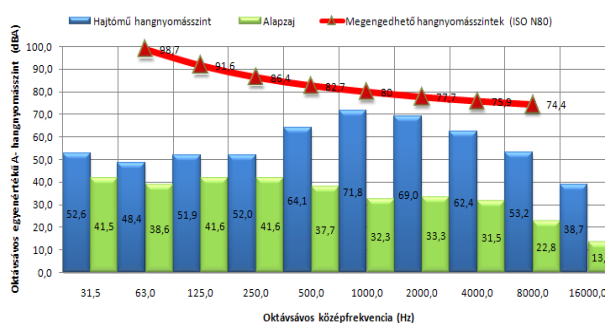


'B' mikrofon előrehajtás oldal

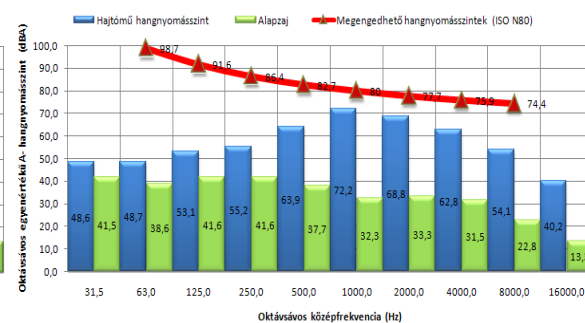


a)

'A' mikrofon hátrahajtás oldal



'B' mikrofon hátrahajtás oldal



b)

5. ábra

Az 'A' és 'B' mikrofonokon mért oktávásos egyenértékű A-hangnyomásszint átlagértékek (az 5 mérés átlagai) előre- és hátrahajtás oldal esetén

A kapott mérési L_{Aeq} adatokat (4. ábra) tercésávból oktávsvávba átszámítottuk (5. ábra) az 5-5 mérés eredményeit átlagoltuk mindkét mikrofon esetére.

Az 5. ábrán láthatóak az alapzaj és a hajtómű oktávsváv egyenértékű A - hangnyomásszint az oktávsváv középfrekvencia függvényében, továbbá látható, hogy ezen értékek az N80-as halláskárosodási határgörbe alatt helyezkednek el.

Megállapítható, hogy a kúpos csigahajtómű zaj szempontjából az [1] rendelet és a [9] irodalom alapján megfelel.

4. REZGÉSMÉRÉS KIÉRTÉKELÉS

Egy adott rezgés egy meghatározott időszakban számos, különböző nagyságú és előjelű függvényértékkel írható le. Ha a rezgésállapotot egyetlen számértékkel kívánjuk jellemezni, akkor az időfüggvény pillanatnyi értékei helyett a négyzetes középértéket, vagyis az ún. effektív értéket alkalmazzuk [8].

A rezgésebesség ($v_{r.m.s.}$) négyzetes középértéke az adott időtartam alatti (folytonos időfüggvény esetén) a rezgésebesség értékek négyzetes integrált átlagértékének négyzetgyöke:

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} [v(t)]^2 dt} \quad (6)$$

A 2. táblázatban összefoglaltuk mind az 5 mérésre az egyes koordináta irányokban mért rezgésebesség négyzetes középértékeket.

A minősítéshez ki kell választanunk a mérési eredmények közül mindkét mérési pont esetén a v_{rms} csúcserőértéket (2. táblázat):

$$v_{r.m.s.(max)} = \max_i \{v_{r.m.s.i}\} \quad (7)$$

A kúpos csigahajtómű az I. géosztályba tartozik a [7] szabvány alapján.

A legnagyobb mért rezgésebesség négyzetes középértékek (2. táblázat) alapján megállapítható, hogy a hajtómű mindkét mérési pontban rezgésdiagnosztikai szempontból a jó tartományba sorolható a [7] szabvány szerint.

2. táblázat: Rezgésmérés eredmények

| Mérés | Rezgésebesség négyzetes középérték ($v_{r.m.s.}$) [mm/s] | | | | | |
|----------------------|--|------|------|----------------|------|------|
| | 1. Mérési pont | | | 2. Mérési pont | | |
| | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1,89 | 1,08 | 1,76 | 1,26 | 1,45 | 2,6 |
| 2 | 2,36 | 1,51 | 2,41 | 1,42 | 1,76 | 3,31 |
| 3 | 2,46 | 1,38 | 2,45 | 1,41 | 1,74 | 3,28 |
| 4 | 2,44 | 1,36 | 2,57 | 1,49 | 1,46 | 3,21 |
| 5 | 2,61 | 1,63 | 2,57 | 1,42 | 1,98 | 3,06 |
| Csúcserőérték | 2,46 | | | 3,31 | | |

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy új geometriájú kúpos csigahajtást fejlesztettünk ki tengelymetszetben körív profillal. A kúpos csigahajtópárt a gyártásfejlesztés és tényleges legyártás után hajtóműházba építettük. Üzemi körülmények között járattuk a hajtást és zaj- és rezgés méréseket végeztünk. A kapott eredményeket a rendeletek [1, 7] és a szakirodalom [9] követelményeinek megfelelően kiértékeljük.

Eredményül azt kaptuk, hogy ezen kúpos csigahajtópár zaj- és rezgésdiagnosztikai szempontból megfelel az előírt követelményeknek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kúpos csigahajtópár gyártásának fejlesztése, gyártása, a hajtóműházba való beépítése és zaj- és rezgés vizsgálata Miskolcon a **DifiCAD Mérnökiroda Kft.**-nél történt. Ügyvezető igazgató: **Prof. Dr. Dudás Illés.**

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 66/2005. (XII.22.) EüM rendelet a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről, p. 9.
- [2] **BODZÁS S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [3] **DUDÁS, I.:** *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki és Könyvkiadó Kft., 2007., p. 334., ISBN 978-963-16-6047-0
- [4] **DUDÁS I., BODZÁS S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY Z.:** *Konkáv menetprofilú spiroid csiga hajtópár és eljárás annak készüreléssel történő előállítására*, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04., Szabadalmi lajstromszám: 229 818
- [5] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY, Z.:** *Development of spiroid worm gear drive having arched profile in axial section and a new technology of spiroid worm manufacturing with lathe center displacement*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, ISSN 0268-3768 (Online), 2015.03.14. (Online), Volume 77, Number 5-8. (2015), (IF 1.458), DOI 10.1007/s00170-015-6953-1
- [6] **HEGYHÁTI, J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Dissertation, TU Dresden, 1988.
- [7] *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*, ISO 10816-3, International Standard
- [8] **WALZ, G.:** *Zaj- és rezgésvédelem*, CompLex Kiadó Jogi és Üzleti Tartalomszolgáltató Kft., Budapest, 2008, p. 242., ISBN 978 963 224 954 4
- [9] **SOLTI, E.:** *A gazdaságos gyártás tűréstechnikai számításai*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.

A beton sokszínűsége

The diversity of concrete

Diversitatea betonului

LECZOVICS Péter¹, mérnök-tanár
Dr. KÁSZONYI Gábor PhD²
¹Leczovics.Peter@ybl.szie.hu
²Kaszonyi.Gabor@ybl.szie.hu
Szent István Egyetem,
Ybl Miklós Építéstudományi kar

ABSTRACT

In the 1980's the demand for better quality concrete increased which was generated by the growing constructional, technological, and aesthetic need. For this reason new methods were created, for example self-leveling, self-compacting, reinforced, high-strength, self-healing concretes.

Present article introduces the components of the concrete, the possible grouping of these - and through some interesting and beautiful examples the authors are aiming to show the 'diversity' of concrete.

Keywords: congealed concrete, light-transmitting concrete, reinforced concrete

ÖSSZEFOGLALÓ

Az 1980-s években fokozottan előtérbe került a jobb minőségű beton iránti kereslet, amelyet a fokozott építési, technológiai, valamint a betonnal kapcsolatos esztétikai igények növekedése generált. Emiatt került sor az újabb és újabb betontechnológiai módszerek kidolgozására (pl.: önterülő, öntömörödő beton, szálerősített beton, nagyszilárdságú beton, öngyógyuló beton, stb.)

Cikkünkben a beton anyaga, összetevői szerinti csoportosítás néhány érdekes és szép példáján keresztül igyekszünk bemutatni a beton „sokszínűségét”.

Kulcsszavak: dermesztett homokbeton, fényáteresztő beton, szálerősített beton

BEVEZETÉS

Mitől lehet különleges egy beton? Korábban a testsűrűség alapján különböztettük meg a betonokat (könnyű-, normál-, nehézbeton), manapság azonban ez a csoportosítás több szempont alapján is kiegészítésre szorul. Így például napjainkban a különböző betonokkal, betonszerkezetekkel szemben előtérbe kerültek a folyamatosan növekvő műszaki tartóssági követelmények, a teljesítőképesség fokozása, amelyek a kemikáliák fejlesztési eredményeit, a technológiák fejlődését is sikeresen alkalmazzák.

A különleges betonok csoportosítása több szempont szerint lehetséges, így például:

- anyaga, összetevői,
- a szerkezet tulajdonságai szerint,
- a bedolgozhatóság, bedolgozási technológia,
- a megjelenési forma szerint, stb.

DERMESZTETT HOMOKBETON

A dermesztett homokbeton, vagy ahogy a köztudatban ismerik „gipszbeton” kifejlesztése az 1930-években kezdődött, és Sámsondi Kiss Béla (1899-1972) munkásságán alapszik. Az eljárás lényege, hogy olyan zsaluzatot – jelen esetben gipszsaluzatot (1.sz. kép) - alkalmaz, amely a frissbetonból rövid idő alatt a felszívja a vizet, ezáltal a friss beton megdermed. A nem tektonikus szerkezetek, a szövetszerkezetes cellarendszeres építési technológiát Párkányi Mihály folytatta, majd a 1980-s években dr. Kászonyi Gábor végzett alapkutatókat [1] az anyagvizsgálati jellemzők összefoglalására, az új anyagjellemzők meghatározására.

A gipszsaluzatban a dermesztett homokbeton szilárdulási üteme gyors, végszilárdsága pedig 30-50 %-kal magasabb a hagyományos betonnál. A 600x600 mm-s gipsztáblák távtartását beépített műanyag betétek biztosítják (1. kép), melyek alkalmasak a vékony acélbetétek befűzésére, helyzetének rögzítésére.

A dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetkész monolit vasbeton héjszerkezet (2. kép), statikailag méretezett vasalással (BHB 55.50, Φ 3-8 mm), legalább C 12/15-X0-4-F4 minőségű dermesztett betonból készíthető. Az öntéshez alkalmazott „homokbeton” 500-800 kg/m³ cementadagolással (CEM I 32,5), 4 mm maximális szemnagyságú, folyamatos szemmegoszlású, I.o. homok adalékanyaggal készül.



1. kép
A gipszsaluzat



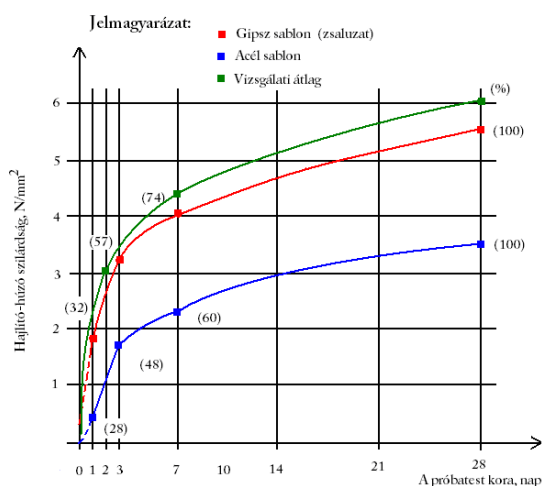
2. kép
*A dermesztett teherhordó
homokbeton héjszerkezet*

A maradó víz/cement tényező $\sim 0,25$, mely egyrészt az acélbetétek korrózióvédelmét biztosítja, másrészt a beton zsugorodási repedéseinek tágasságát és számát csökkenti. A nedves gipszsaluzat a szilárdulás kezdeti szakaszában az utókezelést biztosítja.

A gipszsaluzat dermesztő hatását, valamint hajlító-húzó szilárdság, illetve a nyomószilárdság változását a homokbeton korának függvényében az 1-2. ábrák szemléltetik. [2]

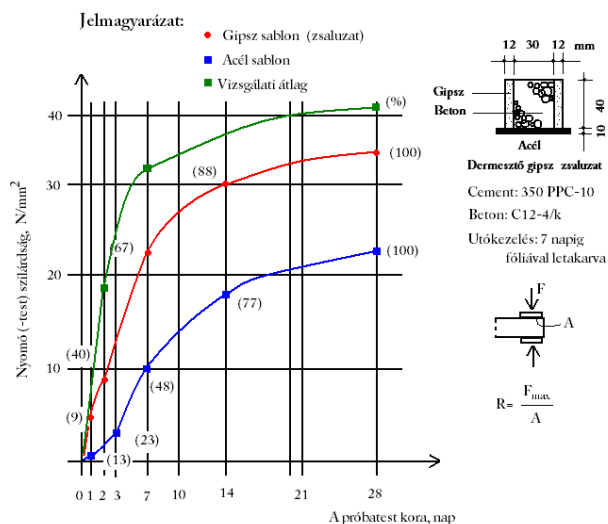
A szilikátbázisú könnyűszerkezetes építési technológia alapvetően két gyártási fázisra bontható:

- a nedvszívó gipsz-zsaluzat gyártása,
- a szerkezetszerelés vasalással, homokbeton kiöntéssel.



1. ábra

A hajlító-, húzószilárdság változása a homokbeton korának függvényében, acél, ill. gipszsaluzat esetében



2. ábra

A nyomószilárdság változása a homokbeton korának függvényében, acél, ill. gipszsaluzat esetében

Általában alkalmazott szerkezeti formák: nyitott, illetve zárt szelvényű oszlopok, gerendák, bordás vagy dobozszerű födém- és falelemek. Hő- és hangszigetelési igény esetén a szerkezetek kettős héjúak, úsztatott, függesztett, pontonként rögzített síklemezzel, az üregekben elhelyezett hő- és hangszigetelő anyaggal.

A szerkezetből változatos formájú belsőépítészeti egységek, pl. lépcsők (3. kép), bútorok, építészeti tagozatok alakíthatók ki, melyek teherbíró funkciókat is ellátnak.



3. kép

Készül a beltéri lépcső

FÉNYÁTERESZTŐ BETON

Számtalan törekvés, fejlesztés célja az összefoglaló néven fényáteresztő betonok létrehozása, megvalósítása. A témakörrel kapcsolatosan egy korábbi cikkben [3] felvázoltuk a fény és a beton „társításának” lehetőségeit. Kétségtelen tény, hogy a témakör kiemelkedő terméke az optikai szálakat tartalmazó LiTraCon (4. kép) – azaz fényáteresztő – elnevezésű termék, amely magyar találmány. A világ számos országában mutatták be, és alkalmazzák ma már egyre szélesebb körben. Szerencsére hazánkban is egyre népszerűbb a folyamatos fejlesztés alatt álló LiTraCon termékcsalád, így alkalmazásának szép példáival találkozhatunk egyre gyakrabban (5. kép).

Műszaki paraméterek:[4]

Formátum: előregyártott blokk

Alkotóanyagok: 96 % beton / 4 % optikai kábel

Testsűrűség: 2.100 – 2.400 kg/m³

Optikai szálméret: 0,002 – 2 mm

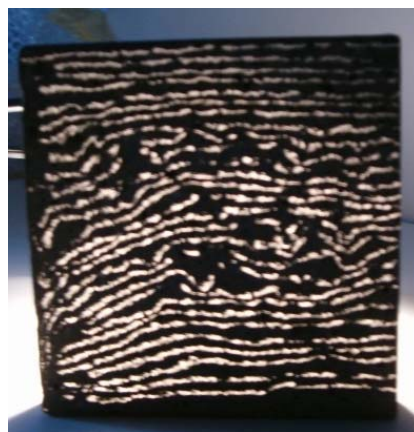
Optikai szálak képe: pontos, sávos, organikus

Blokk méretek: 300 x 600 mm

Vastagság: 25 – 500 mm

Szín: szürke, fekete, fehér

Felület: polírozott

Nyomó szilárdság: 50 N/mm²Hajlító szilárdság: 7 N/mm²

4. kép

A fényáteresztő beton

A fényáteresztő beton megjelenése – különösen természetes vagy mesterséges megvilágítással – az optikai szálak elhelyezkedésének variálásával változatosabbá tehető (6. kép).



5. kép

A Kitelepítettek emlékműve a Szarvas téren

6. kép

Az optikai szálak különböző elhelyezkedése

A folyamatos fejlesztés eredménye a LiTraCon pXL, melyben egy speciális, műanyag csapokból álló idom vezeti át a fényt (7. kép). Az elnevezésében a felületen szabályosan megjelenő fénypontokra, pixelekre utal a „p”, az XL pedig a nagy elemméretet hangsúlyozza. A műanyag színezhető, ezáltal különleges fényhatások érhetőek el.

A pixelbeton anyagköltsége lényegesen alacsonyabb, emellett előállítása is egyszerűbb és olcsóbb az optikai szálal LiTraCon-hoz képest, valamint teljes egészében iparosítható.

MŰSZAKI PARAMÉTEREK:[4]

Formátum: előregyártott, erősített panel

Alkotóelemek: 96% beton, 4% PMMA

Testsűrűség: 2100-2400 kg/m³

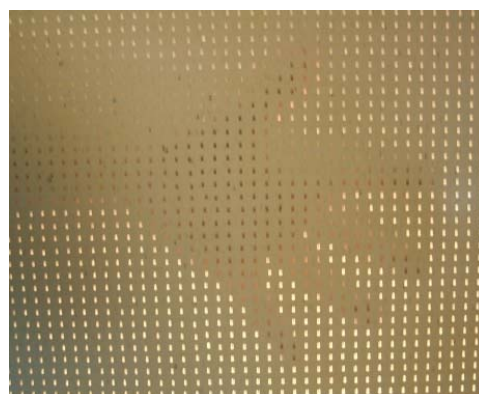
Felületképzés: polírozott, csiszolt, mosott

Vastagság: 40mm és 60mm

Panelméretek:

40 mm vastagságnál max. 1200 x 600mm

60 mm vastagságnál 3600 x 1200mm



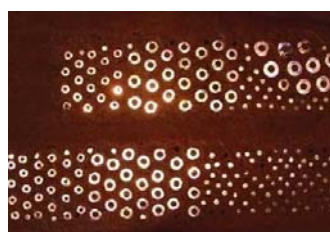
7. kép

A LiTracon pXL, azaz a pixelbeton

A LiTraCon termékcsalád mellett számos irányzat, törekvés is ismert a beton fényáteresztő képességének megvalósítására. Nemcsak betontechnológusok, de iparművészek, belsőépítészek is törekednek a különböző transzparens anyagok pl. üveg, műanyag társítására a betonnal. Egyrészt a hagyományos üvegfeldolgozást, -technikát fejlesztik tovább, másrészt a betontechnológia újdonságait alkalmazva hoznak létre korszerű és érdekes megoldásokat. Ennek szép példáit mutatja be a 8. kép, ahol az üveg mellett ismételtelen megjelennek a műanyagok különböző formái.



a.)



b.)



c.)



d.)

8. kép

Variációk az üveg és beton (a-c)[3], valamint műanyag és beton társítására (d)

ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON

Az 1980-as évektől a betonokkal szemben fokozottan előtérbe került a minőségi, technológiai követelmények szigorodása, az esztétikai igények növekedése. Az igények teljesítését döntően befolyásolta, hogy a

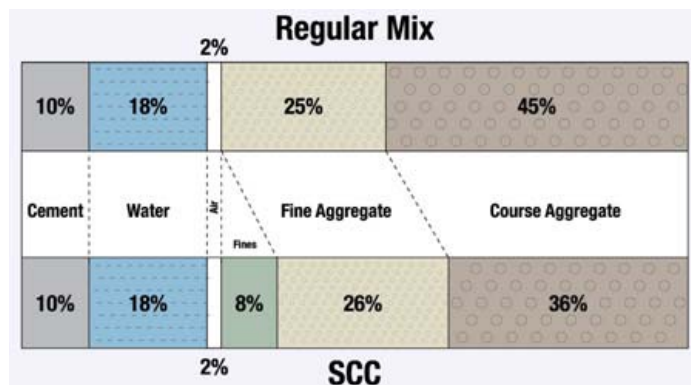
jól képzett, a kivitelezésben dolgozó munkaerő struktúrája is jelentősen változott, azaz a követelmények közé került az „emberi tényező” minimalizálása. Így született meg az öntömörödő beton technológia – elsőként Japánban –, és terjedt el világszerte.

Az öntömörödő beton (ÖTB) – angolul Self Compacting Concrete (SCC) – jellegzetességei az összetétel alapján:

- az önsúlyta hatására üregmentesen ki tudja tölteni a tetszés szerinti alakú zsaluzatot és vasalatot,
- szétosztályozódás nélkül, önállóan légtelenítődik,
- szinte tökéletesen kiegyenlítődik.

Az ÖTB (SCC) technológia előnyei:

- kevesebb élőmunka igény (kb.20%)
- energia igény csökkentése,
- gyors beépíthetőség.



3. ábra

A beton és az öntömörödő beton elvi összetétele[5]

Az öntömörödő beton receptúrális alapja, hogy kialakított szemcseváz szerkezetben ($d_{max}=16mm$) a finomrész tartalom mennyiségét megnövelik, és egymásra épülő kísérletekkel állapítható meg az ideális összetételű keverék. A hagyományos és öntömörödő beton összetételének összehasonlítását a 3.sz. ábra mutatja be. A kifejlesztett öntömörödő beton technológiája új konzisztencia vizsgálati eljárások kidolgozását vonta maga után pl.: blokkoló gyűrűs, L-dobozos, blokkoló rácsos vizsgálat U-alakú edényben, Kajima dobozos vizsgálat, stb.

Ezen vizsgálati módszerek (a folyósság (viszkozitás), a zárványképződési hajlam, az önkiegyenlítő képesség, az önlégtelenítő képesség, a szerkezeti stabilitás) elsősorban a beépíthetőséget helyezik előtérbe.

A kidolgozott új konzisztencia vizsgálati eljárások közül a legelterjedtebb a terület, valamint blokkoló gyűrűs vizsgálat. A terület mérésével az ÖTB folyósságát, viszkozitását állapíthatjuk meg, a blokkoló gyűrűs vizsgálatnál (9.sz. kép) az előbbieket mellett a zárványképződési hajlamot is jól ellenőrizhetjük. E két eljárás akár a beépítés helyszínén is alkalmazható konzisztencia vizsgálat.



9. kép

A blokkoló gyűrűs vizsgálat

Az öntömörödő betonokról elmondható, hogy a hagyományos betonokhoz képest mikrostruktúrájuk jobb, szilárdulásuk a korai (1-2 hetes) szakaszban gyorsabb. Azonos, vagy jobb húzószilárdsággal rendelkeznek mint a vibrált betonok, alkalmasak nagy teljesítőképességű betonok előállítására. Jól tervezhető a beton összetétele, azonban elkészítése nagyobb technológiai fegyelmet igényel (vízadagolás). Továbbá jó minőségű

felületet ad, ezért látszó-, illetve látványbeton készítésére is kiválóan megfelel. Ez utóbbi jellemzésére mutatunk be néhány szép példát a már megvalósult beépítésekről (10-11. sz. képek).



10.sz. kép *A stockholmi reptér 83 m magas tornya*[6]



11.sz. kép *Széchy Tamás uszoda (Budapest, Margitsziget)* [7]

SZÁLERŐSÍTETT BETON

Az emberiség a természetes anyagú szálak előnyös hatását, alkalmazását a különböző építőanyag termékekben évezredek óta ismeri. A technikai fejlődés eredményeképpen megjelentek az iparilag feldolgozott anyagok – pl.: acélszálak –, majd a különböző típusú mesterséges (műanyag) szálak.

A szálerősítés alkalmazását beton esetében az 1874-es évre vezetik vissza, amikor A. Berand fémhulladékot kevert a betonba. Az ugrásszerű fejlődés a XX. század második felére tehető, a műanyag szálak megjelenésével [8], és további fejlődés várható a nanotechnológia eredményeinek felhasználásával.

A vasbetonban a beton a nyomást, a hajlító- húzó igénybevételeket a vasalás veszi fel. Ez utóbbi „kiváltása” lehetséges a finomabb, egyenletesen eloszlalt szálak alkalmazásával.

Az alkalmazott műanyag szálak (hossz: 5-40 mm) mennyisége betonokban általában 1 kg/1 m³ beton (12.sz. kép), homokbetonokhoz 5-10 kg/1 m³ beton. Az acélszálak mennyisége 25 kg/1 m³ beton. A különböző szálak alkalmazásának előnyei:

- nő a hajlító-húzószilárdság,
- javul az alaktartósság,
- csökken a repedésérzékenység,
- nő az ütésállóság és a kopással szembeni ellenállás



12. kép
Szálerősített beton törésképe

A szálerősített frissbetonok konzisztencia vizsgálata eltér a hagyományosnak tekinthető konzisztencia vizsgálatoktól, de megjegyzendő, hogy a vizsgálati eljárások még kevésbé kidolgozottak.

A szálanyagok bedolgozására többféle megoldás is született. A frissbetonba történő adagolása a keveréknek az általánosan elterjedt, de ismert olyan megoldás is (SIFCON betonok[9]), amikor a szálakat előre elhelyezik az öntő formában (zsálat), és utána kerül sor a betonnal történő kiöntésre. (13.sz. kép)



13. kép
SIFCON beton készítése[9]

A szálerősítést hazánkban elsősorban ipari padlók (acélszál) készítésénél alkalmazzák. A műanyag szálerősítést egyedi tervezésű, speciális igényeket is kielégítő, vékonyfalú elemek gyártásánál alkalmazzák.

Külföldön igen elterjedten alkalmazzák a szálerősítést karcsú szerkezetek kialakításánál (14.sz. kép), időjárásnak kitett szerkezetekben (útbetonok, térbetonok) a szálerősített homokbetonokat pedig vékony (2cm vastagságú elemek) – homlokzatburkolatok, erkélymellvédek – készítéséhez.



14. kép
Az Ördög hídja (Pont du Diable), 1,8 méter magas szerkezet, amely 70 métert (Rudy Ricciotti) hidal át alátámasztás nélkül [10]

FELHASZNÁLT IRODALOM:

- [1] dr. Kászonyi Gábor: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek tervezése és létesítése Magyarországon Építésszervezés és építéstechnológia konferencia, „Innovatív módszerek és technológiák” ÉTE konferencia kiadvány, Budapest, 2009. p. 51-56
- [2] Polyák Ágnes: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek szilárdsági vizsgálatai roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokkal II. TDK-dolgozat, 2009,OTDK, (t.v.: Leczovics Péter)
- [3] Leczovics P.- Réfi Á.: Fény a betonban, Technika Műszaki Szemle 2013/1 p.24-.25.
- [4] Réfi Ágnes: A „sokszínű” beton, TDK-dolgozat, 2013, OTDK, (t.v.: Leczovics P.)
- [5] http://www.icfmag.com/articles/features/Self_Consolidating_Concrete.html,2013. okt.
- [6] http://www.cement.org/tech/cct_SCC.asp,2013.okt.
- [7] <http://epiteszforum.hu/szechy-tamas-uszoda>, 2013.okt.
- [8] <http://www.betonopus.hu/notesz/szalerositesu/szalerositesu.pdf> , 2013. okt. 20.
- [9] http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,wspolczesne_fibrokompozyty_cementowe,2701, 2013. okt. 16.
- [10] <http://hg.hu/cikk/epiteszet/11792-ordoghidtol-a-hajlekony-betonig> 2011.03.27

Kibocsátásbecslési eljárások és modellek összehasonlítása

Comparison of Emission Models and Processes

Compararea procedurilor și modelelor pentru evaluarea emisiilor

SZENDRŐ Gábor¹, TÖRÖK Ádám²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Környezetgazdaságtan Tanszék, Budapest, Magyar tudósok körútja 2, H-1117, Telefon: +36 1 463 4030, e-mail: szendro@eik.bme.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék, Sztoczek u. 2., H-1111 Budapest, e-mail: atorok@kgazd.bme.hu

ABSTRACT

In this paper authors aim to compare the different transport related emission models and processes. Different models and different processes were elaborated in the last couple of decades to examine the effect of technical development on climatic issues. Some just covering technical parameters others are dealing with socio-economic parameters as well.

ÖSSZEFOGLALÓ

Cikkünkben a közlekedési kibocsátási eljárások becslésére szolgáló modelleket és eljárásokat kívánjuk bemutatni. Az elmúlt évtizedekben a modellek hatalmas fejlődésen mentek keresztül, a technológiai paraméterek mellett ma már a társadalmi-gazdasági paraméterek változását is figyelembe veszik.

Kulcsszavak: kibocsátásbecslés, emissziós modell, Mobile 6.2, MOVES, Global Calculator, TREMOVE, ForFITS, IEA

1. BEVEZETÉS

A BECSLÉSI ELJÁRÁSOKRA VONATKOZÓ KRITÉRIUMOK MEGFOGALMAZÁSA

Az eddigi tapasztalatok és megvizsgált modellek alapján elmondható, hogy cél lenne olyan CO₂ emissziós modell fejlesztése, amely a tényadatokból kiindulva képes előrebecsülni a teljes közlekedési szektor (légi-, vízi-, vasúti- és közúti közlekedés) kibocsátását és a programozható dekarbonizációs pályák hatását. A bemenő adatstruktúrája legyen ellenőrizhető, a modell legyen transzparens (átlátható számítási folyamatok) és robusztus (az eddig kidolgozott előre- vagy visszabecslési módszerek vagy dekarbonizációs pályavizsgálatok érzékenysége nem ismert, általánosan feltételezett, hogy a paraméterezett modellek pontosan leírják a megfigyeléseket). Így természetes kérdésként merül fel azonban a modellek alkalmazhatósága, hiszen ezek a modellek pontosan szinte sohasem igazak. Általánosabb értelemben egy modellezési eljárás robusztus, ha nem túlzottan érzékeny azokra a feltételekre, bemenő paraméterekre amelyektől függ [2]. A bemenő adatok és modellezési folyamatok legyenek jól dokumentáltak. Lehesse változtatni a kimenő adatok dimenzióját [tCO_{2e}] vagy [PJ]. Ezek alapján elvárás, hogy a modell megbízhatóan tudja számszerűsíteni a jövőbeli kibocsátásokat és alkalmas legyen trendek előrejelzésére, beleértve a bizonytalanságok kezelését, bemutatását. A modell egy a tudományos kutatásban használt fogalom, amely a nagyon pontosan (tehát a matematika nyelvén) megfogalmazott hipotéziseket és szabályokat jelenti. A modellezés során a valóság egy meghatározott szeletéből kiemeljük a számunkra adott szituációban fontos, ismert vagy feltételezett elemeket és azokat hipotézisünknek megfelelően kapcsolatba hozzuk egymással. Az így elkészített modellt tesztelnünk kell. Ha a modell úgy viselkedik, ahogyan a modellezni kívánt rendszer vagy objektum, (tehát predikciói egybevágóak a közvetlen tapasztalatokkal), akkor azt mondhatjuk, hogy a modell jó (céljának megfelelő keretek között használható), ha eltér attól, akkor a modellt tovább kell fejleszteni vagy el kell vetni [7]. A mindennapi életben a valóságos világ különböző problémáival találkozhatunk, melyek lehetnek például fizikai, gazdasági vagy mérnöki jellegűek, és amelyek megoldásában a matematika felhasználása segítségünkre lehet. De ahhoz, hogy a matematikát alkalmazzuk, gyakran egy absztrakt matematikai problémát kell megfogalmaznunk, melyet az eredeti probléma matematikai modelljének nevezünk, és amely közelítőleg leírja a való életből vett problémát. Egy ilyen modell felállításához gyakran egyszerűsítésekre és feltevésekre van szükség. A matematikai probléma

ezek után vizsgálható, esetleg megoldható. Az eredmények interpretálása a valóságos világ fogalmaival megfelelő választ adhat az eredeti problémára. Az átláthatóság, transzparencia segít a modell továbbfejlesztésében. Segítségével megérthető és tovább fejleszthető a moduláris felépítésű program. A transzparencia egyszerűen azt jelenti, hogy az emberi gondolkodás számára kézenfekvőnek tűnő megfelelés van egy megismerő rendszer modelljében felvett elemek és/vagy viszonyok és az általa lefedett rendszer elemei és/vagy viszonyai között, és a megfelelés egyértelmű és bijektív. Modellalkotásánál alapvető a transzparencia iránti igény, igény arra, hogy maga a gondolatok rendje megfeleljen a dolgok rendjének (Pléh, 2011). A modellezési eljárás érzékenységet a bemenő paraméterek és a kimenet vagy kimenetek közötti érzékenység-vizsgálattal lehet meghatározni. A vizsgálat célja, hogy meghatározzuk a bemenő paraméterek egységnyi változása, milyen és mekkora hatást gyakorol a kimeneti változókra. Érzékenység vizsgálatnál feltételezzük, hogy a bemeneti változók függetlenek – tehát az egyik bemeneti változó változása nincs hatással a másik változóra. A ceteris paribus elv igen fontos a robosztusság vizsgálatánál, ugyanis lényege, hogy a komplex, egymással kölcsönhatásban álló viszonyok elemzése során csak egyetlen bementi tényező megváltoztatásával elemezzük a jelenségeket. Tehát a vizsgált tényezőkön kívül valamennyi hatótényezőt változatlanul hagyunk. A bizonytalanságok kezelésére a matematika régóta kínál eszközöket, azonban ezen eszközök alkalmazása eddig nem integrálódott a károsanyag-makromodellezésbe. A bizonytalanságot legkevésbé a diszkrét rendszerek tudják kezelni (ma ezekre épülnek a modellek), ma idősoros diszkrét rendszereket használunk. Kisebb adatgyűjtési és modellezési befektetéssel javítható lenne a modellezés és intervallum alapú rendszer építhető ki. Nagy adatgyűjtési és modellezési befektetéssel nagy pontosságú sztochasztikus rendszer (azokra a folyamatokra használható, amelyek mint a természetben előforduló valódi jelenségek többsége eleve véletlen jellegűek, vagy kevéssé ismert, bonyolult rendszerekre, melyek esetleges oksági összefüggéseit egyszerűbb statisztikus kapcsolatként vizsgálni valószínűségi változók segítségével) alakítható ki, mely az idősoros adatok segítségével dinamikus rendszerre alakítható (egy rendszer valamely állapotainak rögzített szabályok szerinti időbeli változásával foglalkozik. Egy dinamikus rendszer állapotát véges számú állapotjellemző írja le. A rendszer állapotában bekövetkező kis változások a számok kis megváltozásával járnak. A dinamikai rendszer időfejlődését egy rögzített szabály vezérli, amely a jelenlegi állapot ismeretében megadja a jövőbeli állapotokat. Az időfejlődés determinisztikus: a jelenlegi állapotból csak egyetlen jövőbeli állapot következhet be adott időtartam alatt.)

2. EMISSZIÓS MODELLEK A NAGYVILÁGBAN

Az ÜHG-kibocsátások számításának számos módja van a felhasznált modellektől, feltételezésektől, változótól és a bemenő adatok rendelkezésre állásától függően. A módszerek alapját a tüzelőanyag fogyasztás, illetve közlekedési teljesítmény meghatározása jelenti. Ezen módszerek alkalmazása esetén figyelembe veendő, hogy a különböző tüzelőanyagok széntartalma eltérő, valamint, hogy a dízelüzemű gépjárművek fogyasztása általában alacsonyabb, azonban a magasabb relatív széntartalom ezt az előnyt részben kiegyenlíti. Ennek a módszernek a legnagyobb problémája az adathiány (a tüzelőanyagok külföldi beszerezhetősége („benzinturizmus”) miatt pedig a rendelkezésre álló adatok megbízhatósága is kérdéses). A számítás másik fontos bemenő adata a közlekedési teljesítmény meghatározása (ez szintén nehézségekbe ütközhet). Amennyiben a gépjárműállományra és a tüzelőanyag fogyasztásra nem állnak rendelkezésre megbízható adatok, egyes modellek kiindulhatnak a járműkilómeter-adatokból is, emissziós faktorokat alkalmazva. Ilyen modell például az Egyesült Államokban alkalmazott MOVES (lásd alább). Az összes ÜHG kibocsátás számszerűsítése a CO₂ egyenérték alkalmazásával történik, a hatások becsléséhez pedig a globális felmelegedési potenciállal történő szorzás szükséges (leggyakrabban a 100 évre megadott érték alkalmazandó). A legnagyobb mennyiségben kibocsátott üvegházgáz a széndioxid, azonban a globális felmelegedéshez való hozzájárulás az egyes üvegházgázok között drasztikusan eltérhet (pl. N₂O GWP: 300 100 évre). A következőkben a rendelkezésre álló szakirodalom alapján a különböző modellezési eljárásokat tekintjük át.

2.1. Egyesült Államok

Az Egyesült Államok és az Európai Unió, ezen belül Magyarország közlekedésfejlődése, igényei, szabályozása, stb. jelentős eltéréseket mutat, ezért a modellek extenzív (és munkaigényes) átalakítása nélkül átültetésük nehézségekbe ütközne. Mindemellett azonban érdemes áttekinteni az alkalmazott megoldásokat az EU-s és hazai modellek fejlesztése érdekében.

2.2. MOBILE6.2

A MOBILE modell első változatát (MOBILE1) az EPA a hetvenes években fejlesztette ki a jövőbeli várható kibocsátások becslésére. A program mára mind architektúráját, mind felhasználói felületét tekintve elavult (DOS-alapú), azonban a jelenleg alkalmazott modellek fontos módszertani alapjául szolgált. A jelenlegi, 2002-

ben kiadott változat az általános kibocsátásokon (CO₂, CO, NO_x, HC, SO₂, NH₃, PM-) túl, a futóművek és a fékrendszer kopásának PM-kibocsátásait is számszerűsíti a benzin és dízel járművekre [18]. A modell 28 különféle gépjármű kategóriára határoz meg emissziós tényezőket két tengerszint feletti magasságon, valamint figyelembe veszi a külső hőmérsékletet (téli, nyári mód), az utazási sebességet, és egyéb külső tényezőket is, időtávja 1951-től 2050-ig terjed [15]. Hátránya, hogy fontos bemenő adatát képeznék a forgalmi engedélyekben rögzített adatok, valamint a megtett kilométerek száma, azonban erőforráshiány miatt nem minden állam rögzíti ezeket (így országos átlagokat kénytelenek alkalmazni, ami rontja a modell előrejelzéseinek pontosságát). A CO₂ kibocsátások becsülésének módja ebben a modellben rendkívül egyszerű (minden évre meghatározott becsült szorzókon alapszik), legnagyobb hátránya azonban mégsem ez, hanem hogy egyáltalán nem veszi figyelembe a sebességet, a tüzelőanyagok jellemzőit, az alternatív hajtásokat és tüzelőanyagokat, valamint a CAFE (Corporate Average Fuel Economy) szabványok változásait. Ennek megfelelően előrejelzései csak olyan időtávra alkalmazhatóak, ahol ezen tényezők hatása elenyésző. A fenti hiányosságok következtében a modell például túlbecsüli az új gépjárművek VOC és HC-emisszióit. A MOBILE emissziós program csomag képes HC, NO_x, CO, CO₂, PM kibocsátásirata-előrebecsléseket [g/km] készíteni 2050-ig, az előrebecslések a betáplált historikus adatok alapján készülnek. A programot 2004 óta nem fejlesztik, csak technológiai paramétereket használ fel az előrebecslések elkészítéséhez. Társadalmi, gazdasági paramétereket nem vesznek figyelembe, illetve nincs lehetőség forgatókönyv-elemzésre sem.

2.2.1. MOVES

A MOVES modellt szintén az EPA fejlesztette ki a MOBILE kiváltására, annak legtöbb hibáját kiküszöbölve – a legfrissebb kiadott változat 2014 októberében jelent meg. A program MySQL adatbázisokon alapul, pontos számítási módszertana az Excelre épülő modellekhez képest nehezebben hozzáférhető. Ez a modell már figyelembe veszi a különböző közlekedési beruházásokat, valamint számos, a közlekedésben tapasztalható változást is, min pl. a járműállomány összetételének változása (pl. tüzelőanyag szerint – [9]), megtett járműkilométerek számának megoszlása úttípus és napszak szerint, és a sebesség (torlódások, üresjáratok figyelembevétele). A MOVES modellje a következő meghajtásokat képes modellezni: CNG; Dízel; Elektromos; E-85; Benzin; LPG.

Összesen 13 járműkategória szerepel a modellben (személygépjármű, távolsági busz [17]), lakókocsi, hulladék szállító, stb.). A modell felhasznál környezeti (hőmérséklet, páratartalom, földrajzi jellemzők, időtáv), gépjárműállományra vonatkozó (fogyasztás, tüzelőanyag-mix, elektromos járművek), valamint a megtett útra vonatkozó (járműkilométer, úttípus, sebességeloszlás, hidegindítás, üresjáratok) paramétereket [16]. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy átlagos értékekkel dolgozik (tehát például nem modellezi külön a hibrid járműveket – csak tartalmazza az átlagban), és egyes megoldásokat nem vesz figyelembe, ugyanakkor igen nagyszámú légszennyezőt modellez (csak PAH-vegyületekből 30 fajtát). A MOVES emissziós tényezői üzemiállapotokra (gyorsítás, üresjárat) vannak meghatározva, így a MOBILE-lal ellentétben az átlagsebesség változásain túl a vezetés egyéb jellemzőire is érzékeny). Fontos megjegyezni, hogy a számítási algoritmusok, valamint a bemenő adatok miatt a MOVES és a MOBILE csak az Egyesült Államokra használható. A MOVES emissziós programcsomag képes HC, NO_x, CO, CO₂, PM kibocsátásirata-előrebecsléseket [g/km] készíteni 2030-ig, az előrebecslések a betáplált historikus adatok alapján készülnek. Külön figyelmet szentel a hidegindítás és üzemszerű használat eltérő emissziós paramétereinek.

A program legfrissebb verziója 2014-es. A program csak technológiai paramétereket használ fel az előrebecslések elkészítéséhez. Társadalmi, gazdasági paramétereket nem vesznek figyelembe, illetve nincs lehetőség forgatókönyv-elemzésre sem.

2.3. Egyesült Királyság

Az Egyesült Királyságban a Department of Energy and Climate Change (DECC) 2010-ben kiadott modellje használatos. Maga a kalkulátor egy felhasználóbarát internetes felületen keresztül is elérhető (1. ábra), de létezik MS Excelben megszerkesztett változata is. A modell készítői kiadtak egy globális verziót is, a fejlesztés pedig folyamatos.



1. ábra

Global Carbon Calculator

Forrás: <http://tool.globalcalculator.org>

A DECC számos országgal együttműködik új, lokalizált modellek kidolgozásán (többek között Magyarországgal). Eddig hét ország adta ki hivatalosan saját, a brit módszertanra alapuló kalkulátorát: Belgium, 2011 (Wallonia 2050 Pathways Analysis); Kína, 2012 (China 2050 Calculator); Dél-Korea, 2013; Taiwan, 2013; India, 2014, (India Energy Security Scenarios 2047); Dél-Afrika, 2014; Japán, 2014 (Japan 250 Low Carbon Navigator).

A fentiekén kívül további 11 ország dolgozik hasonló, a brit módszertanra alapuló kalkulátor kidolgozásán (Algéria, Banglades, Brazília, Indonézia, Kolumbia, Magyarország, Mexikó, Nigéria, Szerbia, Thaiföld, Vietnam). A kalkulátor a közlekedésen kívül három energiafogyasztó szektort vizsgál (világítás és berendezések, ipar, fűtés-hűtés), ezen kívül öt nem-energetikai szektort (hulladékgazdálkodás, mezőgazdaság, ipari folyamatok, földhasználat és változásai – LULUCF, emissziók), az energetikai kínálati oldalon pedig tíz területtel számol (biomassza, atomenergia, fosszilis tüzelőanyagok CCS-sel, szárazföldi és tengeri szélenergia, hullámerőművek, árapály-erőművek, mikrogeneráció, geotermikus, vízenergia). Minden szektorra négy különböző forgatókönyvet határoztak meg, az eredmények pedig a költségek meghatározására is kísérletet tesznek. Jelen fejezet további részei kizárólag a közlekedésre vonatkozó elemek bemutatására szorítkoznak. Általános feltételezései:

- Népeség-növekedés: 0,5%/év
- GDP-növekedés: 2,5%/év
- Személygépjárművek kihasználtsága: 1,58-1,66 (forgatókönyvtől függően)
- Élettartam alatt megtett távolság járműtípusonként (km/jármű)
- Meghajtások hatékonysága (TWh/milliárd jkm, vasútnál és légiközlekedésnél az ülések számára vonatkoztatva), 2007-es tényadatokkal
- A vasúti energiafelhasználás mintegy fele szükséges a szerelvények mozgatásához (a másik 50% például az állomások energiafogyasztásából adódik). Ezt az arányt a modell állandónak tekinti
- Emissziós tényezők (kt/TWh) a következő légszennyezőkre: NO_x, PM₁₀, SO₂, NMVOC
- Felszállás üzemanyag-igénye (a teljes fogyasztás 30%-a, konstans)
- Élettartamok (kerékpár: 7 év, személyautó: 12 év, busz: 15 év, vasút: 40 év, légi járművek: 30 év, tehergépjárművek: 7 év, tehervasút: 30 év)
- Dízel és elektromos hajtású nehézgépjárművek hatékonyságának fejlődése

A légi közlekedésben (személyközlekedés) mindegyik forgatókönyv ugyanazon fejlődéssel számol (a Committee on Climate Change 2009-es előrejelzéseinek „valószínű” forgatókönyvével). Az emissziók tekintetében a modell az Egyesült Királyság területéről felszálló járatokat veszi figyelembe. A fejlesztések tekintetében 10% bioüzemanyag-penetrációt és az igények 115%-os növekedését feltételezi 2005-höz képest. Megjegyzendő, hogy a modell többi része nem allokálja a bioüzemanyagokat szektorokhoz, így a két megközelítés nem teljesen összeegyeztethető. A teherszállításra szintén négy forgatókönyvet határoztak meg (ezekre itt részletesen nem térünk ki, a legnagyobb fejlődést mutató 4-es forgatókönyvben a közút részaránya 50%-ra csökken, vasút 23%, vízi szállítás 23%, csővezeték 4%). A kalkulátor szintén tartalmazza a nemzetközi légi közlekedést és szállítást is. A modellnek vannak ismert hiányosságai is:

- A kerékpárok számának túlbecslése (véltetőleg a jkm alulbecslése miatt)
- Nem számol alternatív meghajtású nehézgépjárművekkel (CNG, hidrogén, stb.)
- A költségek helyenként pontatlanok, vagy forrásuk nem ismert
- Stb.

A számítások menete személyközlekedésre a következő:

1. Az összesített éves utazási igény kiszámítása (a választott utaskm/ő adatok megszorítása a népességgel)
2. A kiválasztott modal split használatával az egyes közlekedési módokkal éves szinten megtett utaskilométerek számítása
3. A beállított technológiák (pl. hibrid, elektromos) segítségével megtett éves utaskm adatok számítása közlekedési módonként
4. Az utaskm adatok járműkilométerre váltása (osztás a kihasználtsággal)
5. Az egyes technológiákkal megtett távolság alapján a szükséges járművek számának meghatározása minden évre
6. Az élettartamok alapján a selejtezett járművek számának becslése
7. Szükséges új járművek számának meghatározása (selejtezés, igények növekedése miatt)
8. Új járművek tőkeigényének számítása
9. Járművek üzemeltetési költségeinek meghatározása

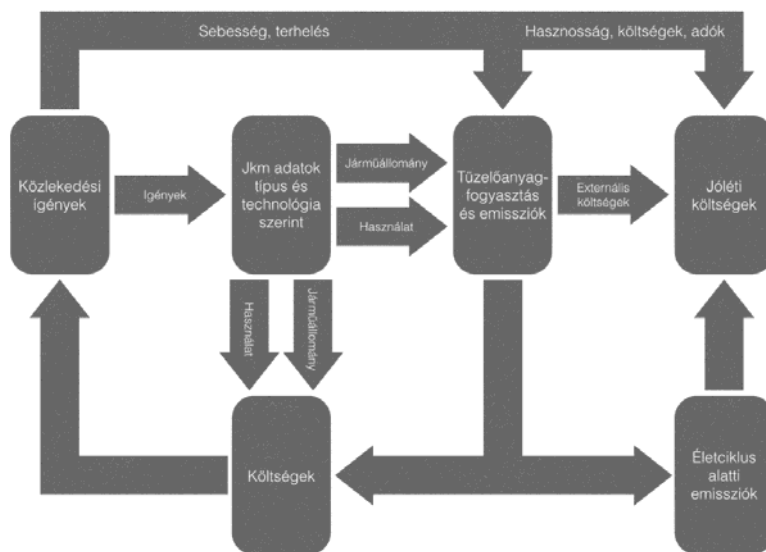
10. Energiafelhasználás számítása az utaskilométer adatok, valamint az utaskilométerre vetített energiaigény alapján (folyékony szénhidrogénekre, elektromos áramra és hidrogénre)
11. Kibocsátások számítása az emissziós tényezők segítségével

A teherszállítás számítása hasonló elven történik, azonban más konstansokkal és választási lehetőségekkel (pl. tengeren történő teherszállítás választott aránya). A Global Calculator emissziós-program csomag képes CO₂ kibocsátás-, energiafelhasználási- és energia előállítási előrebecsléseket [GtCO₂e] készíteni 2050-ig, az előrebecslések a betáplált historikus adatok alapján készülnek. A program előre definiált diszkrét paraméterlistával rendelkezik, a technológiai paraméterek mellett gazdasági és társadalmi paramétereket is használ az előrebecslések elkészítéséhez. 20 előre definiált és 1 a felhasználó által beállított forgatókönyv elemzésére alkalmas a programcsomag.

2.4. Belgium (TREMOVE)

A TREMOVE modellt a Leuveni Egyetem és a Standard&Poor's fejlesztette ki 1997-ben, az újabb verziókat (a legfrissebb 2007-es) a TML (*Transport&Mobility Leuven*) fejleszti. Célja a különböző közlekedéspolitikai döntések és beavatkozások kibocsátásokra gyakorolt hatásainak előrejelzése [6] vizsgálata. Összesen 31 ország adatai kerültek bele, vizsgálatának időtartama 1995-től 2030-ig terjed. Az egyes intézkedésekhez kiszámolja a közlekedési igényeket, a módváltást, a járműállomány megújulását, az emissziókat és a jólét szintjét [10]. A modell felépítését a 2. ábra mutatja.

A modell eredetileg Windows XP alá készült, kezelőfelülete pedig nehézkes volt (DOS használata, programfájlok szövegszerkesztőben való szerkesztése, hiányosságok az egyes modulok közötti adatáramlásban, stb.).



2. ábra

A TREMOVE modell felépítése

Forrás: TML, 2007[12]

A kezelőfelület 2010-ben frissítették – így a scenáriók módosítása 15-25 perc helyett már 1 perc alatt megtörténik – azonban még így sem kézenfekvő a modell használata (a grafikus kezelőfelület 2.5-ös verziója már Windows 7 operációs rendszeren is fut), a nagyobb mélységű kalibrációhoz továbbra is parancssorra van szükség. Ugyanakkor nagy előnye ennek a modellnek, hogy 31 ország adatai alapján képes szimulációt futtatni, így nem csak az összehasonlíthatóság lehetőségét teremti meg, de magasabb szintű tervezésre is alkalmas. Az emissziós számításokhoz a TREMOVE a COPERT4 adatait használja. Ez a módszertan a főbb légszennyezők (CO, NO_x, VOC, PM, NH₃, SO₂, nehézfémek) és üvegházgázok (CO₂, N₂O, CH₄) mennyiségének becslését teszi lehetővé járműkategóriák szerint (személyautó, kistehergépjármű [3], nehéz tehergépkocsi, busz, motorkerékpár, moped). Az emissziók számítása a következő források alapján történik:

1. A motor üzemeléséből származó emissziók
 - a. Üzemanyag állapot emissziói
 - b. Hidegindítás emissziói az üzemi hőmérséklet elérése előtt
2. Diffúz emissziók (üzemanyag párolgása, PM emissziók a gumiabroncsok és a fék kopásából)

Az összesített emissziós adatokat a megadott használatra vonatkozó beállítások, valamint a sebességfüggő emissziós tényezők segítségével számolja ki a program. A TREMOVE emissziós program csomag képes CO₂ kibocsátás- és energiafelhasználási előállítási előrebecsléseket [MtCO₂e] készíteni 2020-ig, az előrebecslések a betáplált historikus adatok alapján készülnek. A program a technológiai paraméterek mellett gazdasági és társadalmi paramétereket is használ az előrebecslések elkészítéséhez. A forgatókönyvek felhasználó általi programozására van lehetőség (azonban ez a folyamat igen bonyolult, és jelentős szaktudást igényel).

2.5. ENSZ: forFITS

Az ENSZ 2008-ban saját közlekedési emissziós előrebecslő és dekarbonizációs modell fejlesztésébe kezdett [13]. Az ENSZ modellje egy determinisztikus közlekedési környezetterhelési előrebecslési modell, amely a várható környezetterhelést a szállítási teljesítményből származtatott mennyiségként kalkulálja. Elődjének a 2000-es években felépített SRES modell tekinthető, amely a legmeghatározóbb kibocsátás-előrejelző modell a közlekedési szektorban. Ebben a modellben 4 fő forgatókönyv változatot alakítottak ki a gazdasági, a társadalmi és a környezeti paraméterek változása alapján [8]. Később érzékenységi vizsgálatokkal kimutatták, hogy az előrebecslések során bizonyos bemenő paraméterek jobban befolyásolják az eredményeket, ezért a bemenő paraméterek pontosítása, hosszabb idősorok alkalmazása vált szükségessé, amit a kor számítógépes kapacitása és informatikai fejlettsége nem tett lehetővé [11]. Miután a globális irányelvek körvonalazódni látszottak, a paraméterek és eredmények nemzeti vagy regionális szintre történő szétbontása vált szükségessé. 2008-ban Az ENSZ Európai Gazdasági bizottsága is egységes közlekedési előrejelzést készítő programcsomag fejlesztésbe kezdett, mely gazdasági, társadalmi és közlekedési adatbázisok hosszú idősoraira épült.

A modell fejlesztéséhez nemzeti szakértők is csatlakoztak, a kifejlesztett modell 2012-ben nyilvánosságra került és szabad felhasználásúvá vált [14]. A forFITS a közlekedési teljesítményt (utaskm, járműkm, tonnakm), a járműállomány alakulását, az energiafelhasználást és a kibocsátásokat modellezi különböző közlekedéspolitikai döntések függvényében. Minden közlekedési módot figyelembe vesz (összesen 9 típust megkülönböztetve, beleértve a csővezetékes szállítást is), de elsősorban a közúti, vasúti és vízi közlekedésre és szállításra fókuszál. Összesen 31-féle hajtásmód szerepel a modellben, ami kiemelkedő. A modell egyszerűsített szerkezeti felépítését a 3. ábra mutatja.



3. ábra

A forFITS modell felépítése

Forrás: UNECE (2013) [14] alapján saját szerkesztés

A közlekedési igények generálása a modellben elsősorban a GDP adatok járműállománnyal, utas- és járműkilométerrel való kapcsolatán alapul. A ForFITS emissziós program-csomag képes CO₂ kibocsátás- és energiafelhasználási – és energia előállítás- előrebecsléseket [GtCO₂e] készíteni 2040-ig, az előrebecslések a betáplált historikus adatok alapján készülnek. A program előre definiált diszkrét paraméterlistát használ (mely a technológiai paraméterek mellett gazdasági és társadalmi paramétereket is tartalmaz) az előrebecslések elkészítéséhez. 5 előre definiált és egy felhasználó által beállított forgatókönyv elemzésére alkalmas a program-csomag.

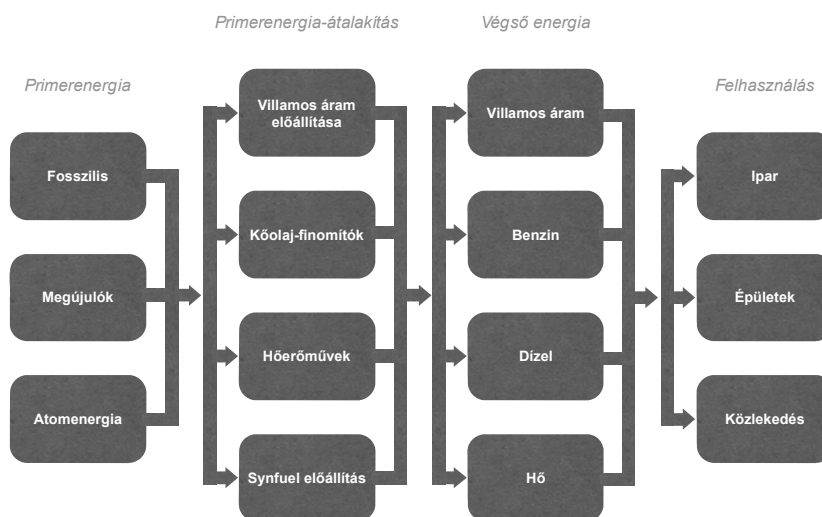
2.6. IEA ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVE MODELL

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA: International Energy Agency) Energia-Technológia Perspektívák (ETP: Energy Technology Perspective) legfrissebb, 2015-ös kiadása az előrebecslés és a visszafejtés statisztikai [5] eszközeit használja 2012 és 2050 között három forgatókönyv [1, 5] segítségével:

1. 2°C (2DS) – ambíciózus, villamos áram előretörésére alapul, mely nagyban dekarbonizált (főként szél- és napenergia felhasználásával)
2. 4°C
3. 6°C (6DS) – tulajdonképpeni BAU, a jelenlegi trendek meghosszabbítása

A 2DS forgatókönyvhöz készült egy kiegészítő scenárió is Hi-Ren néven, ami azt vizsgálja, hogy miként érhetőek el a 2DS-ben meghatározott célok abban az esetben, ha az atomenergia és a CCS valamilyen okból nem hozza a várt eredményeket.

A program segítségével eldönthető, hogy az előre definiált 6 eszköz (dekarbonizációs pálya – [4]) közül melyiket vagy melyikeket fogja a felhasználó használni a kitűzött cél elérése érdekében. A program lehetőséget nyújt a vizualizált eredmények Excel fájlba történő exportálására. A technológiai paraméterek vizsgálatánál a program csak a ma (2015-ben) kereskedelmi forgalomban kapható technológiákat vizsgálja. Az ETP modell az energia kereslet és kínálat szektoronkénti vizsgálatára épül a TIMES modell alapján. Az energetikai vizsgálatot a program 3 szektoron végzi el, sematikus felépítését a 4. ábra mutatja.



4. ábra
TIMES modell alkalmazása a ETP modellben
Forrás: <http://www.iea.org/etp/etpmodel>

Alapvetően a modell a 2°C forgatókönyvre fókuszál (ebben 2050-re a villamos energia a legfontosabb – aránya meghaladja a kőolajét is a teljes energiafelhasználásban), és számításai (többek között) a következő kitételeken alapulnak:

1. Az összesített emissziók az ipari folyamatok emisszióit is tartalmazzák
2. A közlekedési emissziók tartalmazzák a nemzetközi szállítás és légitranszport emisszióinak 50%-át (az adott országból vagy régióból induló/oda érkező közlekedési igényekre vonatkoztatva)
3. Az energiahatékonyság tartalmazza az „elkerült” közlekedést (pl. telekommunikáció)
4. Az elektromos és üzemanyagcellás járművek előnyeiket két tényezőben veszik figyelembe (energiahatékonyság, átállás új üzemanyagra)

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A modelleket áttekintve látható (1. táblázat), hogy a modellek eltérő bemeneti adatigénnyel rendelkeznek és eltérő projekciós időtávot használnak. Egyes modellek csak technológiai paramétereket használnak, mint például új hajtásmódok megjelenése és elterjedése, míg más modellek a hosszú időtáv miatt például számolnak a gazdasági hatásokkal. Ilyen gazdasági hatások lehetnek például az alternatív tüzelőanyagok elterjedésének lehetősége, a foszilis tüzelőanyagok megdrágulása vagy a megváltozott közlekedéspolitikai környezet. Egyes modellek ezen túlmenően társadalmi folyamatokkal is számolnak. Ezen folyamatok nem egyszerűen a populáció változását jelentik, hanem például a közforgalmi közösségi közlekedés használatának attitűdjét vagy a gyaloglási távolság változását. Minél komplexebb egy modell, annál komplexebb (több, bonyolultabb) adat megadását igényli. Ráadásul nem is egyszerűen több paraméterről van szó, hanem a paraméterek idősoráról. Sok esetben ezeket a paramétereket, adatokat ma sem gyűjtik és nincs adatuk az elmúlt évtizedről sem. Az alábbiakban felsoroltuk a főbb bemenő paramétereket a teljesség igénye nélkül – a legtöbb modellben erre lenne szükség.

A vizsgált modellek összehasonlítása

1. táblázat:

| Modell neve | Technológiai Paramétereket vizsgálja? | Gazdasági Paramétereket vizsgálja? | Társadalmi Paramétereket vizsgálja? | Előrebecslési időtáv | Dekarbonizációs pályák |
|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| Mobile6.2 | ☺ | ☹ | ☹ | 2050 | - |
| MOVES | ☺ | ☹ | ☹ | 2050 | - |
| Global Calculator | ☺ | ☺ | ☺ | 2050 | 20 + 1 a felhasználó által programozható |

| Modell neve | Technológiai Paramétereket vizsgálja? | Gazdasági Paramétereket vizsgálja? | Társadalmi Paramétereket vizsgálja? | Előrebecslési időtáv | Dekarbonizációs pályák |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| TREMOVE | ☺ | ☺ | ☺ | 2020 | Felhasználó által programozható |
| ForFITS | ☺ | ☺ | ☺ | 2040 | 5 + felhasználó által programozható |
| IEA | ☺ | ☹ | ☹ | 2050 | 6 előre definiált |

Technikai paraméter: gépjárműállomány nagyságát hajtásmód és tüzelőanyag szerinti bontásban évenként; a hajtásmódok és tüzelőanyagok emissziós tényezője.

Gazdasági paraméter: a GDP változása; a gépjárművek kihasználtsága; az újonnan forgalomba helyezett gépjárművek darabszámát évente, hajtásmód és tüzelőanyag szerint; a közforgalmú közösségi és egyéni közlekedés aránya; tüzelőanyag árának és adótartalmának változása; úthasználati díjak változása.

Társadalmi paraméter: a lakosság számának változása; az éves futásteljesítmény; lakosság közlekedési célú fizetési hajlandósága; gyaloglási távolság hosszútávú változása; közforgalmi közösségi közlekedés használati attitűd

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bennaceur, K., & Gielen, D. (2010). Energy technology modelling of major carbon abatement options. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(2), 309-315.
- [2] Fegyverneki Sándor (2009): Valószínűség-számítás és matematikai statisztika, TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 elektronikus jegyzet
- [3] Fontaras, G., Kouridis, H., Samaras, Z., Elst, D., & Gense, R. (2007). Use of a vehicle-modelling tool for predicting CO₂ emissions in the framework of European regulations for light goods vehicles. *Atmospheric Environment*, 41(14), 3009-3021.
- [4] Fulton, L., Cazzola, P., & Cuenot, F. (2009). IEA Mobility Model (MoMo) and its use in the ETP 2008. *Energy Policy*, 37(10), 3758-3768
- [5] Gielen, D., & Taylor, M. (2007). Modelling industrial energy use: the IEAs energy technology perspectives. *Energy Economics*, 29(4), 889-912
- [6] Kioutsoukias, I., Kouridis, C., Gkatzoflias, D., Dilara, P., & Ntziachristos, L. (2010). Uncertainty and sensitivity analysis of national road transport inventories compiled with COPERT 4. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(6), 7690-7691.
- [7] Lénárt Csaba, Nagy Ildikó (2007): Környezeti folyamatok modellezése – modellezés alapjai, HEFOP 3.3.1., elektronikus jegyzet
- [8] Nakićenović, N., Swart, R. (2000): Special Report on Emissions Scenarios: a Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press
- [9] Pino-Cortés, E., Díaz-Robles, L. A., Cubillos, F., Fu, J. S., & Vergara-Fernández, A. (2015). Sensitivity analysis of biodiesel blends on Benzo [a] pyrene and main emissions using MOVES: A case study in Temuco, Chile. *Science of The Total Environment*, 537, 352-359
- [10] Siskos, P., Capros, P., & De Vita, A. (2015). CO₂ and energy efficiency car standards in the EU in the context of a decarbonisation strategy: A model-based policy assessment. *Energy Policy*, 84, 22-34.
- [11] Taylor et al., 2012: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(4) pp485–498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- [12] TML, 2007: Transport&Mobility Leuven: TREMOVE model description
- [13] UNDA, 2012: UNDA Seventh Tranche (2012): CO₂ Emissions from Inland Transport: Statistics, Mitigation Policies, and Modelling Tools
- [14] UNECE (2013): ForFITS - User Manual
- [15] Wallace, H. W., Jobson, B. T., Erickson, M. H., McCoskey, J. K., VanReken, T. M., Lamb, B. K., ... & Zhang, W. (2012). Comparison of wintertime CO to NO_x ratios to MOVES and MOBILE6. 2 on-road emissions inventories. *Atmospheric Environment*, 63, 289-297
- [16] Wu, Y., Song, G., & Yu, L. (2014). Sensitive analysis of emission rates in MOVES for developing site-specific emission database. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 193-206
- [17] Yao, Z., Wei, H., Perugu, H., Liu, H., & Li, Z. (2014). Sensitivity analysis of project level MOVES running emission rates for light and heavy duty vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(2), 81-96.
- [18] Zhang, K., & Batterman, S. (2010). Near-road air pollutant concentrations of CO and PM 2.5: a comparison of MOBILE6. 2/CALINE4 and generalized additive models. *Atmospheric Environment*, 44(14), 1740-1748

Gyártórendszerek folyamatfejlesztési lehetőségei a negyedik ipari forradalomban

Process improvement possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0

Posibilitățile dezvoltării proceselor în sistemelor de fabricație în a 4-a revoluție industrială

Dr. TAMÁS Péter¹, Prof. Dr. ILLÉS Béla²

¹Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, e-mail: alttpeti@uni-miskolc.hu

² Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, email: altilles@uni-miskolc.hu

ABSTRACT

The fourth industrial revolution creates some new possibilities for the production processes' improvement for example by spreading the „Internet of things (IoT)” and appearance of the cyber physical systems. This paper introduces in details the fourth industrial revolutions' more important achievements and those possible effects on formation of „the lean wastes”. In this paper there will be also numerous new research directions in connection with the manufacturing systems' process improvement possibilities presented.

ÖSSZEFOGLALÓ

A negyedik ipari forradalom többek között a „dolgok internete” (Internet of Things (IoT)) elterjedésével, valamint a kiberfizikai rendszerek megjelenésével új lehetőségeket biztosít a termelési folyamatok fejlesztésére. A dolgozat részleteiben ismerteti a negyedik ipari forradalom eddigi fontosabb vívmányait, majd bemutatja, hogy azok milyen módon támogathatják a lean filozófia által megfogalmazott célkitűzéseket. Továbbá a dolgozatban számos új kutatási irányt is bemutatunk a gyártórendszerek folyamatfejlesztési lehetőségeivel kapcsolatban.

Kulcsszavak: lean, ipar 4.0, értékfolyamat, folyamat-fejlesztés, kiberfizikai rendszerek

1. BEVEZETÉS

A vevők által megkövetelt termékminőség biztosítása csupán a megfelelő gyártási technológiák és logisztikai folyamatok kialakításával érhető el [1, 2]. A folyamatos fejlesztés megvalósítása mindkét területen elengedhetlenné vált a versenyképesség biztosítása érdekében. A korszerű gyártási technológiák fejlesztése [3, 4] (esztergálás, marás, fröccsöntés, stb.) területén manapság már jóval kisebb fejlesztési potenciál található, mint a logisztikai rendszerek fejlesztésénél. Köszönhető ez annak, hogy a negyedik ipari forradalom új lehetőségeket teremt (Internet of Things (IoT), kiberfizikai rendszerek, Big Data, stb.) a gyártási logisztikai rendszerek kialakításában, fejlesztésében [5, 6]. Korábban a tömeggyártás megvalósítására való törekvéssel szemben mostanra az egyedi gyártás minél hatékonyabb megvalósítása került előtérbe, melynek eredményeként elmondható, hogy azon vállalatok lesznek sikeresek, melyek az egyedi vevői igények alacsony költségen való kielégítésére képesek lesznek. A folyamatok komplexitásának növekedése miatt szükségessé vált a korábban alkalmazott folyamatfejlesztési módszerek, mint például az értékfolyamat-térképezés módszerének az újragondolása is a számítógépes modellezési technikák alkalmazásával [7].

Logisztikai szempontból a termelési folyamatban kezelendő anyagokat két csoportba sorolhatjuk, vagyis a darabáruk és ömlesztett anyagok csoportjába. Ezen csoportok kezelése a logisztikai műveletek (rakodás, szállítás, tárolás, csomagolás, ..., stb.), valamint az alkalmazott technológiai berendezések tekintetében is jelentősen eltér. A dolgozat terjedelmi korlátok miatt csupán a darabáruk gyártási folyamatának új hatékonyságnövelési lehetőségeit mutatja be. Ezen új hatékonyságnövelési lehetőségeket az ipari 4.0, valamint a lean

filozófia „eszközeinek” alkalmazásával válnak elérhetővé. Gondolatmenetét tekintve a dolgozat bemutatja a lean filozófia lényegét, majd ismerteti az ipar 4.0 történetét, fontosabb vívmányait, ezt követően az új kutatási és veszteségcsökkentési lehetőségek körvonalazása valósul meg.

2. LEAN FILOZÓFIA A GYÁRTÁSBAN

A lean filozófia értelmezésére sokféle definíció létezik, melyek közül a lényegét véleményünk szerint Taichi Ohno, a Toyota üzemvezetője fogalmazta meg. Szavaival élve a lényeg a megrendelés és a pénzbeérkezés közötti idő lecsökkentése a veszteségek kiküszöbölésével [8]. A filozófia alapvetően két elvre épül, vagyis a veszteségek csökkentésére és az ember tiszteletére [9]. Az elmúlt időszakban a Toyota Termelési Rendszerből (TPS) kiindulva a lean filozófia egy jól definiált eszköz és szabályrendszerre fejlődött, mely nem csak a termelési, hanem a szolgáltatási területek veszteségeinek csökkentésére is felhasználható. A lean alapvetően 3 MU-t különböztet meg, így az egyenlenséget (MURA), a túlterhelést (MURI) és a 8 alapvető veszteséget (MUDA) [9]. Elmondható, hogy a muri és a mura minden esetben mudát is okoz, ezért sok esetben a szakirodalmak csak a mudák, vagyis a veszteségek kiküszöböléséről beszélnek. Alapvetően 8 veszteséget különböztethetünk meg, melyek a túltermelés, felesleges készlet, anyagmozgatás, mozdulatok, várakozás, műveletek, hibák/selejteket, ki nem használt képességek [9]. A gyártás területén a lean filozófia szellemében számos új megoldás jelent meg (kanban rendszer, heijunka, jdoka, ..., stb.). Az eszközök használatán túl a dolgozók szemléletének, probléma megoldási képességének kialakítása nagyon fontos a folyamatos fejlesztések megvalósításához. A Toyota ezt a fejlesztési és a coaching katók segítségével valósította meg [10]. A coaching kata a fejlesztési kata megtanítására, a fejlesztési kata pedig a hatékony fejlesztés megvalósítására szolgáló rutin. Az említett katók gyakorlásával elérhető, hogy a vállalaton belül valamennyi fejlesztési célkitűzés hatékonyan, rövid idő alatt megvalósulhasson.

3. IPARI FORRADALMAK KIALAKULÁSA

Az ipari forradalmak alapvetően társadalmi, gazdasági és technológiai változásokhoz köthetőek, hiszen az egyes technológiák feltalálásának, elterjedésének alapfeltétele a megfelelő gazdasági és társadalmi környezet rendelkezésre állása. Az 1. ipari forradalom kezdetét pl. a modern gőzgép feltalálásától datáljuk (1769, James Watt). A következőkben az ipari forradalmakat és azok sajátosságait mutatjuk be.

1. táblázat Ipari forradalmak kialakulása

1. ipari forradalom

Kezdet: 18. század hatvanas éveitől

Fontosabb vívmányok:

- széntüzelésű gőzgép,
- textilüzemek gépesítése,
- gőzhajtású hajók, gőzvasút, stb.

2. ipari forradalom

Kezdet: 19. század 70-es éveitől

Fontosabb vívmányok:

- elektromosság,
- olajipar,
- acélipar,
- gépgyártás (esztergagép, fűrőgép, marógép, stb.),
- belső égésű motorok feltalálása,
- szolgáltatóipar megjelenése,
- tömegtermelés.

3. ipari forradalom

Kezdet: 20. század 30-as éveitől

Fontosabb vívmányok:

- atomenergia,
- új technológiák,
- CAD/CAM rendszerek,
- CIM rendszerek,
- folyamatok, hálózatok,
- zártkörű anyagáramlások.

4. ipari forradalom

Kezdet: napjainktól

Fontosabb vívmányok:

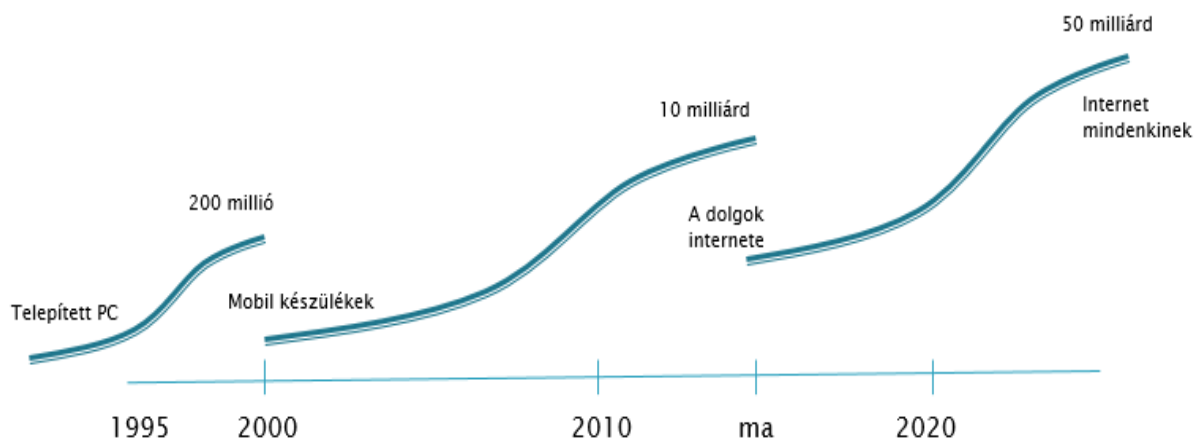
- dolgok internete (IoT- Internet of Things),
- kiberfizikai rendszerek,
- ipar 4.0,
- logisztika 4.0,
- gyártás 4.0,
- lean 4.0.,
- kórházi logisztika 4.0., ..., stb.

4. A NEGYEDIK IPARI FORRADALOM FONTOSABB ESZKÖZEI

A napjainkban is tartó negyedik ipari forradalom három legfontosabb fogalma – az Internet of Things (IoT), a kiberfizikai rendszerek és a big data – sokak szerint jelentős mértékben át fogja formálni a világot. Új lehetőséget teremtenek a termelési és szolgáltatási folyamatok fejlesztéséhez. A fejezet a fogalmak magyarázatát tűzte ki célul, mely ismereteket a későbbiekben használjuk fel.

4.1. Internet of Things (IoT)

Az „Internet of Things” kifejezést Kevin Ashton használta először 1999-ben [5]. Számos magyar nyelvű megfelelője létezik, de talán a „dolgok internete” kifejezés az, ami a legjobban kifejezi az elgondolás lényegét. Az IoT lehetővé teszi különféle eszközök (autó, kandalló, biztonsági rendszer, alkatrészek, anyagmozgató berendezések, stb.) interneten/valamilyen hálózaton keresztül való elérését, illetve bizonyos esetekben az eszközök közötti kommunikáció biztosítását is. Az elmúlt évtizedekben az interneten elérhető adatok többségét az emberek rögzítették, ez meglehetősen lehatárolta a rendelkezésre álló adattípusokat és azok mennyiségét. Annak érdekében, hogy az emberiség az általa működtetett rendszerek hatékonyságát tovább tudja fokozni, elengedhetetlen a felhasznált „dolgok”-ról való adatgyűjtés, illetve a kapott adatok alapján a rendszer működésébe való beavatkozás. Egy egyszerű példával élve, hogyha a technológiai berendezések fontosabb alkatrészeit olyan érzékelőkkel látnánk el, amelyek még a meghibásodás előtt jelzik a problémát, akkor időben beavatkozhatunk, és elkerülhetjük a termelés leállítását. Az elképzelés komolyságát az 1. ábrán ismertetett előrejelzés is alátámasztja.



1. ábra

Számítógépek számának alakulása [11]

Az eNET 2015 júliusában végzett online kutatása során feltárta a lakosság által ismert és hasznosnak vélt IoT megoldásokat, melyek a következők:

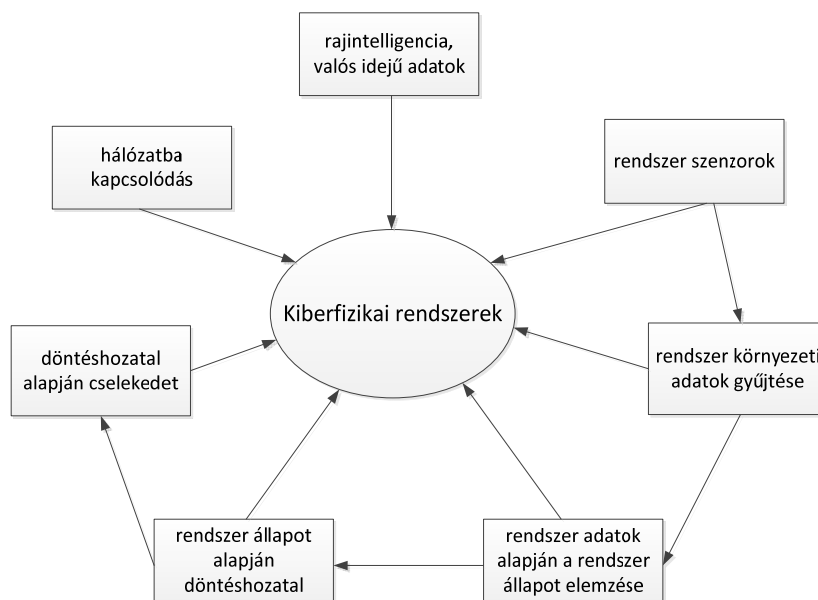
- intelligens otthoni riasztó (rendellenesség esetén üzenetet kapunk),
- okosautó (környezetet érzékeli és veszélyhelyzet esetén fékez vagy jelzést ad),
- okosmérő (valós idejű információt nyújt a gáz- és villamos áram-fogyasztás állapotáról és költségről és ezt a szolgáltató is megkapja, így nem kell leolvasni),
- okosotthon (távrolról is vezérelhetjük a lakásunkban található eszközök működését pl. fűtés, világítás, ..., stb.),
- online kassza (NAV rendszere és a pénztárgépek közötti kommunikáció).

4.2. Kiberfizikai rendszerek

Az informatika és az automatizálás fejlődése, valamint a közöttük lévő kohézió növekedése lehetővé tette a kiberfizikai rendszerek alkalmazását (vezérléssel és hálózati kapcsolattal rendelkező elektronikai eszközöket nevezünk kiberfizikai rendszernek). A kiberfizikai rendszerek képesek környezetükből szenzorok segítségével adatokat gyűjteni, valamint a helyzetük elemzését követően cselekednek. A kiberfizikai rendszerek hálózatba kapcsolnak, jelentős részük egymással is összekötött, ezért alkalmazható a rajntelligencia (a közös stratégia alkalmazása a működésben), amely még hatékonyabb működést eredményez (2. ábra). A gya-

korlati életnek számos olyan területe létezik, amelyeknél a kiberfizikai rendszerek létrejötte a hatékonyság növekedésével párosulhat:

- közlekedésben a gépkocsik összekapcsolásával csökkenteni lehet a légellenállást, fogyasztást, balesetek számát,
- a gyártás területén a gyártórendszerek elemeinek összekapcsolásával csökkenteni lehet a gyártási veszteségeket,
- ellátási láncok kialakításánál, működtetésénél.



2. ábra
Kiberfizikai rendszerek működési koncepciója

4.3. Big Data koncepció

A világban keletkező adatmennyiség megközelítőleg két évente megduplázódik [6], melynek hatására hatalmas mennyiségű adat keletkezik az élet különböző területén (csillagászat, logisztika, kereskedelem, tőzsde, ..., stb.). A nagy mennyiségű adatokból az adatok közötti korrelációk feltárásával hasznos következtetéseket, új szolgáltatásokat hozhatunk létre. Ilyen szolgáltatás lehet például a repülőjegyek árának előrejelzésére szolgáló szoftver, mely a korábbi időszakos jegyvásárlások alapján határozza meg a megfelelő vásárlási időpontot anélkül, hogy ismernénk a mögöttes számítási módszert [6]. A big data lényege az előrejelzés, tehát „nagy mennyiségű” adat matematikai módszerekkel, eljárásokkal való kezelése valószínűségek meghatározásához. A big data koncepció egyesek szerint jelentős mértékben meg fogja változtatni a jövőt, hiszen a nagy mennyiségű adatra támaszkodva nagy valószínűséggel tudunk majd megfelelő döntéseket hozni, akár az ok-okozati összefüggések ismerete nélkül. A fentiekben ismertetett kifejezések egymással szoros kapcsolatban vannak. Tehát az IoT nélkül nem beszélhetünk kiberfizikai rendszerekről és big data-ról sem.

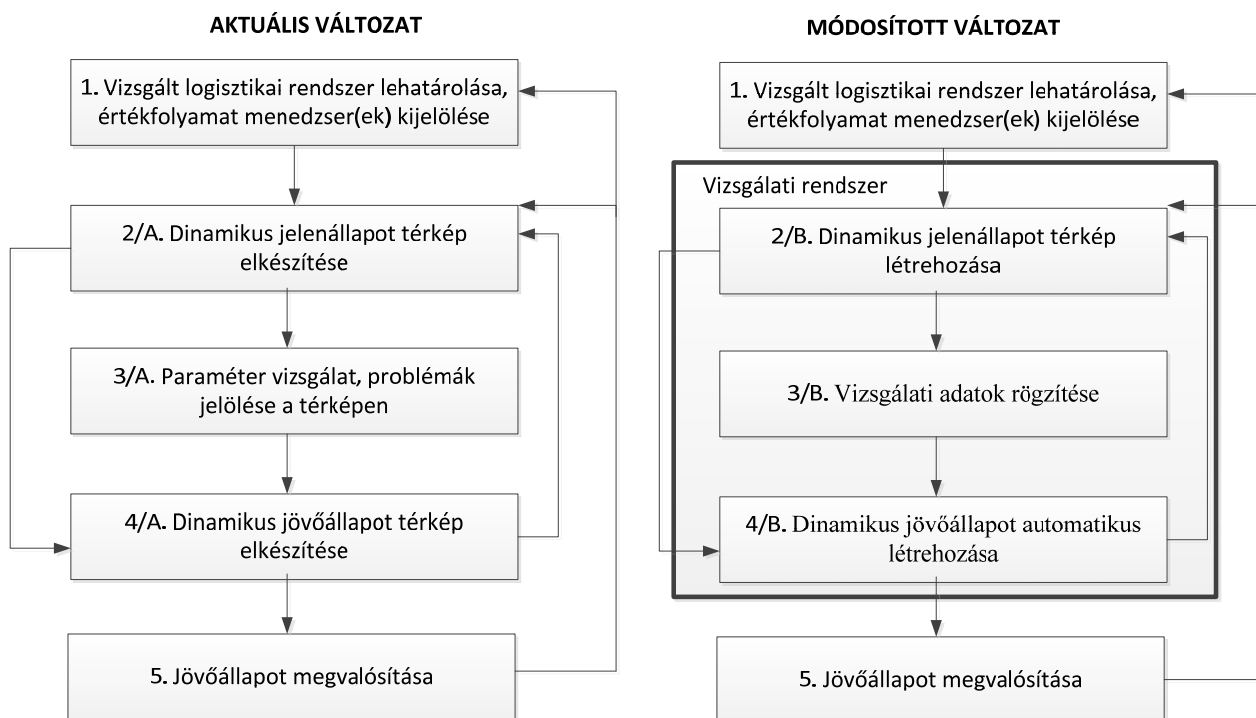
5. FONTOSABB KUTATÁSI IRÁNYOK A GYÁRTÓRENDSZEREK FOLYAMATFEJLESZTÉSÉBEN

Alapvetően gyártási területen a 4. ipari forradalom célkitűzése, mint ahogyan azt már korábban is említettük az egyedi gyártás megvalósítása a tömeggyártásra jellemző termelékenységgel és fajlagos költségekkel. Ennek megvalósulásával lehetővé válna az egyedi vevői igények gyors és hatékony kiszolgálása. Ez a jelenlegi állapothoz képest rendkívül nagy ugrásnak tűnhet, ugyanakkor a megvalósításhoz szükséges technológiák jelentős része már napjainkban is rendelkezésre áll. A cél elérése érdekében a logisztika területén alapvetően két terület fejlődésére van szükség:

- Értékfolyamat térképezés módszerének továbbfejlesztése.
- Új intelligens logisztikai megoldások kidolgozása.

5.1. Értékfolyamat térképezés módszerének továbbfejlesztése

Az értékfolyamat térképezés módszere a Toyota anyag- és információáramlási diagramjának felhasználásával jött létre. Ezt először Mike Rother & John Shook publikálta 1999-ben a „Tanulj meg látni” c. művében [8, 9]. A módszer alapvető célja a veszteségek kiküszöbölése és ezáltal az anyag- és információáramlási folyamat fejlesztése. Az eddigiekben alkalmazott változata egyidejűleg csupán egy termékcsalád logisztikai folyamatainak fejlesztésére volt használható, ezért a komplex logisztikai folyamatok vizsgálatánál nem mutatott nagy hatékonyságot [2]. Alapvetően két típusát különböztethetjük meg, vagyis az egyidejűleg egy termékcsalád folyamatainak vizsgálatára alkalmas statikus és a komplex logisztikai rendszerek fejlesztésére alkalmas dinamikus értékfolyamat térképezés módszerét [12, 13]. A gyártórendszerek egyre nagyobb komplexitással rendelkeznek, ezért a dinamikus értékfolyamat térképezés módszerének alkalmazása előtérbe került.



3. ábra

Dinamikus értékfolyamat térképezés lépései [2]

Ezen módszer lépései egyértelműen meghatározottak, ugyanakkor a folyamatfejlesztés módjának és mértékének meghatározása többnyire próbálgatás, tapasztalatok, megérzések alapján történik (egy szimulációs modellen vizsgáljuk a lehetőségeket). Véleményünk szerint ezen a területen egy olyan vizsgálati rendszer kidolgozásában van potenciál, amely képes az előre definiált adatstruktúrák adatainak feltöltését követően a vizsgálati cél(ok)nak leginkább megfelelő rendszerváltozat létrehozására. A dinamikus értékfolyamat térképezés aktuális és módosított változatának lépéseit a 3. ábra szemlélteti.

A dinamikus értékfolyamat térképezés módszerének lépései a következőképpen foglalhatók össze:

1. Vizsgált logisztikai rendszer lehatárolása, értékfolyamat menedzserek kijelölése: A kijelölt logisztikai rendszer vonatkozásában meg kell határozni az előforduló termékcsoportokat a már korábban ismertett ökoszabály figyelembevételével, valamint hozzájuk kell rendelni az értékfolyamat menedzsereket, akik az értékfolyamatok fejlesztéséért felelősek [9].

2/A. Dinamikus jelenállapot térkép elkészítése: Az értékfolyamat menedzsereknek meg kell érteniük a hozzájuk rendelt termékcsoport(ok) anyag- és információáramlási folyamatait, valamint össze kell gyűjteniük a térképezéshez szükséges adatokat [9]. Az összegyűjtött adatok alapján el kell készíteni a részrendszer komplex értékfolyamat térképét a szimulációs modellezés technikájának felhasználásával.

2/B. Dinamikus jelenállapot térkép létrehozása: A 2/A. lépéstől annyiban tér el ez a lépés, hogy az összegyűjtött adatokat egy előre definiált adatstruktúrába rögzítik, mely alapján a vizsgálandó szimulációs modell automatikusan létrejön. Ehhez ki kell dolgozni a különböző gyártási rendszerek szimulációs modelljének

létrehozásához szükséges adatstruktúrát, algoritmusokat, majd el kell végezni az adaptációt egy kiválasztott szimulációs keretrendszerre.

3/A. Paraméter vizsgálat, problémák jelölése: A dinamikus értékfolyamat térképen elemezhető valamennyi logisztikai paraméter változtatásának részrendszer működésére való hatása (pl. átállási idő csökkentésének hatása a folyamatközi készletre és a termékátfutási időre, különböző gépbeállítások hatása a vevői igények kielégítésének mértékére, technológiai meghibásodások hatása a lehatárolt részrendszer működésére, stb.). A vizsgálatok eredményeként meghatározható a jelenlegi rendszer anyag- és információáramlási problémáinak többsége [9].

3/B. Vizsgálati adatok rögzítése: Ez a lépés alapvetően annyiban tér el a 3/A. lépéstől, hogy a folyamatfejlesztési vizsgálat adatait, feltételeit, célfüggvényeit egy előre definiált adatstruktúrában kell megadni. Ehhez ki kell dolgozni az alkalmazandó adatmodell felépítését, mely alkalmas a vizsgálati lehetőségek, a feltételek és célfüggvények adatainak rögzítésére. Természetesen ezen adatstruktúra adaptációját is meg kell valósítani.

4/A. Dinamikus jövőállapot térkép elkészítése: Elkészítjük a meghatározott problémák kiküszöbölésével a dinamikus értékfolyamat térképet.

4/B. Dinamikus jövőállapot térkép automatikus létrehozása: A vizsgálati adatok alapján automatikusan generálódik a vizsgálati céloknak leginkább megfelelő dinamikus jövőállapot térkép. Ehhez ki kell dolgozni egy olyan algoritmust, mely képes a vizsgálati adatok alapján a rendszerváltozatok generálására és a leginkább megfelelő változat kiválasztására.

5. Jövőállapot megvalósítása: A jövőállapot térképen jelölni kell az értékfolyamat hurkokat (ütemadó hurok, egyéb hurkok), melyekhez tartozó logisztikai folyamat kialakításához definiálni kell az elvégzendő feladatok listáját (megvalósítási terv). A megvalósítási terv birtokában el kell készíteni az éves értékfolyamat tervet, mely leírja, hogy mely tevékenységet milyen ütemezésben kell megvalósítani, ki a megvalósítás felelőse, milyen célállapot mutatók tartoznak a megvalósításhoz és a feladat elvégzésének ellenőrzése milyen formában történik. Ezt követi a megvalósítás és annak folyamatos ellenőrzése [9].

Ezen lépések között a kapcsolat nem minden esetben egyirányú, előfordulhat visszacsatolás is, pl. ha a jövőállapot térkép elkészítésekor olyan információra van szükségünk, melyet a jelenállapot térkép nem tartalmaz, akkor ennek hatására a jelenállapot térképet is módosítani kell, vagy ha a jövőállapot térkép megvalósul, akkor ismét a 2. lépés következik és ciklikusan ismétlődik a folyamat.

Az aktuális és a módosított változat alapvetően a következőkben tér el egymástól:

- A módosított változat alkalmazása egyszerűbb, mivel kidolgozott adatstruktúrákat, algoritmusokat alkalmaz (az aktuális változat csupán a vizsgálat kereteit határozza meg).
- A módosított változat alkalmazása kevesebb időráfordítást igényel, mivel a vizsgálat lépései pontosan meghatározottak.
- A módosított változat esetén jóval több lehetséges változatot értékelnek ki, ezért a jövőállapot térkép meghatározása nagyobb hatékonysággal – a vizsgálati igényeknek megfelelően – történik.

Összességében megállapítható, hogy a vizsgálati rendszer megvalósításával az eddigiekhez képest gyorsabb és költséghatékonyabb folyamatfejlesztési módszert kapnánk, mely jelentős versenyelőnyt eredményezne az alkalmazó vállalatok számára.

5.2. Új intelligens logisztikai megoldások kidolgozása

Intelligens logisztikai megoldásokon azon eszközöket/(rész)rendszereket értjük, melyek képesek reagálni (automatikus információtovábbítással és/vagy a saját működésük szabályozásával) a külső környezet változásaira [14, 15]. Ezen megoldások alkalmazásával és továbbfejlesztésével lehetővé válhat a veszteségek jelentős mértékű csökkenése. A veszteségek csökkenése elsősorban annak eredménye, hogy a feladatok elvégzésének reakcióideje lerövidül, illetve a rendszer objektumai (forrás és nyelő objektumok, anyagmozgató eszközök, személyzet, ..., stb.) közötti optimalizált együttműködés növekedésével az emberi- és gépi erőforrások kihasználásának hatékonysága növekszik.

Termelési területen jelenleg alkalmazott fontosabb intelligens logisztikai megoldások a következők:

- Intelligens azonosítóeszközök (külső környezet kedvezőtlen változásáról automatikus üzenetet küld pl. hőmérséklet vagy páratartalom egy előírt érték alá csökkent).
- Intelligens technológiai berendezés (pl. azonosítóeszköz adatai alapján automatizált megmunkálás, szenzorok segítségével a meghibásodás előrejelzése).
- Intelligens minőség-ellenőrzés (pl. a terméken elhelyezett RFID chip adatai alapján végzi el a berendezés a szükséges ellenőrzéseket).
- Intelligens anyagmozgató berendezés (pl. környezeti adatok alapján automatikus működés).

- Intelligens raktár (pl. érzékelők segítségével a készletfogyás alapján automatikus rendelésseladás történik).
- Intelligens logisztikai rendszerek (pl. Az ipar 4.0 aktuális eszközrendszerének felhasználásával létrehozott, az ember-gép és/vagy gép-gép közötti kommunikáción alapuló részben/teljesen automatizált logisztikai rendszerek).

Az ipar 4.0 a gyártási rendszerek kialakítására, működtetésére is jelentős hatással lesz. A prognózisok szerint a következő változások várhatóak:

- A különféle eszközök (technológiai berendezések, anyagmozgató gépek, alkatrészek, egységgrakományok, ..., stb.) és a központi egység(ek), valamint az eszközök közötti kommunikáció is megváltozhat, így az eddigiekben alkalmazott központi vezérlést egyre inkább a decentralizált önvezérlés fogja felváltani.
- A merev, komplex döntéshozatalt egyre inkább a valós idejű szimuláción alapuló döntések fogják felváltani.
- Az eddigiekben előre tervezett termelési rendszereket a technológiai berendezések rugalmasságának növekedése hatásaként (pl. 3D nyomtatás megjelenése) a jövőben modularizáción alapuló termelésbővülések fogják jellemezni.
- A jelenleg alkalmazott passzív munkadarabok helyett intelligens munkadarabokat alakítanak ki, melyek a rájuk programozott információk alapján képesek lesznek a környezetük befolyásolására.
- A hálózatba kapcsolat eszközök által küldött és tárolt adatok felhasználásával jóval nagyobb méretű rendszerek optimalizálására nyílik majd lehetőség. Tulajdonképpen egy vállalat teljes ellátási láncának optimális kialakítására, működtetésére is lehetőség nyílik majd.
- A logisztikai rendszerekről gyűjtött nagy mennyiségű adatok feldolgozásával új üzleti modellek megjelenése valószínűsíthető (pl. adott típusú berendezés meghibásodása vagy dolgozó megbetegedése nagy pontossággal előre jelezhető lesz a korábban végzett feladat adatok alapján, így a termelés kiesés kockázata jelentős mértékben mérsékelhető lesz).

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyártórendszerek kialakításában, működtetésében a 4. ipari forradalom nyújtotta lehetőségek jelentős változást hoztak, illetve vetítenek előre. Az IoT és a kiberfizikai rendszerek megjelenése, valamint a big data nyújtotta lehetőségek erőteljes kutatási potenciált jelenítettek meg a gyártási logisztikai rendszerek hatékonyabb működtetése, folyamatos fejlesztése tekintetében. A gépek közötti kommunikáció, a gyártásban áramló anyagok nyomkövetéséből származó információk, valamint a hálózati együttműködésben rejlő lehetőségek a gyártási folyamatok szélesebb körű optimalizálására adnak lehetőséget. A dolgozat részleteiben ismertette a 4. ipari forradalom létrejöttének folyamatát, valamint annak aktuális vívmányait, lehetséges fejlődési irányait. Továbbá a dolgozat kitért a fontosabb kutatási lehetőségekre is a darabárus anyagok gyártási folyamatának fejlesztése/veszteségsökkentése területén.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

“This project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 691942”. A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Industry 4.0 – Challenges and solutions for the digital transformation and use of technologies, Deloitte, <http://www2.deloitte.com/> (2014)
- [2] P. Tamás: Application of value stream mapping at flexible manufacturing systems, KEY ENGINEERING MATERIALS (686), pp. 168-173. (2016), doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.686.168
- [3] P. Shukla, J. Lawrence: Mathematical modelling of the fibre laser surface processing of a zirconia engineering ceramic by means of three-dimensional finite-element analysis, Proc. IMechE Vol 225. Part C: J. Mechanical Engineering Science, DOI: 10.13140/RG.2.1.2769.9923, (2010)
- [4] Cs. Felhő, J. Kundrák: Investigation of the Topography of Machined Surfaces, APPLIED MECHANICS AND MATERIALS 693: pp. 412-417. (2014)

- [5] K. Ashton: That 'Internet of Things' Thing, in the real world things matter more than ideas. RFID Journal. June 22, 2009.
- [6] V. Mayer, S. Kenneth Cukier: Big Data, A revolution that will transform how we live, work, and think, ISBN 978-0-544-00269-2
- [7] A. Mahfouz, A. Arisha, Lean distribution assessment using an integrated framework of value stream mapping and simulation, Proceedings of the 43rd Winter Simulation Conference, IEEE Computer Society, 2013, pp.3440–3449.
- [8] J. P. Womack, D. T. Jones: Lean thinking, Simon & Schuster Inc., 2008.
- [9] M. Rother, J. Shook: Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda, Lean Enterprise Institute, 2003.
- [10] M. Rother M: Toyota Kata - Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results. New York: McGraw Hill; 2009.
- [11] Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0, Fraunhofer – Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IOA
- [12] P. Solding, P. Gullander: Concepts for simulation based value stream mapping, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, pp. 2231-2237.
- [13] P. Košťál, K. Velíšek: Flexible manufacturing system (Scopus) In: World Academy of Science, Engineering and Technology. - ISSN 2010-376X. - Vol. 77 (2011), pp. 825-829
- [14] B. Illés, A. Trohák, Z. Bíró: Can message filter algorithms for remote diagnostics of vehicles, APPLIED MECHANICS AND MATERIALS 309: pp. 213-220. (2013)
- [15] Á. Gubán, R. Kása: Conceptualization of fluid flows of logistificated processes, ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS: THEORY AND PRACTICE 7:(2) pp. 27-24. (2014)