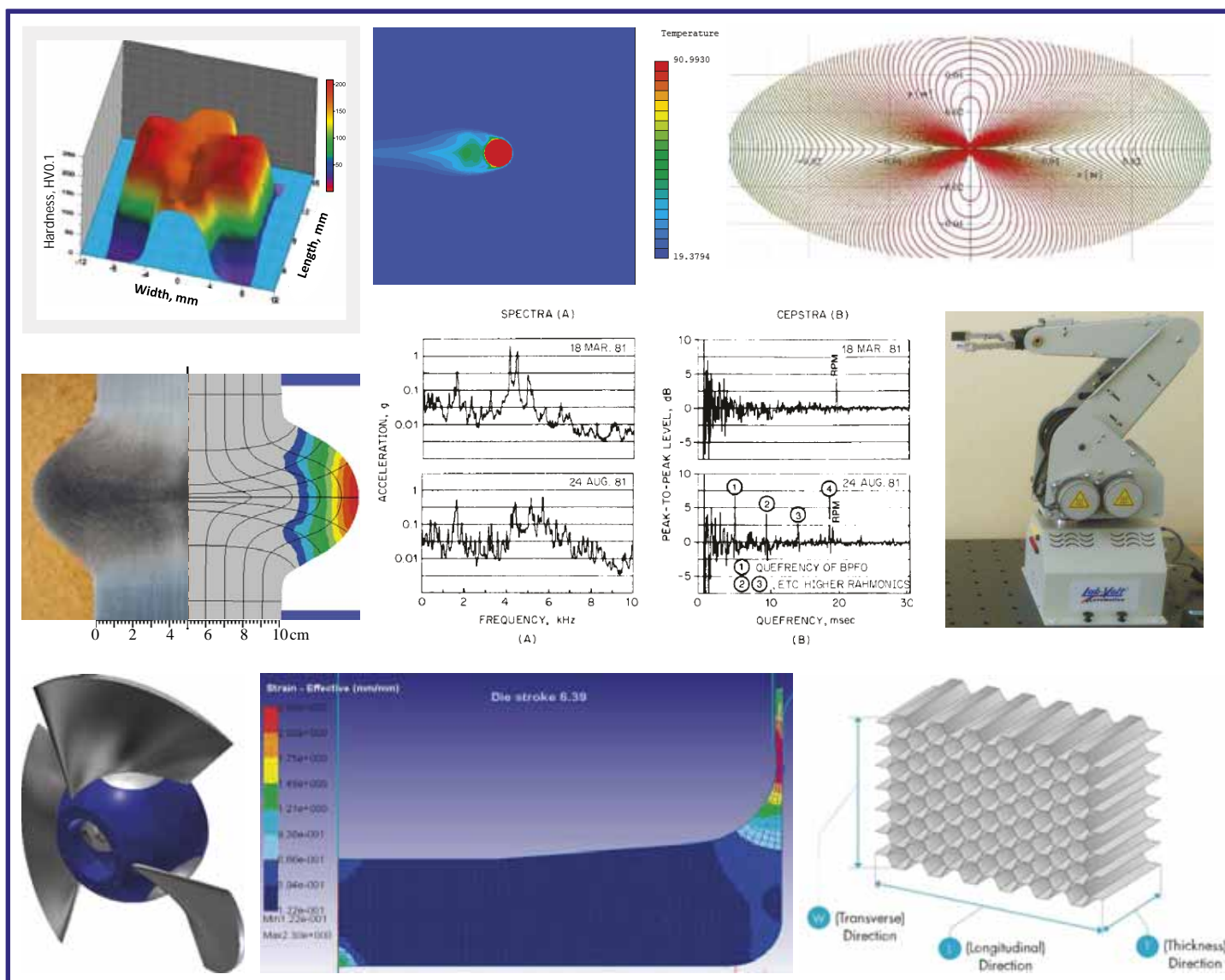


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



K Ü L Ö N S Z Á M

EFOP-361-16-2016-00011 számú „Fiatallódó és megújuló Egyetem - Innovatív Tudásváros a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése”

2021/1-2.

100 oldal
LXXII. évfolyam



SZÉCHENYI 2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

4th International Conference on Vehicle and Automotive Engineering VAE2022

8-9. September 2022. Miskolc, Hungary



Call for papers

We have the pleasure to invite you to participate in the 4th International Conference on Vehicle and Automotive Engineering (VAE2022) from 8th to 9th September 2022 in Miskolc, Hungary. The Conference aims to bring together the experts from both the academic and industrial areas and show these fields' development.

Main branches of topics of the Conference:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| A. Conventional Powertrain & Emission | H. Active and Passive Safety |
| B. Alternative Powertrains | I. Sustainability |
| C. Vehicle Dynamics | J. Education |
| D. Materials & Manufacturing | K. Design of Vehicle Structures and Surfaces |
| E. Vehicle Electronics | L. Optimization |
| F. Autonomous vehicles | M. Welding |
| G. Noise & Vibration | N. Multi linkage structures |

Publication of Papers

All papers are peer-reviewed. The accepted ones will be published in the *Lecture Notes in Mechanical Engineering series*, published by *Springer Verlag*, indexed by Scopus, as was on the previous conferences (<https://www.springer.com/gp/book/9789811595288> <https://www.springer.com/gp/book/9783319756769>, <https://www.springer.com/gp/book/9783319511887>). The 2018 Proceedings had 157k downloads till now. The Proceedings will be available to all registered participants electronically upon arrival at the Conference. Offered papers must be original, have not been published elsewhere. The paper length is a minimum of 6 pages, maximum of 16 pages. The author should give the lecture.

Schedule

Event	Deadline
Call for papers	
Abstract submission	14 th January. 2022.
Abstract acceptance	11 th February. 2022.
Full paper submission	25 th March. 2022.
Full paper acceptance	29 th April. 2022.
Payment	16 th May. 2022.
Conference	Sept. 8-9. 2022.

The conference language is English. The abstract text must be between **300 and 500 words**.

Conference fee (face to face): 299 Euro/person (due 16th May. 2022), for online participation is zero.

Publication fee (online): 169 Euro/paper (due 16th May. 2022) (one paper between 6-16 pages).

For further details, please contact:

Prof. Dr. JÁRMAI, Károly
University of Miskolc, Hungary
H-3515 Miskolc, Egyetemvaros
Tel. +36-46-565111 ext 2929
Fax. +36-46-563399

The conference homepage

<http://vae2022.uni-miskolc.hu>

E-mail: vae2022@uni-miskolc.hu



„A kiadvány az EFOP-3.6.1-15-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

“The publication is part of the EFOP-3.6.1-15-2016-00011 “Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Szechenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.”

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczöni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármai Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

TISZTELT OLVASÓ!

A Miskolci Egyetem (ME) „*Fiatalodó és megújuló Egyetem - Innovatív Tudásváros, A Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése*” címet viselő programjában általános célként tűzte ki tevékenységének erőteljes innovációra és kooperációra való építését, a kiválóság fenntartásához kapcsolódó fókuszok kiemelését, hazai és nemzetközi versenyképességének és láthatóságának erősítését, kiemelt szerepet szánva a K+F+I tevékenységnek. Erre épülve a projekt stratégiai és átfogó célja: A ME hatékony bekapcsolása a Nemzeti Intelligens Szakosodási Stratégia megvalósításába, a kutatási feltételrendszerek- és kapacitások növelése.

A Miskolci Egyetemen a 4-es Kiválósági Központ keretében *Innovatív Járműmérnöki, Energetikai és Gépészeti Tervezés és Technológiák* címmel folynak kutatások. A központ célja a kutatási potenciál fejlesztése olyan kutatásokkal, amelyek innovatív modellezést, tervezést és technológiai folyamatokat valósítanak meg, összhangban az Európai Unió azon törekvésével, amely az innováció serkentésére, a leghatékonyabb környezetbarát technológiák alkalmazására és fejlesztésére irányul. A Kiválósági Központ szeretné az elért eredményeket továbbfejleszteni, újjal bővíteni.

A 2016-ban a Miskolci Egyetemen elindult járműmérnök képzés új kihívásokat teremtett. Az új doktoranduszok, akik részben a Stipendium Hungaricum keretében érkeztek hozzánk szintén lendületet adtak bizonyos területeken. Ezen új irányok és eredmények bemutatását kívánjuk ezzel a folyóirat-számmal megvalósítani.

A cikkek túlnyomó része a 4-es Kiválósági Központ Tudományos Műhelyeinek eredményei, aminek témakörei az Innovatív Járműmérnöki, Energetikai és Gépészeti Tervezés és Technológiák. A cikkek kapcsolódnak az Gépész-mérnöki és Informatikai Kar Intézeteihez.

A cikkekben ismertetett kutató munka túlnyomó részben az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

*Prof. Dr. Jármai Károly
a Kiválósági Központ vezetője,
a projekt szakmai vezetője*

A szerkesztésért felelős: Vesza József. A szerkesztőség címe: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Telefon/fax: 06-46/379-530, 06-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: 06-1/202-0656, fax: 06-1/202-0252, e-mail: a.gaby@gteportal.eu, internet: www.gteportal.eu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu>

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Igaz Jenő ügyvezető igazgató.

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

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

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

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

1. Bassel Alsalamah, Dr. László Kuzsella,
Dr. Zsolt Lukács: 7
FIZIKAI SZIMULÁCIÓ ÉS MATEMATIKAI
MODELLEZÉS A SICO-VIZSGÁLAT
KEMÉNYSÉGELOSZTÁSI FELTÉTELÉVEL
Lehülés során akkor keletkezik repedés mikor a hőmérsékletcsökkenésből eredő összehúzódás gátolva van és az így keletkező feszültségek nem tudnak kiegyenlítődni képlékeny alakváltozással. Ez a jelenség nagyon jól szimulálható GLEEBLE 3500 termomechanikus fizikai szimulátor segítségével. Szolidus hőmérséklet alatt végzett melegsakító, -nyomó vizsgálatok mellett, egy különleges alternatív célvizsgálattal, „alakváltozás okozta repedéskeletkezés vizsgálat” (SICO, Strain-Induced Crack Opening test) segítségével. Egy ilyen vizsgálatsorozatot mutat be a cikk.
2. Lucas Alexandre de Carvalho,
Jemal Ebrahim, Dr. Zsolt Lukács: 11
A NYOMÁS ÉS A SEBESSÉG FÜGGŐ
SÚRLÓDÁSI EGYÜTTHATÓ
FONTOSSÁGA A FÉM MEGMUNKÁLÁS
NUMERIKUS SZIMULÁLÁSÁBAN
Az AutoForm az egyik legelterjedtebben használt FEM programcsomag a fémlemez formázásban. A költséghatékony gyártási folyamatok kidolgozásához a lemezalakítás pontos szimulációjára van szükség. A fejlett súrlódási modellek beépítése javítja a pontosságot a lemezformázó végelem szimulációkban. Ez a tanulmány elemzi azokat a nyomás- és sebességfüggő súrlódási modelleket, amelyeket az AutoForm szoftver segítségével alkalmaztak a lemezalakítás szimulációjához.
3. Ahmad Yasser Dakhel, János Lukács: 15
SZÁLLÍTÓ CSŐVEZETÉKEK
TÖNKREMENTELI MÓDJAI ÉS
ANNAK KÖVETKEZMÉNYEI
A nagy távolságú olaj- és gázvezeték-meghibásodások tanulmányozásának eredményei elengedhetetlenek az ipar számára. Ezek jelenthetik a csővezeték-üzemeltetők kockázatelemzésének, integritása értékelésének és a menedzsment fejlesztésének alapját. A vezeték meghibásodási arányára, okaira, következményeire, hasonlóságaira és a csővezeték-menedzsment eltéréseire vonatkozó európai statisztikai eredmények elemzését és értékelését használták a vezeték fókuszpontjainak és hatékonyságának meghatározásához. Javaslatot tesznek a távolsági csővezeték-védelem technológiáira és kezelésére.
4. Ecsedi István, Baksa Attila,
Lengyel Ákos József, Gönczi Dávid: 19
INHOMOGÉN ÉS ANIZOTROP
PIEZOELEKTROMOS RÚD EGY
STATIKAI FELADATA
E tanulmány szerzői számos cikket publikáltak az utóbbi években a különböző inhomogén anyagú és anizotrop szerkezeti elemekkel kapcsolatban. Az ott alkalmazott matematikai és mechanikai módszerek szemléltetésére jelen tanulmányban inhomogén, orthotrop piezoelektromos ellipszis keresztmetszetű rúd Saint-Venant csavarási feladatának megoldását használják. E tanulmány a korábbi publikációk általánosításának tekinthető, orthotrop piezoelektromos ellipszis keresztmetszetű rúdra.
5. Kállai Viktória, Szepesi L. Gábor: 22
SZITATÁNYÉROS KOLONNA SZÁRAZ
TÁNYÉR ELLENÁLLÁSÁNAK
MEGHATÁROZÁSA
A tanulmányban egy adott geometriájú szitatányéros kolonna száraz tányér ellenállásának meghatározása történt számítással és CFD szimulációval különböző gázsebességek esetén. A számítások minden esetben túlbecsülik a nyomásesés értékét a szimulációhoz képest. Azon elméleti összefüggések, amelyek a tányér aktív felületét, illetve a lyukak felületét is figyelembe veszik a szimuláció eredményeihez közelebb eső értékeket adtak eredményül, de még így is kb. 20%-ra tehető a különbség a mért és szimulált értékek között.
6. Mikáczó Viktória, Siménfalvi Zoltán,
Szepesi L. Gábor: 26
LEFÚVÓVEZETÉK HATÁSA A REDUKÁLT
ROBBANÁSI NYOMÁSRA – ELMÉLETI
MODELLEK
A cikkben bemutatott számítási modellek és egyéb módszerek alkalmasságát a maximális redukált robbanási nyomás meghatározására a cikkek, tanulmányok, publikációk szerzői megfelelően alátámasztották munkájuk során. Legtöbbjük a megnövekedett redukált robbanási nyomás számítására alkalmas összefüggés, ám az NFPA 68 a szükség szerint megnövelt lefúvató felület számítására használatos összefüggéseket ad meg. A számítási modellek mindegyike alkalmas a lefúvóvezeték hatásának leírására.

7. Kriston J. Balázs, Dr. Jálics Károly: 31
MEGHIBÁSODÁSOK LOKALIZÁLÁSA VIBRO-
AKUSZTIKUS MÓDSZEREKKEL GÉPÉ-
SZETI SZERKEZETEK ESETÉN

A tanulmány fő célja összefoglalni és áttekinteni a korszerű monitorozási eljárásokat és a vibrációs és akusztikus jeleken alapuló diagnosztikai technikákat irodalmi források segítségével. A cikk gyakorlati példákon keresztül igyekszik szemléltetni az egyes módszerek alkalmazását, így hasznos lehet azok számára, akik meg akarják érteni, hogy milyen típusú hibákat lehet diagnosztizálni a vibro-akusztikus diagnosztikai rendszerek használatával.

8. Soltész László, Berényi László,
Kamondi László: 36
TERMÉKFEJLESZTÉSI PROJEKTEK:
ÉRINTETTEK PRIORITÁSAI A PROJEKT
ELFOGADÁSOKOR

A tanulmányban 112 termékfejlesztési szakértő kérdőíves megkérdezése alapján vizsgáljuk, hogy a projektsiker háromszöge (idő, költség specifikáció) hogyan jelenik meg a gondolkodásukban. Az eredmények jelentős különbségeket mutatnak. Habár a specifikáció mindenkinek a legfontosabb a projekt tervezésekor, az időközbeni változások hatására ez háttérbe szorulhat. A vizsgálatok legfontosabb tanulsága, hogy a prioritások megismerése a szervezetben belül hozzájárulhat egy olyan szabályozási és kommunikációs megoldás kidolgozásához, ami minimalizálja a konfliktusok hatását a projekt sikerére.

9. Kalmár László, Hegedűs György,
Fáy Árpád: 41
AXIÁLIS ÁTÖMLÉSŰ
SZIVATTYÚJÁRÓKERÉK AUTOMATIZÁLT
TERVEZÉSE

A cikk fő célja a kidolgozott AXPHD V2.0 számítógépes programcsomag bemutatása, ismertetve a rendelkezésre álló programmodulok jellemző tulajdonságait, összefoglalva az elért és fontosabbnak tartott eredményeket az axiális áramlású prototípus szivattyú tervezése során állítható lapátokkal.

10. Fodor Béla: 46
FORGÓ ÁRAMLÁSTECHNIKAI GÉPEK
NUMERIKUS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI
Ez a cikk a forgó áramlástechnikai berendezések numerikus teszteléséhez szorosan kapcsolódó általános szempontokat mutatja be, ahol röviden összefoglalja a legfontosabb feladatokat. Hangsúlyt helyeznek a vizsgálati módszer felépítésére, majd az egyes számítási modellek lehetőségeire.

11. Török Tamás István: 50
A KORRÓZIÓ ELLEN IS KELL
VÉDEKEZNI, ISMÉT BUDAPESTRE
JÖN AZ EUROCORN

A szabadtéri acélszerkezeteknél a megfelelő szerves felületbevonatokkal hatékonyan megakadályozható a korrózió, mely bevonatok fizikai akadályt jelenthetnek az agresszív környezet ellen, míg az acél alkatrészek és az acél vasbeton szerkezetek esetében, amelyek időnként érintkezésbe kerülnek vagy érintkezésbe kerülnek vizes elektrolitoldatokkal a korróziós támadást hatékonyan enyhíteni lehet a korróziógátlók ilyen technológiai vizekhez vagy betonhoz való keverésével is. Ez a cikk néhány esettanulmányt mutat be, hogy szemléltesse ezt a fontos kérdést.

12. Petrik Máté, Dr. Jármái Károly,
Dr. Szepesi L. Gábor: 53
IDŐBEN VÁLTOZÓ HŐÁTADÁS
NUMERIKUS ÉS ANALITIKUS
SZÁMÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

A hőátadási folyamatok két részre oszthatók, először átmeneti állapotra, majd a hőmérsékleti profil kialakult állandó állapotra. Ez a fajta átmeneti hőátadási jelenség például a hőkezelések során fordul elő, amikor az ipari berendezéseket működési hőmérsékletre melegítik, vagy akár a főzés is megemlíthető. A tanulmány célja ezeknek a hőátadási folyamatoknak az általános bemutatása, és olyan empirikus összefüggések ismertetése, amelyek felhasználhatók a hőmérséklet értékek időbeli függvényének előre történő meghatározására.

13. Szűcs Renáta, Dr. Jármái, Károly: 58
KÖLTSÉGOPTIMÁLT GÉPÉSZETI
TERVEZÉSI MÓDSZEREK

A költségoptimált tervezés egyre fontosabbá válik a tervezési követelmények között. A vállalatok versenyképessége nagymértékben függ a költségoptimált tervektől. Egy termék költsége jelentősen csökkenthető a tervezési szakaszban, cc. a költségek 70%-a a tervezési szakaszban dőlt el. Jelen tanulmányban a szerzők a tervezési szakaszban felhasználható, rendelkezésre álló költségoptimalizációs tervezési eszközök bemutatásával és ezen eszközök lehetséges fejlesztésével foglalkoznak.

14. Szűcs Renáta, Galambos József,
Dr. Jármái, Károly: 63
EMELŐASZTAL KÖLTSÉGOPTIMÁLT
TERVEZÉSE

A tervezési folyamat során különös figyelmet kell fordítani a felmerülő gyártási költségekre. Jelen tanulmányban a szerzők ollós emelőasztal szerkezetét elemzik költségoptimalizációs tervezési szempontból. Ezen elemzés révén meghatározzák az általános költségoptimalizációs tervezési szabályokat is. A bemutatott technika alapján kidolgozható lenne egy paraméteres modell meghatározása a költségoptimalizálás tervezéséhez.

15. Jemal Ebrahim Dessie, Lucas Alexandre de Carvalho, Dr. Zsolt Lukács: 67
A TISZTA ALUMÍNIUM AEROSOL ÜTŐ
EXTRUDÁLÁSSAL TÖRTÉNŐ GYÁRTÁSÁ-
NAK NUMERIKUS SZIMULÁLÁSA

Az ütő extrudálás a varrat nélküli aeroszolos flakonok legfőbb gyártási folyamata. A flakon vastagságának csökkentése és a mechanikai tulajdonságok csökkenésének kiküszöbölése a belső bevonat után kritikus probléma a jelenlegi aeroszolos flakonos iparágakban. A nagy szilárdságú alumíniumötvözet kiválasztásával lehetőség nyílik extrudálására inhomogén falvastagsággal, hogy vékonyabb és erősebb aeroszolos konzervdobozokat állítsunk elő. A Deform 2D FEM szoftver az inhomogén falvastagság modellezésére és szimulálására képes, ennek eredményeként hibamentes flakon vállat érhet el a nyak kialakító szakaszban.

16. Hazim Nasir Ghafil, Dr. Jármai Károly: 71
OPTIMÁLÓ ALGORITMUSOK ROBOTOK
INVERZ KINEMATIKÁJÁHOZ MATLAB
FORRÁSKÓDDAL

Ez a cikk módszertant mutat be az inverz kinematikai probléma megoldására bármilyen robotkarral optimáló algoritmusok felhasználásával. A direkt kinematika általában egyszerű elemzés minden robot számára, míg az inverz kinematika sok esetben nehezen megoldható. Ennek a módszertannak a bemutatására az 5DOF forgócsukló rész példáját alkalmaztuk, a forráskódot MATLAB-ban írva a célfüggvényhez. A cél minimálása érdekében a DDAO dinamikus differenciál optimáló algoritmust használtuk.

17. Alaa Al-Fatlawi, Dr. Jármai Károly,
Dr. Kovács György: 75
NAPELEMES SZENDVICS PANELEK
OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE MŰHOLDAS
ALKALMAZÁSOKHOZ

A cikk célja a napelemes szendvicspanelek optimális kialakításának méretezése mikroszatellit alkalmazásokhoz. A szendvicspanel alumínium méhsejt magból és alumínium anyagú lapokból áll. Ebben a tanulmányban bemutatják az alumínium lapokkal és méhsejt maggal ellátott szendvicspanel együttes súly- és / vagy költségoptimalásának módszertanát.

18. Chahboub Yassine, Dr. Szávai Szabolcs: 80
A BACK PROPAGATION MÓDSZER
ALKALMAZÁSA A GTN PARAMÉTEREK
MEGHATÁROZÁSÁBAN

A Gurson – Tvergaard – Needleman (GTN) modell egy hatékony megközelítés, amelyet laboratóriumi minták alapján a csővezetékek meghibásodásának előrejelzésére használnak. A GTN paraméterek egyértelmű meghatározásához sok idő szükséges. A GTN-paraméterek megtalálásának és az anyagok károsodásának előrejelzésére irányuló azonnali stratégia a megfelelő arány megtalálása a kísérleti és a végelem eredményei között.

19. Bolló Betti: 83
A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS SORÁN
ALKALMAZOTT KAVITÁCIÓS
ELJÁRÁSOK ÁTTEKINTÉSE

Ebben a tanulmányban különböző kavitációs eszközöket mutatunk be. Végül a tervezett Venturi csövön két-dimenziós numerikus szimulációkat vizsgáltak CFD számítások segítségével.

20. Kiss László Péter: 87
A TÁMASZ ELMOZDULÁSÁNAK ÉS
FORGÁSÁNAK HATÁSA GÖRBE RUDAK
STABILITÁSÁRA

A cikk célja annak feltárása, hogy a támasztási állapot apró hiányossága hogyan befolyásolhatja a körívek megengedett terhelését, hogy megakadályozza a kihajlást. Az egydimenziós tartó modell az egyrétegű Euler-Bernoulli elméleten alapszik. A statikus egyensúlyi egyenleteket a virtuális munka elvéből nyerjük. Az eredmény grafikusán kerül ábrázolásra.

21. Fiák Lilla, Dr. Bencs Péter: 90
NAPELEM, MINT A JÖVŐ ÚTTÖRŐJE

A napelemek piaca a hetvenes évek közepéig nem volt hozzáférhető a magánszemélyek számára, de ma már széles körben elterjedt és gyakorlatilag bárki számára elérhető. Számos napelemes alkalmazásról tudunk ma, mégis ezek csak a világ energiaellátásának néhány százalékát tudják fedezni. Képesek lesznek a jövőben szélesebb körben elterjedni a világpiacon, és nagyobb szerepet játszhatnak az energiaigények kielégítésében? A cikk kiemeli a kérdés megválaszolásához szükséges kulcsfontosságú témákat, például az újrahasznosíthatóság vagy az ár kérdését.

Ezúton köszönjük mindazon bírálók segítségét, akik részt vettek a folyóirat aktuális cikkeinek szakmai véleményezésében.

Bolló Betti, Bencs Péter, Czégé Levente, Cservenák Ákos, Demjén Ferenc, Dömötör Ferenc, Fortuna László, Gáspár Marcell, Jármai Károly, Joó Gyula, Kalmár László, Kántor Péter, Kiss László, Kovács György, Kovács Péter Zoltán, Kozsely Gábor, Kullmann László, Lukács Zsolt, Madácsi Attila, Mankovics Tamás, Marosné Berkes Mária, Nagy Szilárd, Orbán Ferenc, Spisák Bernadett, Szabó J. Ferenc, Szabó Szilárd, Szamosi Zoltán, Szilágyi Attila, Takács Ágnes, Telegdi Judit, Timár Imre, Váradi Károly, Venczel Gábor, Virág Zoltán

FIZIKAI SZIMULÁCIÓ ÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉS A SICO-VIZSGÁLAT KEMÉNYSÉGELOSZTÁSI FELTÉTELELÉVEL

PHYSICAL SIMULATION AND MATHEMATICAL MODELIZATION WITH HARDNESS DISTRIBUTION MAPPING OF SICO TEST

*Bassel Alsalamah** *Dr. László Kuzsella**^a* *Dr. Zsolt Lukács**^b*

ABSTRACT

Hot cracks occur when thermal shrinkage, along with restraint-induced deformation, cannot be accommodated by plastic deformation. That usually happens during welding to some alloys, which segregate on heating and cooling at near-solidus temperatures. When low-melting and mechanically weak phases form and occur over a wide range of temperatures, this is significant. Hot tensile testing can be used in conjunction with a thermal cycle resembling that of real welding to inspect for susceptibility to liquation cracking caused by the low-melting, weak phases. This procedure can be performed on a thermal-mechanical simulator using GLEEBLE 3500; It involves the tensile testing and determination of the hot strength and ductility of many cylindrical samples at temperatures below solidus. The Strain- Induced Crack Opening (SICO) test is an alternative to the hot tensile test during the simulated welding period.

1. INTRODUCTION

The GLEEBLE 3500 is a modern physical simulator; more precisely, it is a multifunction thermo-mechanical system experimental series. GLEEBLE is able to simulate a wide range of processes in real-time [1].

The material used is ZF50 unalloyed structural steel from which I use chemically tested cylindrical specimens to perform a cracking deformation test. The GLEEBLE 3500 heats the specimen and then compressed on elevated temperature. The cross-section of the volume fraction subjected to deformation increases considerably as a consequence of the sealing. Using DEFORM (FEM) finite element software, the test is modelled and analyzed.

2. PRESENTATION OF GLEEBLE 3500 AND THE SICO TEST DESCRIPTION

Physical simulation of material treatment processes means modelling in laboratory conditions that accurately replicates the thermal and mechanical processes which reach the material during actual phenomena. By establishing the conditions of final use, the material or structure's behaviour can be investigated, and the effects can be analyzed.

At the University of Miskolc, Institute of Materials Science and Technologies exists the GLEEBLE 3500 which is a fully integrated, digitally controlled

thermomechanical testing scheme with Windows-based software computer support that allows extensive thermo-mechanical simulation and testing.

The GLEEBLE can be divided into three main units: mechanical, thermal unit and digital control system.

When a simulation or a scan takes place, the results are automatically inserted into the Origin software, which is a part of a compelling and flexible data analysis platform that comes with GLEEBLE 3500. Origin offers numerous built-in math functions for data analysis and includes the LabTalk coding language that can be used to evaluate and process comparative, comprehensive simulations and test data [2].



Fig. 1. GLEEBLE 3500 thermomechanical simulator

3. SICO TEST

The cracking caused by the deformation called SICO test is used to test materials that are susceptible to crack during hot forming. The experiment can be divided into two phases, heat resistance to the coveted temperature of the material, and compression of the material to the fracture initiation [3].

In the test, the heated sample is released using the GLEEBLE system. Consequently, the diameter of the workpiece increases in the center, and in the part of the deformation, a so-called dud is formed on which the cracks appear [4, 5].



Fig. 2. the SICO test specimen demonstrates the crack formation

The experiment is done on the GLEEBLE 3500 system at the Institute of Materials Science and Technology at the University of Miskolc; the physical simulation is called the SICO test. During the experiment, the

* PhD Student, University of Miskolc, Hungary, Institute of Materials Science & Technology

**^a Associate Professor, University of Miskolc, Hungary, Institute of Materials Science & Technology

**^b Associate Professor, University of Miskolc, Hungary, Institute of Materials Science & Technology

workpiece is heated up and then installed in the GLEEBLE. The tested material is ZF50, the exact dimensions of which are as follows:

- 85 (+ 0.2) mm long
- 10 (+ 0.2) mm in diameter.



Fig. 3. Test specimens after a SICO test

The specimen is heated to 1150 °C by resistance heating, then cooled to 950 °C and 23-25 kN compression at 13 mm / s deformation speed. The size of the seal is 13 mm. At the end of the experiment, the data obtained using thermocouples are evaluated [6].

4. RESULTS

For symmetrical purposes, on the specimen's longitudinal axis, only four pairs of thermocouples were welded at 3 mm apart from the 25 mm section between the jaws only on the 12.5 mm section. Consequently, the positions of the thermocouples TC1, TC2, TC3, and TC4 were placed at a distance of 0 – 3 – 6 and 9 mm from the midpoint. Also displayed in Figure 4 The data collected by the machine was then evaluated by using ORIGIN 8.5 software. In the four tests, the temperatures measured by the four thermocouples shown as a function of time [8, 9].

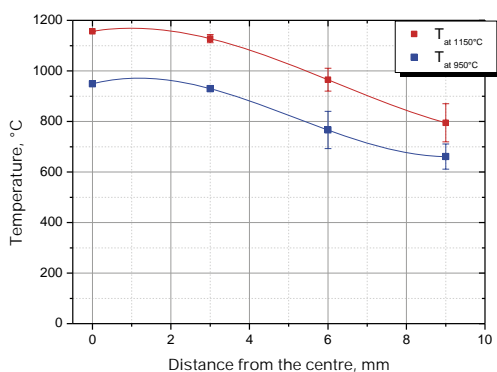


Fig. 4. Temperature determined by thermocouples along the longitudinal axis of the specimen at four positions at 1150 °C and 950 °C

In the diagram, at each distance, the red curve indicates the maximum of 1150 °C, while the blue curve indicates

the average of the temperatures measured at the start of the test.

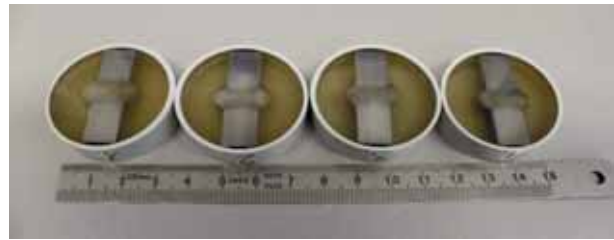


Fig. 5. Test specimens are embedded after etching, prepared for structural testing

I tested the hardness with an MVK tester of hardness (1 kg load) HV1. Performing the test, a 136 ° angle diamond was pressed into the specimen in the same way as in the Brinell. The square-shaped pyramid leaves a trace on the test piece's surface, so it is measured off the diagonal, and then determined by the Vickers hardness. During the measurement of hardness, the distance between the lines is 2 mm; the distance between the columns is 1.5 mm depending on the target's location [7].

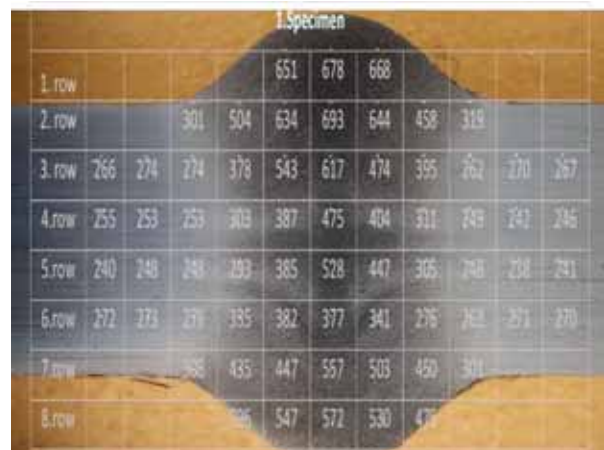


Fig. 6. the hardness result values for the specimen 1

Each hardness value can be obtained in accordance with their exact position a three-dimensional hardness map that can be used to detect hardness distribution on the cross-section examined, that is in the specimen's center. The three hardness distribution maps corresponding to the three samples are shown in Figure 7.

The hardness distribution for 1st and 2nd are almost the same. However, in the last case, morphology is similar, but in this case, there are more hardness values along the symmetry axis than in the first two cases.

In the case of SICO 3, the thermocouple of the TC2 and TC3 are detached, and afterwards, the results cannot be counted, so I neglected these results not to affect the successful experiments.

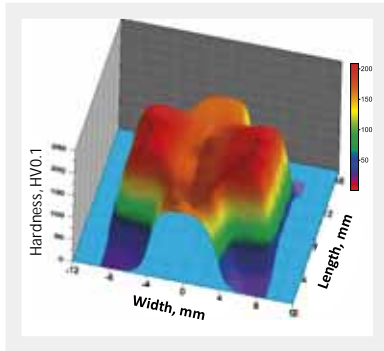


Fig. 7. a) SICO 1

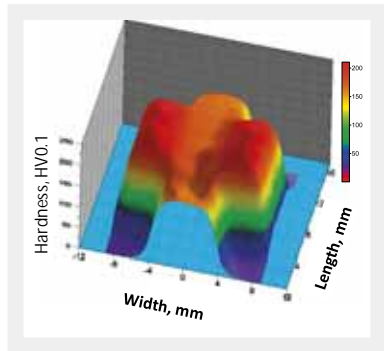


Fig. 7. b) SICO 2

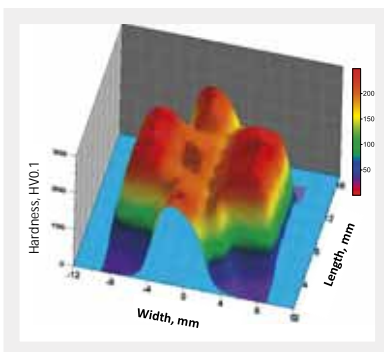


Fig. 7. c) SICO 4

Fig. 7. (a,b and c) Hardness distribution maps of the test pieces

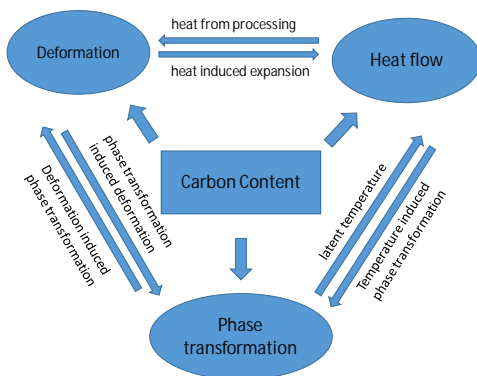


Fig. 8. The logical structure of DEFORM [10]

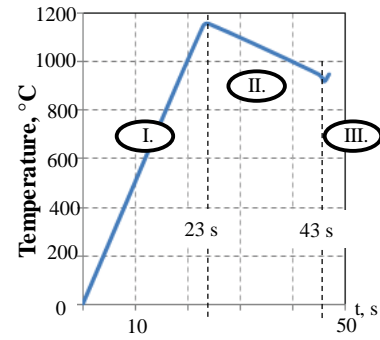


Fig. 9. The stages of modelling as a function of time

5. THE DEFORM NUMERICAL MODELING OF SICO TEST

I defined the three processes by Roman numbers. First, the heating cycle was modelled (I) at 1150 ° C using thermocouple number 1. My aim is that I approach the field of inhomogeneous temperature created by the GLEEBLE system in the workpiece as much as I can during this step of modelling, as shown in Figure 9.

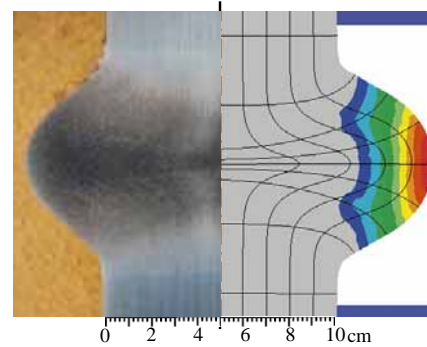


Figure. 10. Comparison of the post-formation thread run

In Figure 10 above, we can see that the right and the left material flow lines show a good match on the basis of a geometric comparison.

Overall, it can be stated that if the measured and calculated results are compared in a number of respects, then many results variables in numerical modelling are likely to give good results to the process.

6. CONCLUSION

- Physical simulation and mathematical modelling of the SICO (Strain-Induced Crack Opening) test on ZF50 steel grade were carried out in my dissertation, and the results obtained were validated.
- I conducted a short heat treatment period on the GLEEBLE device after the cylindrical specimens made of ZF 50 steel were prepared,

and four thermocouples were welded, heating up with DC current until 1150 °C keep for 2 seconds, then it cools down to 950 °C, which is the experiment's temperature when we apply the compression.

- THE DEFORM FEM program was used for the mathematical modelization of temperature's distribution which has empirical models, so the result we have is extremely close to the real phenomena. That is why we chose it during my dissertation work.
- As for validation, I chose parameters that can be measured in both processes. These two parameters were temperature distribution all along the specimens and grain orientation after deformation.

REFERENCES

- [1] LUKÁCS J., NAGY GY., HARMATI I., KORITÁRNÉ F. R., KUZSELLA LÁSZLÓNÉ K. ZS.: Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből, Miskolci Egyetem, Miskolc 2012., 210-218.
- [2] <http://www.muszeroldal.hu/news2/Fizikai%20s%20zimu%20a%20Miskolci%20Egyetemen.pdf?type=INFOM>
- [3] Adonyi Y.: Heat-Affected Zone Characterization by Physical Simulations, Welding Journal (October 2006) p. 42-47.
- [4] R. Kuziak, M. Pietrzyk, Interpretation of SICO Test, Iron and Steelmaker, 2002, 39-44, E. Oñate and D. R. J. Owen (Eds) □ CIMNE, Barcelona, 2005.
- [5] Testing for Susceptibility to Hot Cracking on Gleeble™ Physical Simulator S.T. Mandziej DUNAÚJVÁROS REGIONAL MATERIAL SCIENCE AND RESEARCH KNOWLEDGE CENTER DURATT 25-DRTT/2009 — Irt.: 2009/10/1 15th February, 2009, Dunaújváros
- [6] R. Kuziak, M. Pietrzyk, Interpretation of SICO Test for Rod Steels
- [7] Cseh-Bognár Sándor METALLOGRÁFIAI VIZSGÁLATOK, 2012 JANUÁR
- [8] Dr. Tisza Miklós, Kovács Péter Zoltán, Lukács Zsolt: Számítógépes technológiatervező rendszerek folyamatmodellezése Oktatási segédlet, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2010, Lukács Zsolt: Integrált tervező rendszerek II.
- [9] SZABÓ JÁNOS Szálfutás elemzése kardánperem előgyártmány süllyesztékes kovácsolási technológiájánál, 2014. május 5.
- [10] Jeffrey Fluhrer DEFORM TM 2D Version 8.1 User's Manual.

A NYOMÁS ÉS A SEBESSÉG FÜGGŐ SÚRLÓDÁSI EGYÜTTHATÓ FONTOSSÁGA A FÉM MEGMUNKÁLÁS NUMERIKUS SZIMULÁCIÓJÁBAN

THE IMPORTANCE OF PRESSURE AND VELOCITY DEPENDENT FRICTION COEFFICIENT IN THE METAL FORMING NUMERICAL SIMULATION

*Lucas Alexandre de Carvalho**, *Jemal Ebrahim**, *Dr. Zsolt Lukács***

ABSTRACT

Sheet metal forming is largely applied on the automotive industry which is very responsible for the development of the sheet-metal-forming technologies. The AutoForm is among the most widely used FEM packages in sheet metal forming. Accurate simulations of the sheet metal forming are needed for developing cost effective production processes. The incorporation of advanced friction models provide improved accuracy in sheet metal forming finite element simulations. This study analyses the pressure and velocity dependent friction models applied to the simulation of sheet metal forming by the software AutoForm.

1. INTRODUCTION

The relevance of studying the metal forming processes can be justified due to its importance in the manufacturing of metal components, which are usually submitted to these processes in one or more stages. Metal forming processes are mechanical processes, in which the applied stresses are generally lower than the material's ultimate tensile strength. The process of forming the metallic components can be defined as the process of modifying the shape of a metallic part into another desired shape. The metal forming process is already among the most energy-efficient production processes, considering the low waste of material [1], [2].

Currently, in metal forming processes, lubricants are applied to reduce friction between workpiece and forming tools, to protect semi-finished products and goods against corrosion and to reduce tool load [1]. The lubrication is usually needed due to the high interaction of the involved parts, material and tool. In this context, the tribology becomes a very important topic for the study of metal forming processes. Sheet metal forming is one of the most important manufacturing processes. This affirmative is especially valid for the automotive industry in which the sheet metal forming has high importance. Furthermore, the automotive industry is a very important sector in many economies and the main developer of the sheet-metal-forming technologies as well [4].

The competition in car manufacturing industry requires to optimize the lead times from the concept to final product reducing the lead times and inevitably applying various methods of Computer Aided Engineering as

CAD, CAM, CAE and FEM techniques. The two most widely used FEM packages in sheet metal forming are PAM-STAMP, a product of ESI Group in France, and AutoForm, a product of AutoForm Company with its headquarter in Zürich, Switzerland. Accurate simulations of the sheet metal forming are needed for developing cost effective production processes. The effectiveness increases on these processes when providing shorter development time, reducing material scrap and providing a significant contribution to the current efforts of the industry to reduce the environmental impact in industrial processes [2]–[4].

The incorporation of advanced friction models and advanced material models provide improved accuracy in sheet metal forming finite element simulations [3]. The present study has the aim to discuss the well-known Coulomb's law to describe friction conditions between surfaces and the influence of pressure and velocity dependent coefficients of friction. The analysed equations are applied on the simulation of sheet metal forming by the software AutoForm to describe friction.

2. FRICTION MODELS

2.1. The Coulomb's Law

The Coulomb friction model, also called Amontons–Coulomb friction model, makes reference to the work done by Guillaume Amontons (1699) and Charles Augustin de Coulomb (1785). With respect to the static friction provided by Moring (1833), the Coulomb friction is also known as the dynamic friction [5]. The Coulomb friction law states a proportional relation between the friction shear stress τ_R and the effective normal stresses σ_N in the contact area, with μ as the friction coefficient, as shown in the Equation 1 [6].

$$\tau_R = \mu * \sigma_N \quad (1)$$

Based on the scheme shown in Figure 1, the friction coefficient is calculated using the Equation 2 [6].

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad (2)$$

* PhD student, Miskolci Egyetem, István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering Sciences

** Associate Professor, Miskolci Egyetem, István Sályi Doctoral School of Mechanical Engineering Sciences

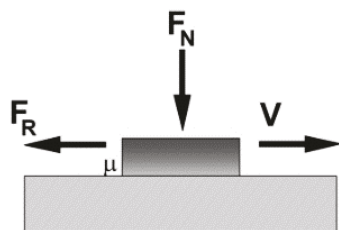


Fig. 1. Friction coefficient draft. [6]

However, the Coulomb friction law is only applicable when the increasing of true contact area is proportional to the normal force. Therefore, this relation can only be observed for relatively small normal forces. The Coulomb model is only an approximation of the real friction behaviour. The coefficient of friction is not constant in reality, but it can be dependent of multiple factors [6].

2.1. Pressure dependent friction

Measurements of the coefficient of friction [6] have shown that it depends in particular on the contact pressure. The Figure 2 show the dependency of the friction coefficient μ on the normal contact pressure.

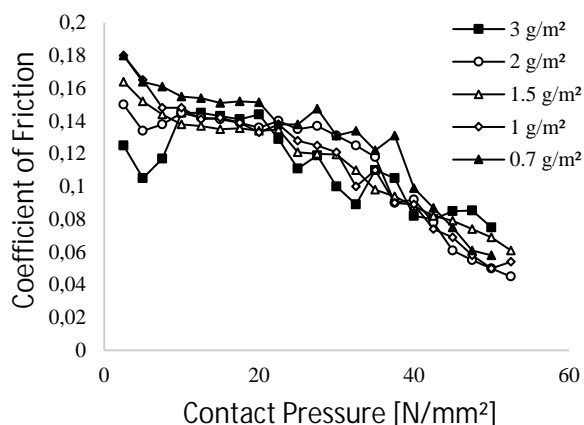


Fig. 2. Measurement of the dependency of the coefficient of friction μ versus contact pressure for different lubrications[6].

The contact pressure is one of the most important parameters that affect the coefficient of friction and can be considered in macro and micro scales. As the contact pressure increases, the topography of the surface in contact is submitted to flattening of each asperity. For these reasons the contact geometry changes generating a change on the coefficient of friction. For the sheet metal forming it an important effect to be considered since the contact pressure applied to the sheet will increase as the flange area decreases when the material flows to the cavity of the die. The heterogeneous contact pressure

distribution can be also found because the thickness can change differently in different areas of the sheet during the flow of the material [6]–[8]. The effective coefficient of friction can then be expressed as a function of pressure on the Equation 3 [6], where the p_{ref} is the reference pressure, e is pressure exponent.

$$\mu_{eff} = \mu \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^{(e-1)} \quad (3)$$

These parameters can be specified within the ranges: $p_{ref} > 0$ and $0.5 \leq e \leq 1$.

2.1. Velocity dependent friction

The velocity dependent friction model takes in consideration the decrease of friction coefficient due to the increase of the relative velocity between the tool and sheet. The effective coefficient of friction μ_{eff} is calculated according to the Equation 4 [6].

$$\mu_{eff} = \mu \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^{(e-1)} - a \ln \left(\frac{\max v_{rel}, v_{ref}}{v_{ref}} \right) \quad (4)$$

For this approach it is considered that if the relative velocity is smaller than the reference velocity, the effective friction coefficient is equal to the base friction coefficient μ . The friction model also establishes a positive value for the effective friction coefficient μ_{eff} .

3. INPUT PARAMETERS

To analyse the described parameters of the pressure and velocity dependent friction models it was chosen 3 different values for the pressure exponent, reference pressure, velocity exponent and reference velocity, as shown in the Tables 1, 2, 3 and 4.

Table 1. Pressure dependent friction parameters (pressure exponent).

Parameters	Values
μ	0.15
$p_{ref} [N/mm^2]$	3
$p [N/mm^2]$	$0 < p \leq 50$
e	0.6 0.8 1

Table 2. Pressure dependent friction parameters (reference pressure).

Parameters	Values
μ	0.15
$p_{ref} [N/mm^2]$	3 4 5
$p [N/mm^2]$	$0 < p \leq 50$
e	0.8

Table 3. Velocity dependent friction parameters (velocity factor).

Parameters	Values
μ	0.15
$p_{ref} [N/mm^2]$	3
$p [N/mm^2]$	10
e	0.8
a	0.2 0.4 0.6
$v_{rel} [mm/sec]$	$0 < v_{rel} \leq 100$
$v_{ref} [mm/sec]$	10

Table 4. Velocity dependent friction parameters (reference velocity).

Parameters	Values
μ	0.15
$p_{ref} [N/mm^2]$	3
$p [N/mm^2]$	10
e	0.8
a	0.6
$v_{rel} [mm/sec]$	$0 < v_{rel} \leq 100$
$v_{ref} [mm/sec]$	10 20 30

With the objective to identify the influence of each selected parameter on the behaviour of the coefficient of friction curve, the parameters were standardized and only the analysed ones (pressure exponent, pressure reference and velocity exponent) were modified for each study.

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

The first analyse of the pressure dependent friction, the values of each parameter shown on the Table 1 were inserted on the Equation 3, and the results are shown in the Figure 3.

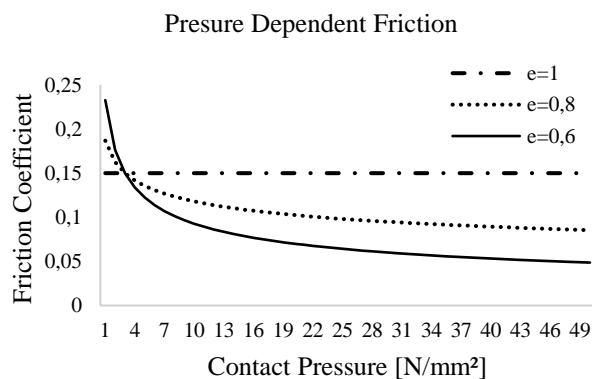


Fig. 3. Pressure dependent friction curves for different exponent pressures.

By the analyse of the exponent pressure (e) parameter we can see that when selecting e equal to 1 the friction coefficient will be independent of the contact pressure, following the value of the Coulomb's friction (μ) inserted in equation. Furthermore, decreasing the values of e the

curve will increase its distance from the Coulomb's friction, assuming lower values by the increasing of the contact pressure. This behaviour is expected and previously discussed by [6]–[8]. It is also relevant to highlight the fact that all 3 curves have an intersection on the point (3;0,15). This point of intersection represents the Coulomb's friction value for the y-axis and the reference pressure (p_{ref}) for the x-axis.

For the second analyse of the pressure dependent friction, the values of each parameter shown on the Table 2 were inserted on the Equation 3. On the Figure 4 it can be seen that the variation of the p_{ref} don't change the tendency of the curve but causes its dislocation. By increasing the p_{ref} the curve dislocated to the right as a consequence of the point previously discussed by keeping the Coulomb's friction value equal to 0.15 and increasing the p_{ref} values.

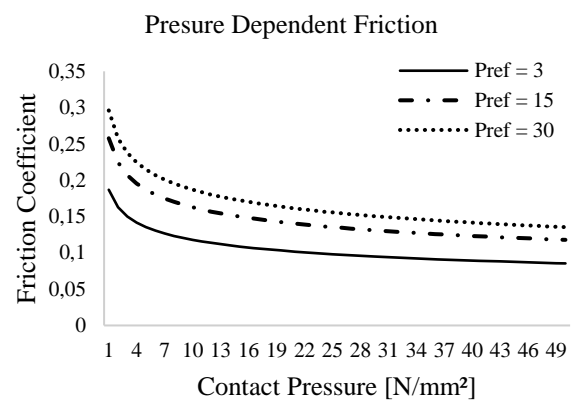


Fig. 4. Pressure dependent friction curves for different reference pressures.

The Figure 5 shows the analyse of the velocity dependent friction, Equation 4. This analyse consist in the variation of the velocity factor as shown on the Table 3.

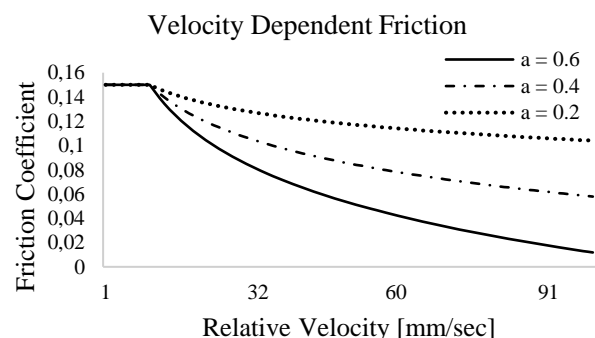


Fig. 5. Velocity dependent friction curves for different velocity factors.

The curve of the velocity dependent friction can be divided in two different parts. The first part consists in a flat behaviour, parallel to the y-axis. This part of the

curve is characterized by reference velocity values higher than the relative velocity ($v_{ref} > v_{rel}$). It will result in a $\ln(l)=0$, what will make the curve independent of the imputed values of velocity factors (a). It can be seen that at this part of the chart all three curves have the same values independent of the relative velocity and equal to the Coulomb's friction value (0.15). However, for the second part of the curve ($v_{ref} < v_{rel}$) higher values of a resulted in lower friction coefficients.

The final analyse of friction models is shown in the Figure 6, as a result of the variation of the reference velocity. For this analyse the parameters of the Table 4 were inserted in the Equation 4.

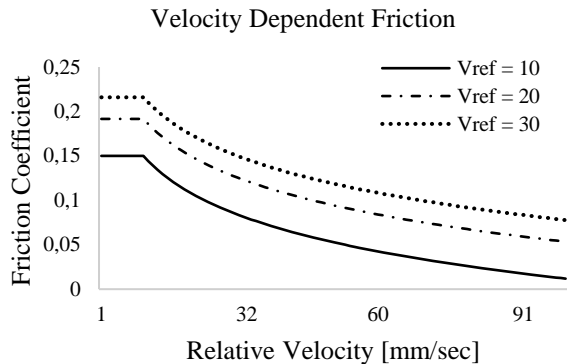


Fig. 6. Velocity dependent friction curves for different reference velocities.

It can be seen that for different values of reference pressure (v_{ref}) in the first part of the curves the friction coefficient was also independent of the relative velocity but not equal to Coulomb's friction. For both parts of the curves, it is observed higher values of friction coefficients for higher v_{ref} .

5. CONCLUSIONS

All four analysed parameters have shown an important role on improving the accuracy of friction models. It can be also seen that the selection of the best model provided by the software AutoForm (pressure or velocity dependent) will lean on the influence of the imputed parameters to be made. The Coulomb's friction model is, beyond a base of friction models, a good start point for the comparison and understanding of different friction models.

6. REFERENCES

- [1] F. Vollertsen and F. Schmidt, 'Dry Metal Forming : Definition , Chances and Challenges', vol. 1, no. 1, pp. 59–62, 2014, doi: 10.1007/s40684-014-0009-0.
- [2] M. Tisza, Z. Lukács, P. Kovács, and D. Budai, 'Some recent developments in sheet metal

forming for production of lightweight automotive parts', 2017.

- [3] M. Sigvant *et al.*, 'Friction in sheet metal forming: influence of surface roughness and strain rate on sheet metal forming simulation results', *Procedia Manuf.*, vol. 29, pp. 512–519, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.169.
- [4] M. Tisza, 'Recent development trends in sheet metal forming', no. January 2013, 2014, doi: 10.1504/IJMMP.2013.052651.
- [5] Y. F. Liu, J. Li, Z. M. Zhang, X. H. Hu, and W. J. Zhang, 'Experimental comparison of five friction models on the same test-bed of the micro stick-slip motion system', *Mech. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–28, 2015, doi: 10.5194/ms-6-15-2015.
- [6] AutoForm Engineering GmbH, 'Friction - Software Manual', 2020. [Online]. Available: file:///C:/Program Files/AutoForm/AFplus/R8F/help/EN/Friction.html 3/4. [Accessed: 19-Nov-2020].
- [7] I. Gil, J. Mendiguren, L. Galdos, E. Mugarra, and E. Saenz de Argandoña, 'Influence of the pressure dependent coefficient of friction on deep drawing springback predictions', *Tribol. Int.*, vol. 103, pp. 266–273, 2016, doi: 10.1016/j.triboint.2016.07.004.
- [8] Y. S. Kim, M. K. Jain, and D. R. Metzger, 'Determination of pressure-dependent friction coefficient from draw-bend test and its application to cup drawing', *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 56, pp. 69–78, 2012, doi: 10.1016/j.ijmactools.2011.12.011.

SZÁLLÍTÓ CSŐVEZETÉKEK TÖNKREMENTETELI MÓDJAI ÉS ANNAK KÖVETKEZMÉNYEI

FAILURE STATISTICS OF TRANSPORTING PIPELINES AND THEIR CONSEQUENCES

Ahmad Yasser Dakhel*, Janos Lukacs**

ABSTRACT

The findings of the study of long-distance oil and gas pipeline failures are essential for the industry. They can be the basis for pipeline operators' risk analysis, integrity evaluation, and management improvement. Analysis and evaluation of Europe's statistical findings on pipeline failure rates, causes, effects, similarities, and discrepancies in pipeline management were used to define management's focal points and effectiveness. Suggestions on technologies and management for long-distance pipeline protection are proposed.

1. INTRODUCTION

When we talk about the transporting pipelines, it is essential to maintain high-pressure oil and gas pipeline systems safety because the products are dangerous. Perhaps, it will cause fire, explosion or poisoning and lead to substantial economic losses, casualties and environmental pollution. Pipeline operators collect and review the failure data and recognize the critical detection of pipeline risk, integrity evaluation, risk reduction and accident avoidance [1]-[3]. During this paper, the statistical results of European pipeline failures, causes, and consequences will be analysed. The similarity and the differences of pipeline managements will be studied, too.

2. EXAMPLES OF OCCURRED FAILURES

2.1. Pipeline Accident in California [4]

A pipeline owned and run by the Pacific Gas and Electric Company (PG&E) broke down in a residential area in California on September 9, 2010 (Figure 1). The ruptured section was installed with a 30-inch (0.762 m) diameter. A crater about 21.9456 m long by 7.9248 m wide was formed by the rupture. The ruptured pipe part, about 8.5344 m long and weighing about 3,000 pounds

(1360.777 kg), was located 30.48 m to the south of the crater.

PG&E has projected the release of 47.6 million standard cubic feet (1347881.8978 m³) of natural gas. The natural gas released ignited, leading to a fire that destroyed 38 homes and damaged 70. Eight people died, and dozens were wounded.



Figure 1. Pipeline Accident in California [4]

2.2. Pipeline Accident in West Virginia [5]

The 11th of December, 2012 a buried 20-inch-diameter (0.508 m) interstate pipeline, owned and operated by Columbia Gas Transmission Corporation (Columbia Gas), ruptured in West Virginia, a sparsely populated region (Figure 2). Just before the rupture, the pipeline was running at around 929 pounds per square inch (6.405e+6 pascal). The pipe was expelled from the underground pipeline by about 6.096 m and landed more than 12.192 m away.

* PhD student, Miskolci Egyetem

** Full Professor, Miskolci Egyetem



Figure 2. Pipeline Accident in West Virginia [5]

2.3. Pipeline Accident in New Mexico [6]

A 30-inch-diameter natural gas transmission pipeline owned by the El Paso Natural Gas Corporation broke down in New Mexico on Saturday, August 19, 2000 (Figure 3). It released the inflamed gas and burned it for 55 minutes. Twelve people who were camping under a concrete-decked steel bridge supporting the river pipeline were killed and their three vehicles were burned.



Figure 3. Pipeline Accident in New Mexico [6]

3. ANALYZING AND CONTRASTING

Failure statistical results of European Gas pipeline Incident data Group (EGIG) in Europe on long-distance pipeline failure frequencies, causes, and consequences are comparatively analysed the pipeline types that the analysis involves in our case Natural Gas [7].

The overall length of the EGIG gas pipeline will be 144,000 km until 2016. In order to show the safety performance of the European gas transmission network

to the general public and authorities, the goal of EGIG is to collect and present data on gas loss incidents.

The conditions required to be reported in the EGIG database for an incident are the following:

- An event could result in an accidental release of gas.
- The pipeline must meet the conditions set out below:
 - a. to be built of steel
 - b. being onshore,
 - c. have an operating maximum pressure greater than 15 bar,
 - d. to be placed outside the fences of the gas stations.

3.1. Failure Frequency

Figure 4 illustrates the decreasing failure frequencies per cause over the years, between 1974 and 2016. The decrease may be explained by technological developments, such as welding, inspection, condition monitoring using in-line inspection and improved procedures for damage prevention and detection. Improvements in the prevention of external interference incidents may be explained by more stringent enforcement of land use planning and the application of one-call systems for the digging activities of external parties. (Figure 4) In several countries, there is now a legal requirement to report digging activities. Companies have adopted appropriate actions, like supervision or marking of the pipeline in the direct neighbourhood of the digging activities.



Figure 4. Failure frequencies of different causes by EGIG [7]

To demonstrate failure frequencies over a more recent period (Table 1) in addition to the frequencies for the whole period, frequencies over a time span of the last 5, 10 and 20 years. As far as the cause external interference is concerned, its associated primary failure frequency over the five-year moving average has levelled off at around 0.03 per 1,000 km*yr.

Table 1. Primary failure frequencies of different causes by EGIG [7]

Cause	Primary failure frequency			
	1970-2016 per 1,000 km yr	1997-2016 per 1,000 km yr	2007-2016 per 1,000 km yr	2012-2016 per 1,000 km yr
External interference	0.144	0.064	0.043	0.032
Corrosion	0.052	0.034	0.037	0.027
Construction defect / Material failure	0.051	0.022	0.027	0.021
Hot tap made by error	0.014	0.006	0.006	0.003
Ground movement	0.026	0.023	0.022	0.031

Figure 5 and Figure 6 show the failure frequency per leak size and per-incident cause for period 1970-2016 and 2007-2016, respectively.

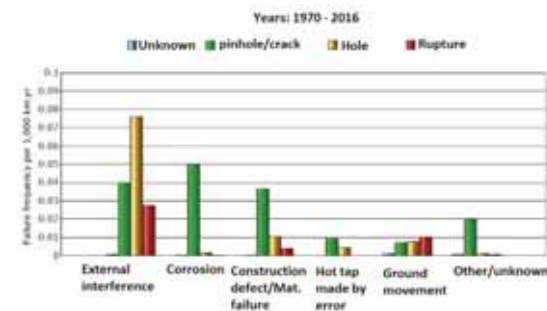


Figure 5. Relationship primary failure frequency, cause, and size of leak (1970-2016) [7]

Table 2. Failure frequency, cause and size of leak (2007-2016)

Leak size	Failure frequency per 1,000 km-year					
	External interference	Corrosion	Construction defect / Mat. Failure	Hot tap made by error	Ground movement	Other and unknown
Rupture	0.0058	0.0000	0.0022	0.0000	0.0065	0.0007
Hole	0.0195	0.0007	0.0014	0.0014	0.0079	0.0014
Pinhole/crack	0.0166	0.0353	0.0224	0.0043	0.0065	0.0123
Unknown	0.0007	0.0014	0.0007	0.0000	0.0014	0.0007

3.2. Failure Causes

External interference, corrosion, and design defects/material failure are the leading three causes of gas pipeline failures in EGIG.

In Figure 7 the incident distribution per cause over the last 10 years is given. Corrosion and external interference incidents occurred in about the same rate. However, corrosion incidents tend to have smaller leak sizes.

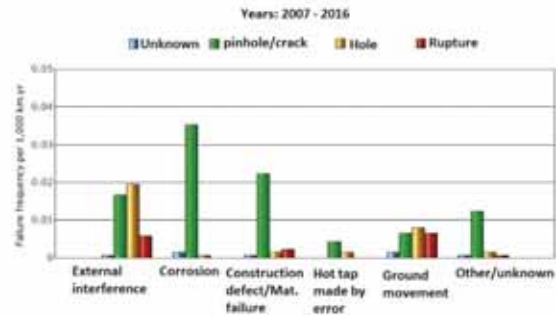


Figure 6. Relationship primary failure frequency, cause and size of leak (2007-2016) [7]

The data for the period 2007-2016 were summarized in Table 2. Although the failure frequency decreased over the years, the general trend in the distribution of the leak sizes remain the same: holes and ruptures were mainly caused by external interference. For pinhole/crack leak sizes, corrosion remains the main cause.

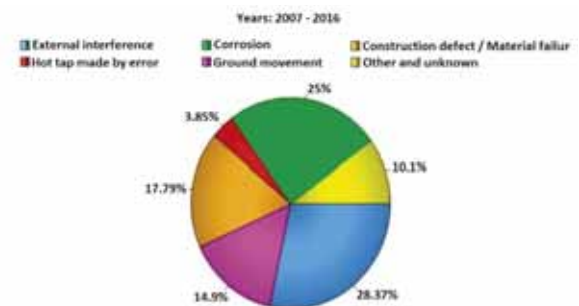


Figure 7. Failure causes by EGIG [7]

3.3. Failure Consequences

Figure 8 shows that gas releases from large diameter pipeline ruptures at high pressure have ignited more frequently than smaller diameter pipeline ruptures at lower pressure. This data is based on only a few ruptures. Care should be taken when using it as an ignition probability, as the uncertainty is high.

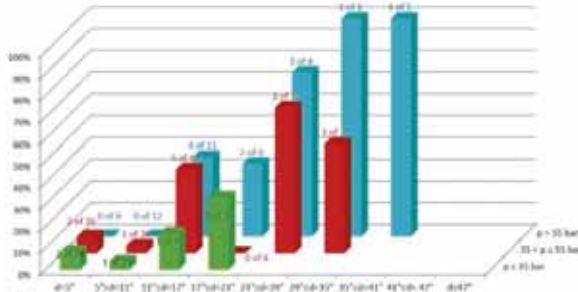


Figure 8. Percentages of ruptures that ignited subdivided in diameter and pressure (1970-2016) [7]

In the paper [8] an analysis is made of ignition probabilities. This paper shows that even ruptures of large diameter pipelines and high pressure not always ignite.

EGIG database also registers qualitative information about the consequences of incidents, amongst other injuries and fatalities that, unfortunately, occurred in some of them (Figure 9).

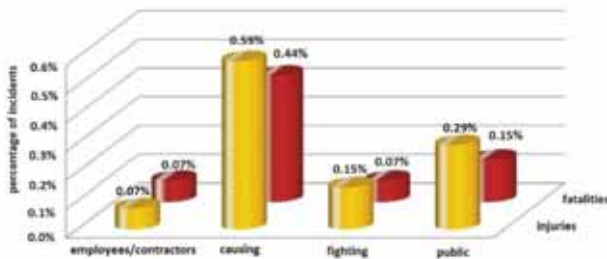


Figure 9. Percentage of accidents of groups involved in pipeline incidents (1970-2016) [7]

EGIG studied the injuries and fatalities among different groups involved in pipeline incidents. These groups are:

- employees or contractors of the transmission system operator.
- third party directly involved in causing the incidents (for example digger drivers in the case of external interference incidents);

- emergency services (firefighters, medical assistance);
- the general public.

4. CONCLUSIONS

This paper made based on information from the European Gas pipeline Incident data Group (EGIG) database, which is a valuable source of information on European gas pipelines and incidents.

In the EGIG database 1,366 pipeline incidents are recorded in the period from 1970-2016.

Reliable failure frequencies are provided by the history of incidents collected in the database. The average level of failures over the period 1970-2016 is equivalent to 0.31 accidents per 1,000 km per year.

External interference, corrosion, construction defects and ground movement have accounted for 28%, 25%, 18% and 15% of the pipeline incidents reported over the past ten years, respectively.

Failure data analysis is an important step for the failure prevention, and the improving of the pipeline integrity is a complex task.

5. REFERENCES

- [1] P. HOPKINS, "Transmission pipelines: how to improve their integrity and prevent failures," in Pipeline Technology, Proceedings of the 2nd international pipeline technology conference, R. Denys, Ed., vol. 1, pp. 683–702, 1995.
- [2] W. Y. ZHENG, "Stress corrosion cracking of oil and gas pipelines in near neutral pH environment: Review of recent research" Energy Materials: Materials Science and Engineering for Energy Systems, vol. 3, no. 4, pp. 220–226, 2008.
- [3] C. R. F. AZEVEDO, "Failure analysis of a crude oil pipeline" Engineering Failure Analysis, vol. 14, no. 6, pp. 978–994, 2007.
- [4] Pacific Gas and Electric Company Natural Gas Transmission Pipeline Rupture and Fire San Bruno, California September 9, 2010
- [5] Columbia Gas Transmission Corporation Pipeline Rupture Sissonville, West Virginia December 11, 2012
- [6] Natural Gas Pipeline Rupture and Fire Near Carlsbad, New Mexico August 19, 2000
- [7] 10th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2016)
- [8] MICHAEL R. ACTON, 2008 "Ignition Probability for High Pressure Gas update to 2016

INHOMOGÉN ÉS ANIZOTROP PIEZOELEKTROMOS RÚD EGY STATIKAI FELADATA

A STATIC PROBLEM OF AN INHOMOGENEOUS AND ANISOTROPIC PIEZOELECTRIC BEAM

Ecsedi István¹, Baksa Attila², Lengyel Ákos József³, Gönczi Dávid⁴

ABSTRACT

The authors of present paper published several works concerning with inhomogeneous and/or anisotropic structural elements in last years. The definition and the solution of these problems there was the main point that we used the special theory of mathematical linear elasticity which takes into account the material non-homogeneity and anisotropy. This work describes an analytical solution for a Saint-Venant torsion problem of an inhomogeneous, orthotropic, piezoelectric beam with elliptical cross section.

Kulcsszavak: anizotropia, orthotropia, csavarás, inhomogenitás, piezoelektromos

1. BEVEZETÉS

E tanulmány szerzői számos cikket publikáltak az utóbbi években a különböző inhomogén anyagú és anizotrop szerkezeti elemekkel kapcsolatban [1-14]. Az irodalmi jegyzék nem tartalmazza valamennyi publikált cikket és konferencia közleményt. Az ott alkalmazott matematikai és mechanikai módszerek szemléltetésére jelent tanulmányban inhomogén, orthotrop piezoelektromos ellipszis keresztmetszetű rúd Saint-Venant csavarási feladatának megoldását használjuk. E tanulmány az [1] és [2] publikációk általánosításának tekinthető, orthotrop piezoelektromos ellipszis keresztmetszetű rúdra.

2. ALAPEGYENLETEK, CSAVARÁSI FELADAT MEGOLDÁSA

Az orthotrop piezoelektromos rúd keresztmetszetét és az keresztmetszet határgörbáját az alábbi előírások definiálják:

$$A = \left\{ (x, y) \mid \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} < 1 \right\}, \quad (1)$$
$$\partial A = \left\{ (x, y) \mid \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \right\}.$$

A piezoelektromos orthotrop anyag kapcsolt mechanikai-elektromos anyagtörvényét (2)-(3) egyenletek írják le

$$\tau_{xz} = \vartheta f(\rho^2) \left(a_{55} \gamma_{xz} + e_{15} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right), \quad \tau_{yz} = \vartheta f(\rho^2) \left(a_{44} \gamma_{yz} + e_{24} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right), \quad (2)$$

$$D_x = \vartheta f(\rho^2) \left(e_{15} \gamma_{xz} + \kappa_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right), \quad D_y = \vartheta f(\rho^2) \left(e_{24} \gamma_{yz} + \kappa_{22} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right), \quad (3)$$

ahol a τ_{xz} és τ_{yz} csúsztató-feszültségeket, D_x és D_y a villamos eltolási vektor komponenseit, ϑ a fajlagos elcsavarodást jelöli, továbbá

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial \omega}{\partial x} - y, \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial \omega}{\partial y} + x, \quad (4)$$

míg $\varphi = \varphi(x, y)$ az egységnyi ϑ elcsavarodáshoz tartozó villamos potenciál, $\omega = \omega(x, y)$ a csavarási függvény, $f = f(\rho^2) > 0$ az anyagi inhomogenitást leíró függvény, dimenziótlan mennyiség pozitív értékű függvény és esetünkben $\rho^2 = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}$. Az ellipszis határgörbe normális vektorának n_x és n_y komponenseit az alábbi egyenletekből nyerjük:

$$n_x = \frac{x}{a^2}, \quad n_y = \frac{y}{b^2}. \quad (5)$$

A mechanikai egyensúly egyenletei a jelen feladatban az alábbiak:

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = 0 \quad (x, y) \in A, \quad (6)$$
$$\tau_{xz} n_x + \tau_{yz} n_y = 0 \quad (x, y) \in \partial A.$$

A Gauss egyenlet és villamos peremfeltétel, ha a ∂A határgörbén a rúd palástja töltés mentes a következő formába írható:

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} = 0 \quad (x, y) \in A, \quad (7)$$
$$D_x n_x + D_y n_y = 0 \quad (x, y) \in \partial A.$$

Az alkalmazott csavarónyomaték T és belső erőrendszer kapcsolatát a (8) egyenlet adja meg

$$T = \int_A (x \tau_{yz} - y \tau_{xz}) dA = \vartheta S_{\tau}, \quad (8)$$

ahol S_{τ} a rúd csavarási merevsége. A (2) mechanikai egyensúlyi egyenletből az következik, hogy

^{1, 2, 3, 4} Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet, mechecs@uni-miskolc.hu

$$f(\rho^2) \left[a_{55} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + a_{44} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + e_{15} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + e_{24} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + 2f'(\rho^2) \frac{x}{a^2} \left[a_{55} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} - y \right) + e_{15} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + 2f'(\rho^2) \frac{y}{b^2} \left[a_{44} \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} + x \right) + e_{24} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = 0 \quad (x, y) \in A, \quad (9)$$

$$\frac{x}{a^2} \left[a_{55} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} - y \right) + e_{15} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{y}{b^2} \left[a_{44} \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} + x \right) + e_{24} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = 0 \quad (x, y) \in \partial A. \quad (10)$$

A (7)_{1,2} egyenlet részletes kifejtése adja a (10), (11) egyenleteket:

$$f(\rho^2) \left[e_{15} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + e_{24} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - \kappa_{11} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \kappa_{22} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + 2f'(\rho^2) \frac{x}{a^2} \left[e_{15} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} - y \right) - \kappa_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + 2f'(\rho^2) \frac{y}{b^2} \left[e_{24} \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} + x \right) - \kappa_{22} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = 0 \quad (x, y) \in A, \quad (11)$$

$$\frac{x}{a^2} \left[e_{15} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} - y \right) - \kappa_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{y}{b^2} \left[e_{24} \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} + x \right) - \kappa_{22} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] = 0 \quad (x, y) \in \partial A. \quad (12)$$

A (9) és (11) egyenletekben alkalmaztuk az $f'(t) = \frac{df}{dt}$ jelölést. Könnyen ellenőrizhető, hogy a kapcsolt (9)-(12) Neumann peremértékfeladat megoldása

$$\omega(x, y) = C_\omega xy, \quad \varphi(x, y) = C_\varphi xy \quad (x, y) \in A \cup \partial A, \quad (13)$$

ahol

$$C_\omega = \frac{(a_{55}b^2 - a_{44}a^2)(\kappa_{11}b^2 + \kappa_{22}a^2) + (e_{15}b^2 - e_{24}a^2)(e_{15}b^2 + e_{24}a^2)}{(a_{55}b^2 + a_{44}a^2)(\kappa_{11}b^2 + \kappa_{22}a^2) + (e_{15}b^2 + e_{24}a^2)^2}, \quad (14)$$

$$C_\varphi = \frac{(a_{55}b^2 - a_{44}a^2)(e_{15}b^2 + e_{24}a^2) - (e_{15}b^2 + e_{24}a^2)(a_{55}b^2 + a_{44}a^2)}{(a_{55}b^2 + a_{44}a^2)(\kappa_{11}b^2 + \kappa_{22}a^2) + (e_{15}b^2 + e_{24}a^2)^2}. \quad (15)$$

A csúszató feszültségek számítása a (2) és (14), (15) egyenletek alapján az alábbi módon történik:

$$\tau_{xz} = \vartheta f(\rho^2) [a_{55}(C_\omega - 1) + e_{15}C_\varphi]y, \quad \tau_{yz} = \vartheta f(\rho^2) [a_{44}(C_\omega + 1) + e_{24}C_\varphi]x. \quad (16)$$

A villamos eltolási vektor D_x és D_y koordinátáit a (3) és a (14), (15) egyenletek felhasználásával kapjuk,

$$D_x = \vartheta f(\rho^2) [e_{15}(C_\omega - 1) - \kappa_{11}C_\varphi]y, \quad D_y = \vartheta f(\rho^2) [e_{24}(C_\omega + 1) - \kappa_{22}C_\varphi]x. \quad (17)$$

A (8) és (16) egyenletek kombinálásával jutunk az S_τ csavarási merevség képletére

$$S_\tau = abF\pi C_\omega (a^2 a_{44} - b^2 a_{55}) + C_\varphi (a^2 e_{24} - b^2 e_{15}) + a^2 a_{44} - b^2 a_{55} \quad (18)$$

ahol

$$F = \int_0^1 f(\rho^2) \rho^3 d\rho. \quad (19)$$

A vonatkozó szakirodalom használja a „villamos csavarási merevséget” is, amelynek értelmezését az alábbi egyenlet adja meg

$$S_D = \frac{1}{\vartheta} \int_A (xD_y - yD_x) dA. \quad (20)$$

Egyszerű számolással, a (17) képletek felhasználásával kapjuk az alábbi eredményt

$$S_D = abF\pi C_\omega (b^2 e_{24} - a^2 e_{15}) - C_\varphi (b^2 \kappa_{22} - a^2 \kappa_{11}) + b^2 e_{24} - a^2 e_{15}. \quad (21)$$

3. SZÁMPÉLDA

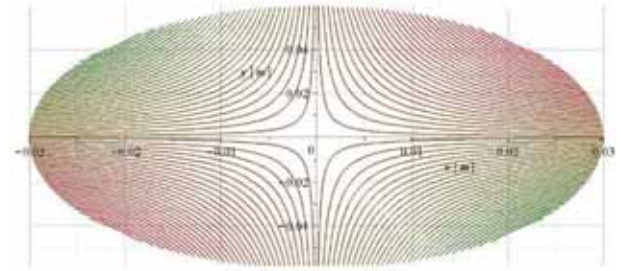
A felírt képletek alkalmazhatóságát az alábbi számpélda szemlélteti:

$$a = 0,06m, b = 0,03m, \vartheta = 0,5 \times 10^{-2} m^{-1}, f(\rho^2) = \exp(\alpha \rho^2), \alpha = 0,5m^{-2}, a_{44} = 6,27 \times 10^{10} Pa, a_{55} = 5,13 \times 10^{10} Pa, e_{15} = 17Cm^{-2}, e_{24} = 9Cm^{-2}, \kappa_{11} = 2,0797 \times 10^{-9} Cm^{-1}V^{-1}, \kappa_{22} = 2,186 \times 10^{-9} Cm^{-1}V^{-1}.$$

A dolgozat 2. fejezetében levezetett képletek felhasználásával az alábbi eredményeket kapjuk:

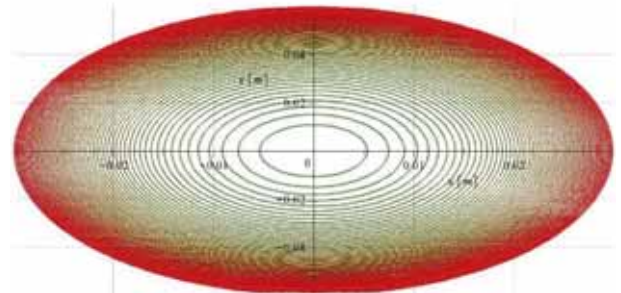
$$C_\omega = -0,5208770539, \quad C_\varphi = -7,9517366 \times 10^8 \frac{V}{m}, S_\tau = 4,296108668 Nm^2, \quad S_D = 0,00008653349 Cm^2$$

Az 1. ábra szemlélteti a csavarási függvény kontúr-görbéjét. Hasonló képet mutat a villamos potenciál kontúr-görbéje, tekintettel a (13) egyenltre.



1. ábra: Az $\omega = \omega(x, y)$ csavarási függvény szintgörbéi

A Prandtl féle csavarási feszültség függvény kontúr-görbéit a 2. ábrában vázoltuk.

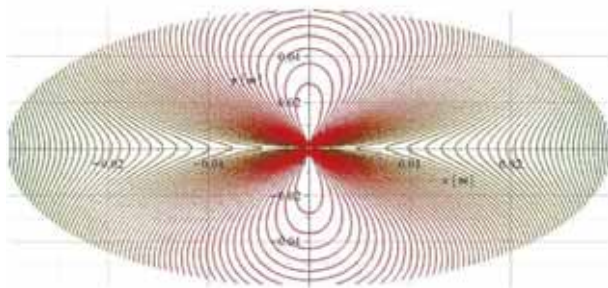


2. ábra: Az $U = U(x, y)$ feszültségfüggvény szintgörbéi

A nyírófeszültség, azaz a

$$\tau(x, y) = \sqrt{\tau_{xz}^2(x, y) + \tau_{yz}^2(x, y)}$$

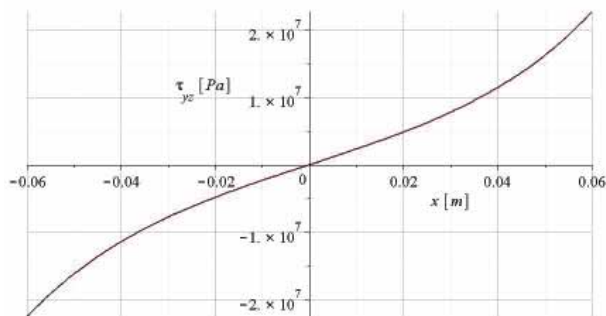
függvény kontúr-görbéjét a 3. ábra mutatja be.



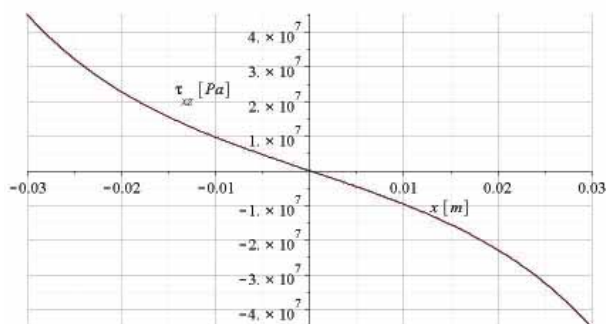
3. ábra: A $\tau(x, y)$ csúsztató feszültség szintgörbéi

A $\tau_{yz}(x, 0)|x| \leq a$ és a $\tau_{xz}(0, y)|y| \leq b$ függvények görbéit a 4a és a 4b ábrák szemléltetik. A maximális csúsztató feszültség τ_0 értékét a képletből nyerjük

$$\tau_0 = |\tau_{xz}(0, b)| = 45,27647 \text{ MPa.}$$



4a. ábra: A $\tau_{yz}(x, 0)$ csúsztató feszültségfüggvény görbéje $|x| \leq a$.



4b. ábra: A $\tau_{xz}(0, y)$ csúsztató feszültségfüggvény görbéje $|y| \leq b$.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmány keresztmetszeti inhomogenitással rendelkező orthotrop ellipszis keresztmetszetű piezoelektromos rúd Saint-Venant csavarási feladatának a megoldásával foglalkozik. Bizonyítja, hogy a csavarási függvény és a villamos potenciál független a keresztmetszeti inhomogenitástól. A levezetett megoldásból az $e_{15} = e_{24} = 0$ helyettesítéssel az [1] tanulmányban vizsgált orthotrop rugalmas rúdra vonatkozó eredményeket kapjuk meg. Továbbá az $a = b$ helyettesítéssel e tanulmányban levezetett képletek a [2] tanulmány egyenleteire vezetnek, amelyek az orthotrop kör kereszt-

metszetű radiálisan inhomogén piezoelektromos rúd Saint-Venant csavarási feladatának megoldását adják meg.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH, K115701 projekt támogatásával valósult meg, amelyért a szerzők köszönetüket fejezik ki.

6. IRODALOM

- [1] Ecsedi I., Baksa A.: Inhomogén, anizotrop ellipszis keresztmetszetű rudak Saint-Venant csavarása, *GÉP*, LXIX, 2018/3, pp.12-15.
- [2] Ecsedi I., Baksa A.: Saint-Venant torsion of non-homogeneous orthotropic circular cylinder. *Arch. Appl. Mech.*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00419-019-0164-0>
- [3] Ecsedi I., Baksa A.: Anizotrop anyagú prizmatikus rudak Saint-Venant csavarási feladata, *GÉP*,
- [4] Ecsedi I., Baksa A.: Saint-Venant torsion of cylindrical orthotropic elliptical cross-section. *Mech. Res. Communications*, **99**, 2019, pp.42-46.
- [5] Ecsedi I., Lengyel Á.J., Baksa A.: Torsion of cylindrically orthotropic composite bar with cross section of a sector of solid circle. *microCAD 2019*.
- [6] Ecsedi I., Baksa A.: A theory for the longitudinal vibrations of anisotropic elastic bars based on the Rayleigh-Bishop model, *Journal of Computational and Applied Mechanics*, **14**(1-2), 2019, pp.25-39.
- [7] Lengyel Á.J., Ecsedi I.: Second order analysis of composite beams with interlayer slip. *Multiscience XXXII. microCAD Scientific Conference*, Paper ID: 15, Miskolc-Egyetemváros, 2018.
- [8] Lengyel Á.J., Ecsedi I.: Torsional deformation of compound circular bar. *Multiscience XXXII. microCAD Scientific Conference*, Paper ID: 16, Miskolc-Egyetemváros, 2018.
- [9] Ecsedi I., Baksa A.: Inhomogén anyagú rugalmas kúpok vizsgálata. *GÉP*, **68**(3), pp.48-53, 2017.
- [10] Gönczi D., Ecsedi I.: Thermoelastic analysis of functionally graded hollow circular disk. *Archiwum Budowy Maszyn*, **62**(1), pp.5-18, 2015.
- [11] Ecsedi I., Gönczi D.: Thermoelastic stresses in nonhomogeneous prismatic bars. *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, **13**(2), pp.49-52, 2015.
- [12] Ecsedi I., Lengyel Á.J., Baksa A.: Neutral inhomogeneity in circular cylinder subjected to axial load on its lateral boundary. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, **5**(2), pp.35-42, 2020.
- [13] Ecsedi I.: Non-uniform torsion of functionally graded anisotropic bar of an elliptical cross section. *Acta Mechanica*, **231**(7), pp.2947-2953, 2020.
- [14] Ecsedi I., Lengyel Á.J., Gönczi D.: Bounds for the thermal conductance of body of rotation. *International Review on Modelling and Simulations*, **13**(3), pp.185-193, 2020.

SZITATÁNYÉROS KOLONNA SZÁRAZ TÁNYÉR ELLENÁLLÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

DETERMINATION OF DRY PRESSURE LOSS OF A SIEVE TRAYED COLUMN

Kállai Viktória*, Szepesi L. Gábor**

ABSTRACT

In this study dry pressure drop of a sieve tray was determined with calculation (three types of correlations) and CFD simulation. During the investigation three types of gas velocity was used: 1, 1,5 and 2 m/s. Our goal was to investigate the correlation between the results of the calculations and simulation. It could be determined that the calculations in each cases overestimated (approximately with 31%, and 19%) the dry pressure drop, than the simulation.

1. BEVEZETÉS

A vegyipar igen fontos részét képezik a desztilláció és abszorpció elválasztási műveletek, amelyek berendezése a kolonna (vagy oszlop, torony). Egy kolonna tányérjának hidrodinamikájának leírására nagy szükség van az ipari gyakorlatban is [1]. Egy oszlop vizsgálatok jelentős szerepe van a kolonna mentén kialakuló nyomásvesztés-érték meghatározásának, mivel lényeges az elválasztás határfokának és a tányér működésének a becsléséhez [2]. A nyomásvesztés tányéronként szükséges meghatározni, és a kapott értékeket összegezni a tányérszámnak megfelelően. Ezen tanulmányban egy szitatányéros kolonna száraztányér nyomásvesztését határoztuk meg számítással és szimuláció készítésével.

Egy tányér nyomásesése tulajdonképpen a tányér felett és alatt lévő gázfázis nyomása közötti különbséget jelenti. Egy kolonnában a nyomás az alábbi paraméterekre van hatással:

- fázisok egyensúlya,
- hőmérséklet profil,
- gázterhelés (a gáz sűrűsége függ a hőmérséklettől és a nyomástól) [3, 4].

Egy tányér nyomásesésének kisebbnek kell lennie, mint a folyadékfázis statikus nyomása, ellenben a gázfázis nem engedné lefelé haladni a folyadékot [3, 4].

A gázfázis sebessége szintén nem lehet túl nagy, mert ebben az esetben képes lenne folyadékcseppeket magával ragadni (cseppelragadás jelensége). Ha pedig túl kicsi a

gázfázis sebessége, akkor az átcsöpögés jelensége áll fenn. Ezen hibák a tányér működési tartományán kívül esnek és az elválasztás nem megfelelőségét (pl. nem alakul ki megfelelő anyagérintkeztetés) vagy a kolonna teljes működésképtelenségét okozzák [5].

Az utóbbi években egyre inkább elterjedt a számítási folyadékdinamika (CFD, Computational Fluid Dynamics) alkalmazása kolonnával kapcsolatos feladatok megoldására. A CFD modellezésnek számos előnye van a kísérleti módszerekkel szemben: viszonylag alacsony költségekkel rendelkezik, gyors, képes a valós és az ideális esetet is modellezni. CFD-vel lehetséges a tányérok hidrodinamikájának és a hatékonyságának a szimulálása is [6]. R. Krishna és J. M. Baten két és háromdimenziós CFD szimulációkat készítettek szitatányérok működésének vizsgálatára. Megállapították, hogy a CFD technika hatékony vizsgálati és tervezési eszköz a tányérok esetén. Vizsgálataik azt mutatták, hogy a CFD szimulációk képesek a hidrodinamikai változások leírására, valamint különböző átmérők vizsgálata esetén kiderült, hogy a folyadékfázisnak dugószerű áramlása van a nagy átmérőjű tányérokban. Az oszlop átmérője azonban kis hatással van a tiszta folyadék magasságára és a gázfázis visszatartására [2].

Krishna et al. [1] háromdimenziós tranziens CFD modellt dolgoztak ki egy téglalap alakú tányér hidrodinamikájának vizsgálatára. A szimulációk elvégzésekor változó gázsebességeket, folyadékterheléseket és gátmagasságot alkalmaztak. Az eredményeket összehasonlították egy levegő-víz rendszer kísérleti eredményeivel. A munkájuk célja az volt, hogy kiderítsék a CFD-modellek mennyire alkalmazhatók tervezési eszközként az ipari gyakorlatban. A szimulációk során a gáz- és folyadékfázisokat folyamatos fázisokként kezelik, az Euleri módszert alkalmazzák. Megfigyelték, hogy egy bizonyos esetben a CFD szimulációk túlértékelik a tiszta folyadékmagasságot a mérési eredményeikhez képest. Ennek oka az ún. Bennett-korreláció lehet, amelyet a szennyeződés nélküli rendszerekre célszerű alkalmazni. Azonban rávilágítottak arra is, hogy a CFD módszer hatékony tervezési és szimulációs eszköz, fontos előnye,

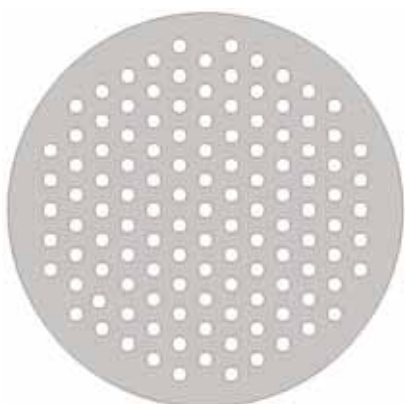
* doktorandusz, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

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

hogy a tálca geometriájának kialakítását automatikusan figyelembe veszi.

2. A VIZSGÁLT SZITATÁNYÉR

Ezen tanulmányban egy 8 m magas, 0,5 m átmérőjű kolonna vizsgálatát végeztük. A tányérok távolsága szintén 0,5 m volt, a tányér vastagsága 10 mm, összesen 15 db tányér található a kolonnában. A lyukak átmérője 20 mm, elrendezésük háromszög kiosztással történt, így összesen 121 db perforációt tartalmazott a tányér (1. ábra). A lyukak felülete 19,36%-a a tányér felületének, amely a szakirodalmi 5-20%-os ajánlásnak megfelel [6]. A gázfázis levegő, a folyadékfázis pedig víz volt. A folyadékfázis azért lényeges, mert a számítás során szükséges a két érintkező fázis sűrűségének aránya.



1. ábra A vizsgált szitatányér rajza

3. SZÁRAZ TÁNYÉR ELLENÁLLÁS

A kolonna hossza mentén kialakuló nyomásvesztés egyik része a száraz tányér ellenállás, amely egy rendkívül fontos paraméter egy tányér hidraulikai vizsgálatakor. A száraz tányér ellenállás az a nyomásvesztés, amely a gőz- vagy gázfázis perforációkon történő áthaladásakor keletkezik, ebben az esetben folyadékfázis nem található a rendszerben [8].

Sokan kísérleteket végeztek a száraz tányér ellenállás meghatározására. Azonban ezen eredmények és a szakirodalomban fellelhető összefüggésekkel kapott eredmények között lényeges különbségek vannak [9].

3.1. A száraz tányér ellenállás meghatározása [9, 10] alapján

A száraz tányér ellenállás számítására három összefüggés került alkalmazásra.

Az első összefüggés [9] a Bernoulli-egyenlet alapján az (1) egyenlet formájában írható fel.

$$h_d = \frac{12 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{v_H}{C_v}\right)^2}{2 \cdot g_c \cdot \rho_w} \quad (1)$$

Hughmark és O'Connell [10] a száraz tányér ellenállás becslésére az alábbi összefüggést alkalmazták:

$$h_d = \frac{0,186}{(C_o)^2} \left(\frac{V}{A_h}\right)^2 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right) \left[1 - \left(\frac{A_h}{A_a}\right)^2\right] \quad (2)$$

Bemutattak egy diagramot, amely az átfolyási tényező (C_o) meghatározását szolgálja, amely értékét az alábbi egyenlettel is meg lehet határozni:

$$C_o = \frac{880,6 - 67,7 \frac{d_h}{t_d} + 7,32 \left(\frac{d_h}{t_d}\right)^2 - 0,338 \left(\frac{d_h}{t_d}\right)^3}{1000} \quad (3)$$

Leibson et al. [10] az alábbi összefüggést alkalmazta:

$$h_d = \frac{0,186}{(C_2)^2} \left(\frac{V}{A_h}\right)^2 \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right) \quad (4)$$

Amelyből a C_2 átfolyási tényező meghatározható az alábbi összefüggéssel:

$$C_2 = \left(0,836 + 0,273 \cdot \frac{t_d}{d_h}\right) \cdot \left(0,674 + 0,717 \cdot \frac{A_h}{A_a}\right) \quad (5)$$

A képletekben alkalmazott jelölések megnevezését és a behelyettesítéshez szükséges mértékegységeit az 1. táblázat foglalja össze.

Szakirodalmi ajánlás alapján [11] az átfolyási tényező értéke 0,65 és 0,85 között van. Ez az azonosság az 1. ábrán bemutatott tányérra és a fent bemutatott összefüggésekkel is fennáll. Ezek az összefüggések nem veszik figyelembe a tányérok közötti távolságot. Az (1) egyenlet továbbá nem veszi figyelembe a tányér felületét és lyukkiosztását, az átfolyási tényezőt (C_v) pedig megadott diagramról kell leolvasni, amely nagy Re-számok esetén, a tányér vastagság és lyukátmérő arányának figyelembevételével készült el Kolodzie és Van Winkle szerint [9]. A (2) egyenletben a száraz tányér ellenállás közvetlenül függ a lyukak és az aktív tányér felületének arányától, az átfolyási tényező (C_o) pedig csak a lyukátmérő és a tányérvastagság arányától függ. A (4) összefüggés hasonló felépítésű az előzőhöz, azonban ennél az átfolyási tényező (C_2) nemcsak a lyukátmérő és tányérvastagság arányától, hanem egy tányéron lévő perforációk és a tányér aktív felületének arányától is függ.

A képletekbe angolszász mértékegységrendszer alapján szükséges behelyettesíteni a paraméterek értékét.

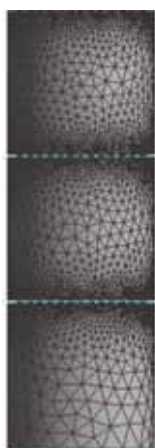
Így a számítás angolszász mértékegységrendszer alkalmazásával történt, majd a végeredmény SI-mértékegységrendszer szerint lett átszámolva.

1. táblázat Jelölésjegyzék [9,10]

Jel	Megnevezés	Mértékegység
h_d	Száraz tányér ellenállás	in wc
v_H	Gázsebesség a lyukaknál	ft/s
g_c	Nehézségi gyorsulás	ft/s ²
C_v	Átfolyási tényező	-
C_o	Átfolyási tényező	-
V	Gőz térfogatárama	ft ³ /s
A_h	Perforációk felülete	ft ²
A_a	Tányér aktív felülete	ft ²
ρ_v	Gáz sűrűsége	lb/ft ³
ρ_w	Víz sűrűsége	lb/ft ³
ρ_l	Folyadék sűrűsége	lb/ft ³
d_h	Perforáció átmérője	in
t_d	Tányér vastagsága	in
C_2	Átfolyási tényező	-

3.2. A száraz tányér ellenállás meghatározása szimulációval

A szimuláció elkészítése Ansys Fluent szoftver alkalmazásával történt. A kolonna összeállítási rajzának elkészítése után a Mesher alkalmazásával a 2. ábrán látható hálózás készült el. Az ábra az összeállított kolonna egy részletét mutatja be, pontosabban a kolonna alját (azaz a gázbevezetést), két tányért és az ezek feletti és ezek alatti kolonnaszakaszokat. Az alkalmazott hálóméret $8 \cdot 10^{-2}$ m nagyságú.



2. ábra A vizsgált kolonna egy részletének hálózása

A modellről készített ábrákon a fluidum áramlási terét szemléltettük. A szimulációk során gázfázis (jelen esetben levegő) áramlik letről felfelé a kolonnában. A

szimulációk elkészítéséhez k-epsilon turbulencia modellt alkalmaztunk.

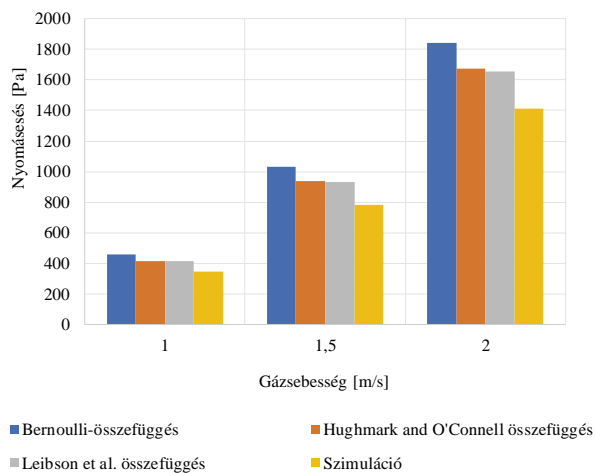
Elsőként azt vizsgáltuk meg, hogy 1 m/s sebességű gázfázis bevezetésével milyen száraz tányér nyomásvesztésig keletkezik a rendszerben. Az 1 m/s sebesség kb. 700 m³/h anyagáramnak felel meg. Ezután 1,5 m/s és 2 m/s (4. ábra) sebességértékekkel is készítettünk szimulációkat. A 4. ábrán látható a tányéronként, valamint a teljes kolonnára jellemző kialakuló száraz tányérvesztés. Látszik, hogy körülbelül azonos mennyiséggel növekszik a nyomásvesztés mértéke egy-egy tányér esetén, ez az azonos tányérgeometriából adódhat.

3.3. A számítás és szimuláció eredményei

Elsőként a számítások készültek el. Összehasonlítva a korábban bemutatott összefüggések eredményeit megállapítható, hogy a vizsgált esetekben a [9] szakirodalomban szereplő összefüggéssel ((1) egyenlet) kb. 10%-kal nagyobb értékeket kaptunk. A másik két összefüggésből ((2) és (4) egyenlet) hasonló eredmények adódtak minimális eltérésekkel. Az egyenletek nem veszik figyelembe a tányérok közötti távolságot és egy darab tányérra adják meg a száraz tányér ellenállás értékét, ezért a teljes kolonnára vonatkozó nyomásvesztés meghatározása úgy történt, hogy a kapott eredményeket meg kellett szorozni a tányérszámmal.

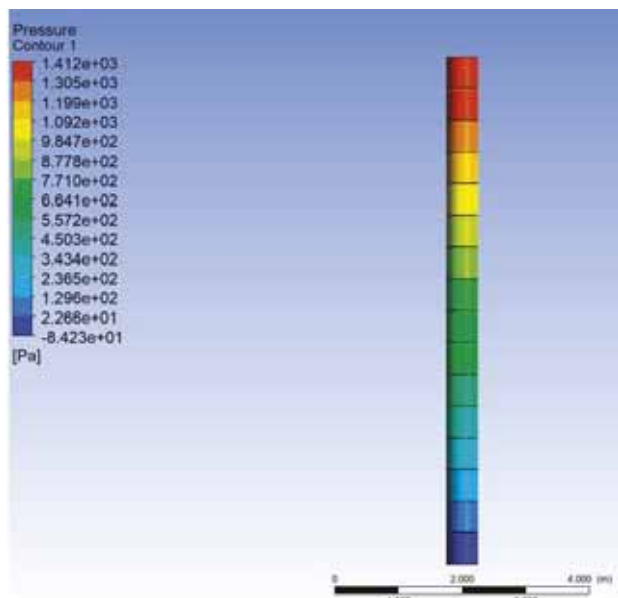
Összehasonlítva a számítás és szimuláció eredményeit (3. ábra) a különböző sebességek esetén a szimulációhoz képest a számítások túlbecsülik a száraz nyomásvesztés értékét egy tányérra, valamint összegezve a teljes oszlopra vonatkozóan. Míg az (1) egyenlet és a szimuláció eredményei között 31,4% az eltérés, addig a (2) egyenlet és a szimuláció eredményei között 19,5%, végül a (4) egyenlet és a szimuláció eredményei között 18,3% a különbség.

A 3. ábra mutatja be az eredményeket sebességként.



3. ábra Az eredmények ábrázolása

Ahogy az összefüggésekből is látszik a sebesség (a (2) és (4) egyenletekben a tömegáramban van a sebesség paraméter) és a száraz tányér ellenállás között négyzetes kapcsolat van, ez mind a számítások, mind a szimulációk eredményeiből is látható. Ebből kifolyólag a túl nagy sebesség alkalmazása nemcsak műveleti (pl.: cseppelragadás) problémát okoz anyagátadás közben, hanem hidraulikai okokból sem célszerű.



4. ábra A vizsgált kolonna modellje és CFD szimulációjából adódó száraz tányér veszteség profilja 2 m/s gázsebesség esetén

4. ÖSSZEGZÉS

A tanulmányban egy adott geometriájú szitatányéros kolonna száraz tányér ellenállásának meghatározása történt számítással és CFD szimulációval különböző gázsebességek esetén. A számítások minden esetben túlbecsülik a nyomásesés értékét a szimulációhoz képest. Azon elméleti összefüggések, amelyek a tányér aktív felületét, illetve a lyukak felületét is figyelembe veszik a szimuláció eredményeihez közelebb eső értékeket adtak eredményül, de még így is kb. 20%-ra tehető a különbség a mért és szimulált értékek között. A Bernoulli-féle összefüggés és a CFD szimulációk eredménye között azért lehet jóval nagyobb az eltérés, mert a szoftver is figyelembe veszi a tányér geometriáját.

A továbbiakban szükséges folytatni a kutatást az elméleti összefüggések és szimulációk eredményeinek összehasonlításáról száraz tányér veszteség megállapítására különböző, illetve változó lyukkiosztású tányérok esetén. Továbbá a szimulációk eredményeit mérési eredményekkel fogjuk a jövőben alátámasztani, illetve ellenőrizni, amely méréshez szükséges berendezés összeállítása már folyamatban van.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. IRODALOM

- [1] R. KRISHNA, J. M. VAN BATEN, J. ELLENBERGER, A. P. HIGLER, R. TAYLOR: *CFD Simulations of sieve tray hydrodynamics*, TransIChemE, vol. 77, Part A, 1999.
- [2] R. KRISHNA, J. M. VAN BATEN: *Modelling sieve tray hydraulics using computational fluid dynamics*, TransIChemE, vol. 81, pp. 27-38, 2003.
- [3] V. V. KAFAROV: *Az anyagátadás alapjai*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [4] FÁBRY GY.: *Vegyipari gépek és műveletek VII.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1980.
- [5] FONYÓ ZS., FÁBRY GY.: *Vegyipari művelettan alapismertetek*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, 2004.
- [6] F. K. SHENASTAGHI, S. ROSHDI, N. KASIRI, M. H. KHANOF: *CFD simulation and experimental validation of bubble cap tray hydrodynamics*, Separation and Purification Technology, vol. 192, pp. 110-122, 2018.
- [7] DULLIEN F., MÁTHÉ L., PAÁL T., VINCZE L.: *Diffúziós műveletek*, Vegyterv Műszaki Főosztálya, Budapest, 1970.
- [8] C. WANG, K. MCCARLEY, T. CAI, A. VENNAVELLI: *Study of Clear Liquid Height and Dry Pressure Drop Models for Valve Trays*, vol. 69, pp. 409-414, 2018.
- [9] DANIEL R. SUMMERS: *Dry tray pressure drop of sieve trays*, Separation Processes, Sulzer Chemtech USA, 2009.
- [10] A. P. ECONOMOPOULOS: *Computer design of sieve trays and tray columns*, Chemical Engineering, pp. 109-120, 1978.
- [11] “<http://facstaff.cbu.edu/rprice/lectures/distill7.html>.”

LEFÚVÓVEZETÉK HATÁSA A REDUKÁLT ROBBANÁSI NYOMÁSRA – ELMÉLETI MODELLEK

EFFECT OF VENT DUCTS ON THE REDUCED EXPLOSION OVERPRESSURE – THEORETICAL MODELS

Mikáczó Viktória*, Siménfalvi Zoltán**, Szepesi L. Gábor***

ABSTRACT

A significant number of industrial dusts, as well as vapors and many gases, carry an explosion hazard. The disadvantage of using vent ducts as explosion protection is they increase reduced explosion pressure, and venting protection may not be able to perform its function properly. Accurate determination of increased reduced pressure is a serious problem in engineering practice.

MSZ EN 14491, EN 14994, NFPA 68 and VDI 3673 standards for venting protection contain correlations for manual calculations, but their applicability cannot be maintained in engineering practice in all cases. In this paper, authors summarize the major computational contexts reported in the scientific literature that has already been published, as a guide for further use. Values of relative errors mentioned at the end of each method were determined by Lautkaski based on experiments performed over a wide range of tests.

1. BEVEZETÉS

A legtöbb iparban előforduló por és gáz robbanásveszélyt hordoz magában. A zárt térben fellépő robbanási nyomás maximuma a p_{max} értékről lefúvatás segítségével mérsékelhető a $p_{red,max}$ redukált robbanási nyomás értékre. Ennek során a lángok és égéstermékek a szabadba, vagy lefúvató csatornák segítségével a kívánt helyre irányíthatók. Ez utóbbiak hátránya, hogy ellenállásuknál fogva növelik a redukált robbanási nyomást ($p_{red,max}$ -nál nagyobb $p'_{red,max}$ értékre), így esetenként a lefúvásos védelem nem képes megfelelően ellátni a feladatát. A megnövekedett redukált nyomás pontos meghatározása komoly probléma a mérnöki gyakorlatban, mivel a hatás mértéke számos tényezőtől függ. [1]

A gyakorlatban a következő, a lefúvatást akadályozó jelenségek lépnek fel a csatorna alkalmazása kapcsán: [2][3]

- súrlódási veszteségek;
- a csatornában lévő gázoszlop tehetetlensége;
- „burn-up” a csatornában (utánégésként fordítható);

* tanársegéd, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézet Tanszék

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézet Tanszék

*** egyetemi docens, Miskolci Egyetem Vegyipari Gépészeti Intézet Tanszék

- akusztikus oszcillációk.

A csatorna jelenléte nem csak nyomásnövekedést okoz a készülékben, hanem nagy hosszok esetén ($l > 10-20$ m) a csatornában az áramló közeg sebessége meghaladhatja a hangsebességet és a lángterjedés/égés átléphet detonációba. [4] Ezen okból a csatornahosszt ajánlott 10 méternél rövidebbre, vagy legalább 10 bar_g belső nyomásterhelésre szükséges tervezni. [5]

Jelen cikkben a szabványi összefüggések [6 – 9] mellett a már megjelent tudományos irodalmakban közölt jelentősebb számítási összefüggéseket foglaljuk össze, mintegy útmutatóként a további felhasználáshoz.

Az egyes módszerek végén említett relatív hibák értékeit Lautkaski [10] állapította meg széles vizsgálati tartományban elvégzett kísérletek alapján. A szerző propán, metán, acetón, földgáz és városi gáz 4 % - 30 % közötti gáz-levegő keverékével végzett kísérletek szakirodalmi adatait gyűjtötte össze. Ezeket a kísérleteket 3,7 dm³ – 10 m³ térfogatú edényekben végezték el, többségében középponti gyújtással és 0,3 – 25 méter hosszúságú lefúvóvezetékkel. A továbbiakban említett relatív hibák ezen kísérletek adataira vonatkoznak.

2. A REDUKÁLT NYOMÁS SZÁMÍTÁSÁRA ALKALMAZHATÓ MODELLEK

2.1. Az MSZ EN 14491 összefüggései

A porokra vonatkozó MSZ EN 14491 [8] szabadon álló, V térfogatú köbös edényekre az (1) összefüggést ajánlja a d átmérőjű, l hosszúságú lefúvóvezeték által megnövelt redukált nyomás maximumának meghatározására, porrobbanás esetén.

$$\frac{p'_{red,max}}{p_{red,max}} = 1 + 17,3 \cdot \left[\frac{A_v}{V^{0,753}} \right]^{1,6} \cdot \frac{l}{d} \quad (1)$$

Ezen felül a szabvány megadja, hogy a $p'_{red,max}$ a (2) szerinti hosszúnál a leghangszúlyosabb.

$$(l/d)_s = 4,564 \cdot p_{red,max}^{-0,37} \quad (2)$$

A szabvány feltételezése szerint ennél nagyobb hosszúság-átmérő viszony alkalmazása nem okoz jelentős változást $p'_{red,max}$ értékében.

Az összefüggések alkalmazhatósági tartománya:

- készüléktérfogat: $0,1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$;
- lefúvófelület statikus aktivációs nyomása: $0,1 \text{ bar}_g \leq p_{stat} \leq 1 \text{ bar}_g$;
- maximális redukált robbanási túlnyomás: $0,1 \text{ bar}_g \leq p_{red,max} \leq 2 \text{ bar}_g$ és $p_{red,max} > p_{stat}$;
- maximális robbanási túlnyomás: $5 \text{ bar}_g \leq p_{max} \leq 12 \text{ bar}_g$;
- maximális robbanási konstans (deflagrációs index): $10 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leq K_{max} \leq 800 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

Ezen kívül a lefúvóvezetékek legyenek annyira rövidek és egyenesek amennyire csak lehetséges. Kezdeti keresztmetszetükben maximum 20° -os iránytöréssel indulhatnak, és ha szükséges, a minimum 2-es r/d arányú ívet tartalmazhatnak. Keresztmetszetük egyezzen meg a lefúvókeresztmetszettel.

Az összefüggések központi gyújtás esetén 32,5 %-os relatív hibával adják vissza a [10] szerint vizsgált mérési eredményeket.

2.2. Az MSZ EN 14994 összefüggései

A gázrobbanásokra vonatkozó EN 14994 jelű szabvány [6] gázok robbanási nyomásának lefúvatása esetén a (3) és (4) ajánlásokat adja, amelyek alapját Bartknecht [12] kutatásai adják.

- Amennyiben a lefúvóvezeték hossza 3 méternél rövidebb:

$$p'_{red} = 1,24 \cdot p_{red}^{0,8614}, \quad (3)$$

- a 3 méternél hosszabb, de 6 méternél rövidebb lefúvóvezetékek esetén:

$$p'_{red} = 2,48 \cdot p_{red}^{0,5165} \quad (4)$$

amennyiben a vizsgálati paraméterek teljesítik a szabvány további előírásait. Relatív hibájuk bármely lefúvóvezeték-hosszúság esetén 27-27,5 %. [10]

A szükséges lefúvófelület számítására alkalmas összefüggések alkalmazhatósági tartománya szabadon álló, közel köbös készülékekre (a készülék hosszúság-átmérő viszonya 2-nél kisebb):

- készüléktérfogat: $V \leq 1000 \text{ m}^3$;
- lefúvófelület statikus aktivációs nyomása: $0,1 \text{ bar}_g \leq p_{stat} \leq 0,5 \text{ bar}_g$;

- maximális redukált robbanási túlnyomás: $p_{red,max} \leq 2 \text{ bar}_g$ és $p_{red,max} > p_{stat} + 0,05 \text{ bar}_g$;
- maximális robbanási konstans: $K_{max} \leq 500 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- a kezdeti nyomás atmoszférikus.

Ezekon felül a lefúvóvezeték keresztmetszete akkora legyen mint maga a lefúvókeresztmetszet. Továbbá a lefúvóvezeték legyen annyira egyenes és rövid amennyire csak lehetséges, valamint mentes a lefúvatást gátló akadályoktól.

2.3. Az NFPA 68 szabvány összefüggései

2.3.1 Porokra vonatkozó összefüggések

Az NFPA 68 szabvány [7] Ural legújabb kutatási eredményei alapján fogalmaz meg összefüggéseket. A Russo et al. [1] kutatási eredményei szerint korábbi összefüggéssel meghatározott, emelt redukált túlnyomás értéke az esetek többségében (leginkább 4 bar_g redukált nyomás alatt) 56 %-os relatív hibával túlbecsüli a mérési eredményeket.

A lefúvóvezeték hatására megnövekedett redukált robbanási nyomás számítása helyett a jelenleg hatályos szabvány olyan lefúvófelület számítására helyezi a hangsúlyt (5), amelynek segítségével a nyomásemelkedés hatása is kiküszöbölhető.

$$A_{vf} = A_v \cdot \left(1 + 1,18 \cdot E_1^{0,8} \cdot E_2^{0,4}\right) \cdot \sqrt{\frac{K}{K_n}} \quad (5)$$

ahol az egyes tényezők (6), (7) és (8) szerint számíthatók. Az A_v lefúvófelület számításakor figyelembe kell venni a készülék hosszúság-átmérő viszonyát, a hasadóelem tehetetlenségét, valamint a szabvány által meghatározott egyéb tényezőket.

$$E_1 = \frac{A_{vf} \cdot l}{V} \quad (6)$$

$$E_2 = \frac{10^4 \cdot A_{vf}}{\left(1 + 1,54 \cdot p_{stat}^{4/3}\right) \cdot K_{st} \cdot V^{3/4}} \quad (7)$$

A lefúvóvezeték-rendszer teljes ellenállása a (8) szerint számítható:

$$K \equiv K_{inlet} + \frac{f_D \cdot l}{d} + K_{elbows} + K_{outlet} + \dots \quad (8)$$

Az f_d D'Arcy-féle súrlódási tényező általános meghatározása teljesen turbulens áramlásra:

$$f_d = \left\{ \frac{1}{\left[1,14 - 2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{d}\right)\right]} \right\}^2 \quad (9)$$

Néhány jellemző ellenállás-tényező értéket foglal össze az 1. táblázat.

1. táblázat Ellenállás-tényező értékek

Geometria	K
Készülékbe nyúló belépő keresztmetszet	2
Készülékre ültetett belépő keresztmetszet	1,5
Szabad kilépő keresztmetszet	0
90°-os kör keresztmetszetű könyökök:	
r/d = 2,75	0,26
r/d = 2,5	0,22
r/d = 2,25	0,26
r/d = 2	0,27
r/d = 1,75	0,32
r/d = 1,5	0,39

Az összefüggések kiterjedt feltételrendszer keretei között érvényesek, amelyek közül a jelentősebbek:

- kezdeti nyomás: $p_0 \leq 1,2 \text{ bar}_g$;
- maximális robbanási nyomás: $5 \text{ bar}_g \leq p_{max} \leq 12 \text{ bar}_g$
- a készülék magasság-átmérő viszonya 1 és 6 közé esik;
- készüléktérfogat: $0,1 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$;
- lefúvófelület statikus aktivációs nyomása: $p_{stat} \leq 0,75 \cdot p_0$ ha $p_0 > 0,2 \text{ bar}_g$; $p_{stat} < 0,75 \text{ bar}_g$ ha $p_{stat} < 0,2 \text{ bar}_g$;
- maximális robbanási konstans: $10 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leq K_{max} \leq 800 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

A teljes feltételrendszer a [7] szabvány 8.5.10 táblázatában érhető el, az összefüggések alkalmazása csak ezek figyelembevételével érvényes.

A módszer relatív hibája bármely lefúvóvezeték-hosszra 35,5 – 36 %. [10]

2.3.2 Gázokra vonatkozó összefüggések

Gázok és ködök robbanási nyomásának lefúvatása esetén azonban a szabvány a redukált robbanási nyomásnövekményre a (10) és (11) összefüggéseket adja, amennyiben a vizsgálati paraméterek teljesítik a szabvány további előírásait.

- Amennyiben a lefúvóvezeték hossza 3 méternél rövidebb:

$$p'_{red} = 0,779 \cdot p_{red}^{1,161}, \quad (10)$$

- Ha a lefúvóvezeték 3 méternél hosszabb, de 6 méternél rövidebb:

$$p'_{red} = 0,172 \cdot p_{red}^{1,936} \quad (11)$$

A [7] szabvány a szükséges lefúvófelület számításának különböző módjaihoz eltérően fogalmaz meg megkövetéseket. Mivel ehhez az egyes összefüggések

közlése is szükségessé válna, ezért ezeket itt nem közöljük.

Russo et al. [1] vizsgálatai alapján ez utóbbi összefüggések alulbecsülik a redukált nyomás csúcsertékét a csatorna alkalmazása esetén. A számítások relatív hibája: 44%.

2.4. Bartknecht összefüggései

Bartknecht [12] munkájában a gázokra vonatkozó (12) és (13) összefüggéseken kívül hasonló felépítésű egyenleteket adott meg porokra is.

- Amennyiben a lefúvóvezeték hossza 3 méternél rövidebb:

$$p'_{red} = 1,84 \cdot p_{red}^{0,654}, \quad (12)$$

- a 3 méternél hosszabb, de 6 méternél rövidebb lefúvóvezeték esetén:

$$p'_{red} = 3 \cdot p_{red}^{0,4776} \quad (13)$$

Ezeket az összefüggéseket azonban nem tartalmazzák az EN jelű szabványok. Relatív hibájuk 23,5%. [10]

2.5. A VDI 3673-2002 szabvány összefüggései

A VDI 3673 szabvány [9] porok esetén a (14) összefüggést adja meg.

$$\frac{p'_{red,max}}{p_{red,max}} = 1 + 17,3 \cdot \left[\frac{A_v}{V^{0,753}} \right]^{1,6} \cdot l \quad (14)$$

A VDI szerint a (15) alapján számított hossz fölött a csatorna jelenléte már nincs jelentős hatással a redukált maximális nyomásra.

$$l_s = 4,564 \cdot p_{red,max}^{-0,37} \quad (15)$$

Az összefüggés a csatornaátmérő híján megegyezik az MSZ EN szabvány által ajánlott (2) összefüggéssel. Alkalmazhatósági határai abszolút köbös készülékekre:

- készüléktérfogat: $V \leq 10000 \text{ m}^3$;
- lefúvófelület statikus aktivációs nyomása: $0,1 \text{ bar}_g \leq p_{stat} \leq 1 \text{ bar}_g$;
- maximális redukált robbanási túlnyomás: $0,1 \text{ bar}_g \leq p_{red,max} \leq 2 \text{ bar}_g$ ha $p_{red,max} > p_{stat}$;
- maximális robbanási konstans: $K_{max} \leq 500 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- maximális robbanási nyomás: $5 \text{ bar}_g \leq p_{max} \leq 12 \text{ bar}_g$;
- a lefúvóvezeték hossza kisebb mint l_s .

A Russo et al. [1] kutatási eredményei szerint a (14) összefüggéssel meghatározott, emelt redukált túlnyomás értéke 33 %-os relatív hibával közelíti a mérési eredményeket, központi gyújtás esetén.

Ahogy arra Russo et al. [1] is rámutatott, a lefúvóvezeték átmérője jelentős hatást gyakorol a lefúvatás közben végbemenő folyamatokra és a maximális nyomás értékére. Mivel az összefüggések az (1) és (2) összefüggésekkel mind a konstansok, mind változók tekintetében teljesen azonosak, feltételezhetjük, hogy a VDI szabványi összefüggések mindössze nyomdahibát tartalmaznak.

2.6. Kiterjesztett Yao modell (Di Benedetto et al.) modellje gázrobbanásra

Bradley és Mitcheson [13][14] munkáikban Yao elméletét kiegészítve olyan modellt dolgoztak ki lefúvatott gázrobbanásra, melynek segítségével egyszerű összefüggések felhasználásával méretezhető a szükséges lefúvófelület. Két dimenziótlan mennyiséget definiáltak: az S a lángfront előtti gázáramlás sebességének és a hangsebesség arányát fejezi ki:

$$S = \frac{S_0(E-1)}{c} \quad (16)$$

Az A paraméter a $C_d A_v$ hatásos lefúvófelület (ahol $C_d = 0,6$) és a készülék belső felületének aránya:

$$A = \frac{C_d A_v}{A_s} \quad (17)$$

A két paraméter arányához hasonlóan Molkov [15] definiálta a Bradley-számot:

$$Br = \frac{A_v}{V^{2/3}} \frac{c}{S_0 \left(E - \frac{1-1/\gamma_b}{1-1/\gamma_u} \right)} \quad (18)$$

Az úgynevezett turbulens Bradley-szám pedig:

$$Br_t = \frac{\sqrt{E}}{\sqrt[3]{36\pi}} \frac{Br}{\frac{\chi}{\mu}} \quad (19)$$

A kettő hányadosát Molkov (említve: Di Benedetto et al. [16]) a következő összefüggéssel írja le:

$$\frac{\chi}{\mu} = \alpha \left[\frac{(1+V^{1/3})(1+0,5Br^\beta)}{1+\frac{p_{stat}}{p_0}} \right]^\gamma \quad (20)$$

Az összefüggés empirikus paramétereit szénhidrogén-levegő keverékek esetén a következők: $\alpha = 1,75$, $\beta = 0,5$, $\gamma = 0,4$. Di Benedetto et al. [16] szerint a lefúvóvezetékkel történő lefúvatásra a turbulens Bradley-szám és a redukált nyomás kapcsolata a következő:

$$\frac{p'_{red}}{p_0} = \frac{1}{Br_{t,vd}^2} \quad (21)$$

A láng Reynolds-száma a (22) szerint számítható:

$$Re_F = \frac{S_0 V^{1/3} \rho}{\mu} \quad (22)$$

A fentebbiek értelmében és Lautkaski [10] vizsgálatai alapján:

$$\frac{Br_{t,vd}}{Br_t} = 0,497 Re_F^{-0,03} \cdot \left(\frac{p_{max}}{p_0} \right)^{0,432} \left(\frac{l}{d} \right)^{-0,098} \left(\frac{p_{stat}}{p_0} \right)^{-0,417} \quad (23)$$

A fentebbi empirikus összefüggések alapján a lefúvóvezeték alkalmazása melletti redukált nyomás (p'_{red}) számítható. Lautkaski [10] vizsgálatai alapján a modell relatív hibája 24 %.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott számítási modellek és egyéb módszerek alkalmasságát a maximális redukált robbanási nyomás meghatározására a cikkek, tanulmányok, publikációk szerzői megfelelően alátámasztották munkájuk során. Legtöbbjük a megnövekedett redukált robbanási nyomás számítására alkalmas összefüggés, ám az NFPA 68 a szükség szerint megnövelt lefúvató felület számítására használatos összefüggéseket ad meg. A számítási modellek mindegyike alkalmas a lefúvóvezeték hatásának leírására.

4. JELÖLÉSJEGYZÉK

Jelölés	Megnevezés
A	dimenziótlan felület, -
A_s	készülék belső felülete, m^2
A_v	lefúvófelület, m^2
A_{vf}	szükséges lefúvófelület csatorna alkalmazása mellett, m^2
Br	Bradley-szám, -
Br_t	turbulens Bradley-szám, -
$Br_{t,vd}$	turbulens Bradley-szám, lefúvóvezeték alkalmazásával, -
c	helyi hangsebesség, m/s
C_d	lefúvási tényező, -
d	lefúvóvezeték hidraulikai átmérője, m
E	expanziós faktor, -
f_d	D'Arcy-féle súrlódási tényező teljesen turbulens áramlásra, -
K_{elbow}	könyök idom ellenállási tényezője, -
K_{inlet}	csatorna belépő keresztmetszet ellenállási tényezője, -
K_{max}	robbanási konstans, $bar \cdot m \cdot s^{-1}$

K_{outlet}	csatorna kilépő keresztmetszet ellenállási tényezője, -
K_{st}	robbanási konstans por közegre, $\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
l	lefűvővezeték hossza, m
l_s	hangsebességhez tartozó lefűvővezeték-hossz, m
$(l/d)_s$	hangsebességhez tartozó l/d viszony, -
p_0	kezdeti nyomás, bar_g
p_{max}	maximális robbanási nyomás zárt térben, bar_g
p_{red}	redukált robbanási túlnyomás, bar_g
$p_{\text{red,max}}$	maximális redukált robbanási túlnyomás, bar_g
p'_{red}	redukált robbanási túlnyomás lefűvővezeték alkalmazásával, bar_g
$p'_{\text{red,max}}$	maximális redukált robbanási túlnyomás lefűvővezeték alkalmazásával, bar_g
p_{stat}	hasadóelem statikus aktivációs nyomása, bar_g
r	lefűvővezeték hajlítási sugara, m
Re_f	láng Reynolds-száma, -
S	lángfront előtti gázáramlás sebességének és a helyi hangsebesség viszonya, -
S_0	lángterjedési sebesség, m/s
V	készülék térfogata, m^3
α, β, γ	empitikus konstansok, -
γ_b, γ_u	elégett és el nem égett közeg izentropikus kitevője, -
ε	felületi érdesség, -
η	levegő dinamikai viszkozitása, Pas
μ	lefűvási együttható, -
ρ	levegő sűrűsége, kg/m^3
χ	lángfront ráncolódási együtthatója a lefűvőnyílás közelében, -

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. IRODALOM

[1] P. RUSSO, A. DI BENEDETTO: Effects of a Duct on the Venting of Explosions – Critical Review, *Trans IChemE*, Vol. 85 (B1), pp. 9-22, doi:10.1205/psep.04268

- [2] B. PONIZY, J. C. LEYER: Flame Dynamics in a Vented Vessel Connected to a Duct: 1. Mechanism of Vessel-Duct Interaction, *Combustion and Flame*, Vol. 116 (1999), pp. 259-271, doi: 10-2180/99/\$19.00
- [3] W. KORDYLEWSKI, J. WACH: Influence of Ducting on Explosion Pressure: Small Scale Experiments, *Combustion and Flame*, Vol. 71. (1988), pp. 51-61.
- [4] H. P. SCHILDBERG: Gas Phase Detonations: Effective Pressures Acting on the Walls of the Enclosures and Probability of Deflagration-to-Detonation Transition to Pipes, Vessels and Packings, *Lecture on the occasion of the award of the EPSC price for Process Safety 2018*, Tuesday, 12th June 2018.
- [5] W. BARTKNECHT: *Explosions*, Springer-Verlag, Berlin, 1981., ISBN 978-3-642-67749-6
- [6] EN 14994-2007 szabvány: Gas Explosion Venting Protective Systems
- [7] NFPA 68-2002 szabvány: Guide for Venting of Deflagrations
- [8] MSZ EN 14491-2006 szabvány: *Dust Explosion Venting Protective Systems*
- [9] VDI 3673-2002 szabvány: Pressure Release of Dust Explosions
- [10] R. LAUTKASKI: *Duct venting of gas explosions. Revision of two proposed engineering correlations*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.25 (2012), pp.400-413.
- [11] R. K. ECKHOFF: Differences and similarities of dust and gas explosions: A critical evaluation of the european 'ATEX' directives in relation to dusts, *Journal of Loss Prev. in the Proc. Ind.*, Vol. 19 (2006), pp. 553-560.
- [12] W. BARTKNECHT: *Explosionsschutz, Grundlagen und Anwendung*, Springer (Berlin), 1993., pp. 470-535.
- [13] D. BRADLEY, A. MITCHESON: *The venting of gaseous explosions in spherical vessels. I -Theory*, *Combustion and Flame*, Vol. 32 (1978), pp. 221-236
- [14] D. BRADLEY, A. MITCHESON: *The venting of gaseous explosions in spherical vessels. II -Theory and Experiment*, *Combustion and Flame*, Vol. 32 (1978), pp. 237-255
- [15] V. V. MOLKOV: Explosion Safety Engineering: NFPA 68 and improved vent sizing technology, *Interflam '99. Proceedings of the 8th International Fire Science & Engineering Conference, Edinburgh, 29 June – 1 July 1999*, pp. 1129-1134
- [16] A. DI BENEDETTO, P. RUSSO, E. SALZANO: *The Design of Duct Venting of Gas Explosions*, Wiley InterScience, 2007. nov. 19., doi: 10.1002/prs.10239

MEGHIBÁSODÁSOK LOKALIZÁLÁSA VIBRO-AKUSZTIKUS MÓDSZEREKKEL GÉPÉSZETI SZERKEZETEK ESETÉN

LOCALIZATION OF FAILURES WITH VIBRO-ACOUSTICAL METHODS IN CASE OF MECHANICAL STRUCTURES

*Kriston J. Balázs**, *Dr. Jálics Károly***

ABSTRACT

The present study is concerned with the presentation of diagnostic strategies and methods based on vibro-acoustic signals that are able to check the operation of mechanical structures (e.g. internal combustion engines) or to detect faults under both test bench and operating conditions. The main purpose of this study is to summarize and review the state-of-the art monitoring procedures and diagnostic techniques based on vibrational and acoustical signals by the help of literature sources. The paper seeks to illustrate the application of each method through practical examples, so it may be useful for those who wish to understand which types of fault can be diagnosed by using vibro-acoustic diagnostic systems.

1. INTRODUCTION

The behaviour of the elements of a mechanical structure can be observed through physical parameters, such as temperature, pressure, rotating speed and vibro-acoustic characteristics. Due to the malfunctions and wearing of machine elements during operation the emitted noise and vibration values change compared to the intended operating conditions. Tracking of these parameters in diagnostic way help the professionals to reduce the maintenance costs, preserve the planned lifetime and plan the maintenance activities reliably. The vibration signal is sensitive to all faults, while torque, pressure or other measurements are able to detect only some specific faults. Therefore, the noise and vibration analysis technically can be an effective tool for faulty condition detection. Dr. Jálics [1] collected the vibro-acoustical symptoms of defected motor, powertrain, brake system and bodywork in case of four - cycle engine with plain shaft bearings. Damages of structural components were initially observed by visual inspection and over time a large number of procedures have been developed to ass's structural damages. Industrial vibro-acoustic procedures went through a significant advancement in the last decades thanks to the more powerful computers and advanced numerical processes and methods (e.g. artificial intelligence). Technical progress allowed

determining the sound transmission in a structure and the associated radiation characteristics.

Beside the signal analysis the numerical methods fill a significant role in vibro-acoustic analysis since the 1960s when digital computers became available. In general, the analytical and numerical techniques are based on the same mathematical formulations (partial differential equations). For numerical methods additional approximations are necessary to solve a variety of complex problems (geometry or boundary conditions). Analytical methods can be applied to relatively simple problems and often more accurate. Thus, analytical and numerical methods should be used together. At present, the main numerical prediction techniques are based on finite element, infinite element and boundary element methods. The finite element (FE) method is commonly used to solve interior-structural acoustic problems. The boundary element (BE) method was subsequently developed to solve exterior structural-acoustic problems. Due to high computational efforts finite element and boundary element methods are generally applicable in the low-frequency range. Statistical energy analysis (SEA) (1960s) was the first method that was developed for application in the high frequency range. In the 1990s hybrid techniques e.g. hybrid FE/SEA method was formed by numerical modeling experts. The goal was to overcome the frequency limitations and create a method, which is applicable in the mid-frequency range [2] [3].

In the future - thanks to the rapid advancement of computing power and sensing technology – the application of machine learning (ML) and deep learning (DL) algorithms in vibroacoustic condition monitoring systems will be more common. Furthermore, the engineering applications of artificial intelligence increase the effectiveness of the maintenance systems based on vibro-acoustic [4].

2. THEORETICAL BACKGROUND

In general, the detection of faults in machines can be performed using two different monitoring and diagnostic strategies. The first monitoring and diagnostic strategy requires a model of the entire mechanical system using Finite Element Method (FEM) or lumped-parameter techniques. On this model potential faults can be simulated. The obtained vibro-

*PhD Student, University of Miskolc, Institute of Machine and Product Design

** Associate professor, University of Miskolc, Institute of Machine and Product Design

acoustic response of the system under both healthy and faulty conditions can be compared with the actual system. The diagnosis will be performed by using a decisional algorithm. The second monitoring and diagnostic strategy consists of detecting vibro-acoustic response signals on real components experimentally so as to obtain numerical or graphical features. These features then can be processed by decisional algorithm to perform diagnosis and register the presence of the faults. Procedures can be divided into two groups: parametric and non - parametric procedures. When signals analysis techniques can detect signals experimentally on a real element, then they are known as non - parametric methods. On the other hand, the parametric methods are using a created experimental model which generates a signal that is similar to the observed signal. The following considerations have to take accounts, when using signal – based techniques: 1. operating conditions (stationary or non – stationary); 2. Signal characteristic (periodic or random, deterministic or stochastic, simple or complex; constant or variable etc.); 3. Machine type (rotating, reciprocating, simple or complex etc.); 4. Signal domain, which provides the most information considering the decision/evaluation algorithm (angular, time, frequency, time – frequency, cepstral, cyclical etc.).

3. SIGNAL ANALYSIS IN TIME AND FREQUENCY DOMAIN

First of all, stationary signal analysis is based on time domain techniques and Fourier transformation. Time-domain analysis is based on the time waveform itself. Frequency-domain analysis is based on the transformed signal from time domain into frequency domain. A visual inspection of a signal in the time domain can identify the nature of the signal (stationary or non - stationary) and the presence of some periodicity. In 2002 Mazda Motor Corporation placed an order for a large 220 channel PULSE system for modal analysis applications to optimise noise and vibration parameters in vehicle powertrains. The development times have been significantly shortened by applying test data at the design stage [5].

3.1 Time Synchronous Average (TSA)

A popular time-domain analysis method is time synchronous average (TSA). It is a widely used signal processing technique, which can be used to highlight periodic signals and to remove or reduce noise and disturbing effects from other sources, so as to enhance the signal components of interest. TSA is an essential algorithmic tool for determining condition of rotating machines for purposes of vibration analysis. During the procedure the vibration data will be resampled synchronously with a shaft and it is the basis of numerous shaft and gear diagnostic algorithms. Hence

the TSA is well suited for gearbox analysis, where the gear under analysis can be separated from other gears and noise sources within the gearbox that are not synchronous with the analysed gear. TSA can be also use as a pre-processing tool for removing the deterministic part of a vibro-acoustic signal. In [6] performance characteristics of TSA algorithms were studied and a Matlab code for Time Synchronous Averaging based on resampling the time domain data was given.

3.2 Visual dot pattern method

Acoustic emission of vibration and acoustical signals can be described as the superposition of sinusoidal signal (Fourier theorem). The normalized time histories of the vibration signal can be represented as symmetrized dot graphs (*Figure 1.*) The visual dot pattern method provides an easy-to-understand figure that is a visual expressing of the sound problem. The main object is to transform a discrete signal to a polar coordinate graph. The display characterizes signal waveforms using patterns of dots in order to identify the changes in the amplitude and frequency of sound and vibration signals.

Wu and Chuang [7] developed an automatic image template matching system for the purpose of fault diagnosis in mechanical system based on symmetric dot pattern method. For this end they created a data base consists of acoustical and vibrational signal patterns of different failures. The input signal pattern of fault is

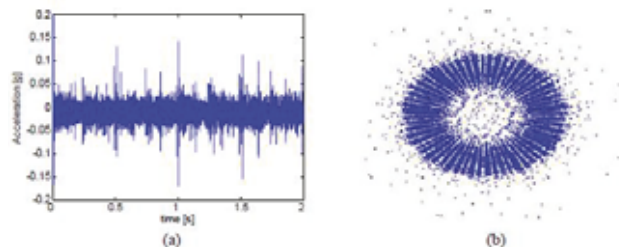


Figure 1. Normal pattern: (a) time input waveform; (b) symmetrized dot polar graph [8].

compared with the template pattern obtained from the data base. The best match of the comparison identifies the type of failure and provides the output signal of failure pattern.

S. Delvecchio et.al [9] proposed a procedure to identify malfunctions in diesel engines by symmetrized dot pattern method. The basic idea is based on the comparison of the ratio of the white dots with healthy and faulty engine condition.

3.3 Fast Fourier Transformation (FFT)

Frequency-domain analysis is based on the transformed signal from time domain into frequency domain. The frequency-domain analysis is able to easily identify and isolate certain frequency components of interest. The most common and popular method for analysing

engineering structures is to record a spectrum. The spectrum can be obtained by fast Fourier transformation (FFT). The Fourier transformation is a mathematical progress, which essence is to convert a time dependent signal into frequency dependent one. The Fourier theorem states that any time domain waveform can be described as a weighted sum of sine and cosine functions. The Fourier series is particularly useful for analysing periodical signals. The practical application of the analysis mainly results from the fact that every single phenomenon has its own proper frequency. Thus, the observation of certain phenomena within the machines through the frequency components enable to engineers to identify mechanical failures or operational deviations. It is often more practical to use orders instead of frequency, because the frequency of some phenomena can change with speed, while orders remain the same. FAG 1204 rolling bearings were studied in an experimental setup by Rubini and Meneghetti [10]. In this study they investigated the vibration behaviour of bearing under faulty conditions, namely defects with different dimensions on inner and outer races and on the rolling elements. The vibration acceleration was measured directly on the bearing case. The *Figure 2.* shows a frequency versus amplitude spectrum. For continuous random signal it is convenient to calculate the Power Spectral Density (PSD) that gives the distribution of the power of the signal with frequency. PSD is the Fourier Transform of the autocorrelation function. Lyon [11] report about a quality control technique on the production line in a sewing machine company. The main idea is to measure the noise of the sewing machines in a small semi anechoic chamber in the end of the production line by an operator. If the quality control supervisor read more than 72 dB during this sewing operation, the machine was the machine was to be rejected. This action was necessary to prevent waste production and redundancy cost.

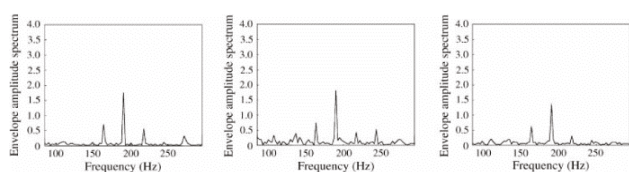


Figure 2. The spectrum of inner race fault: small (a) medium (b) and large (c) defect; frequency resolution: 3.05 Hz; bearing load: 500 N [12].

In [13] an experimental test is carried out to study the performance and noise characteristics of an industrial forward - curved blades centrifugal fan. Different geometries of the volute tongue and hub-volute clearance modifications have been tested. The goal of the work was to reduce the noise without decreasing performance during the whole flow range.

3.4 Short Time Fourier Transformation (STFT)

Typical signals (e.g. in an internal combustion engine) are continuous non - stationary signals. The above - mentioned kinds of techniques, which are based on the assumption of stationarity, are not always effective to examine signals formed by non - stationary dynamic phenomena, so they are usually dealt with using time-frequency techniques. In general, these methods transform one-dimensional time signals into a three-dimensional plane and show the time variations of the signal's characteristic frequencies. The classic Short Time Fourier Transform (STFT) provides uniform resolution in both the time and frequency domains. Other time - frequency analysis techniques such as Continuous Wavelet Transform (CWT), Discrete Wavelet Transform (DWT) and Wigner Ville Distribution (WVD) are applied for diagnostic purposes as well. The Fourier transforms do not clearly indicate how the frequency content of a signal changes over time. Short-time Fourier transform (STFT) is a sequence of Fourier transforms of a windowed signal. To see how frequency components of a signal changes over time, the longer time signal is divided into shorter segments of equal length and then compute the Fourier spectrum separately on each shorter segment. The plotted changing spectra as a function of time known as spectrogram or waterfall plot. Moreover, various approaches to the definition of time-frequency spectra are existing, broadly categorized as linear representations (Gabor forms, evolutionary spectra, and also including the time scale forms of the wavelet transform) and quadratic representations (centred on the Wigner-Ville distribution and the associated Cohen class of distributions).

In the work of Hammond and White [14] the fundamentals of time - frequency distributions were reviewed briefly and a summarizing the interrelations between time - frequency distributions were made. Furthermore, the effects of using different analysis methods on sample time histories were demonstrated. STFT is calculated in order to have a time-frequency method easy to be implemented for the application of the pass/fail procedure. *Figure 3.* Shows the STFT spectrogram of a diesel engine obtained from a normal and faulty condition (piston inverted).

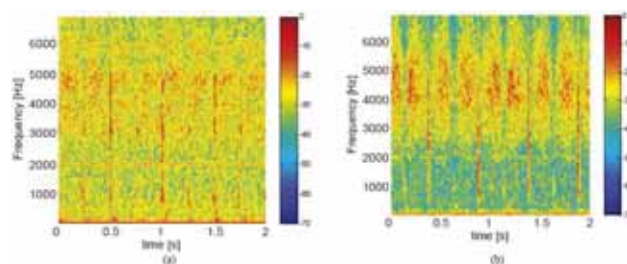


Figure 3. STFT -log normalized amplitude (120 rpm): (a) normal condition; (b) faulty condition (piston inverted) [15].

Using STFT the resonances between mechanical components are easy to recognize.

The well-known problem with STFT is that it provides constant resolution for all frequency range since it uses the same window length for the analysis of the whole signal. The features of other sizes in the signal can't be expressed with reasonably high resolutions. To overcome this limitation the recently developed wavelet transform uses a changing width function so a series of resolutions can be achieved in a single time - scale display. The Fourier transform decompose the signal on to a sinusoid function basis, while the wavelet transform uses a more general function as the basis. This produces more comprehensive transform results. However, the application of the wavelet transformation faces major difficulty, namely the selection of a wavelet.

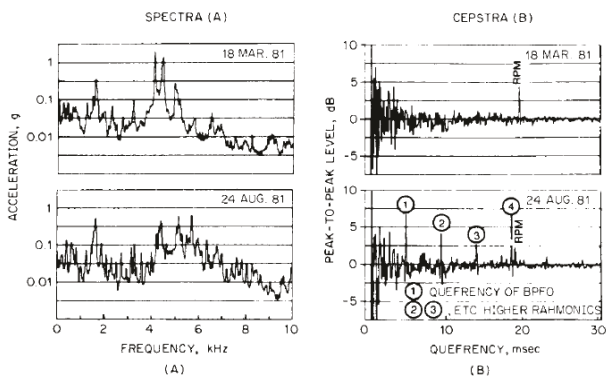
In Jang Yin et. al.'s study [16] internal combustion engine vibration signals were studied. Three popular time-frequency analysis techniques, i.e., STFT, analytic wavelet transform (AWT) and S transforms (ST), have been examined. Without aiming to give an exhaustive list the conclusions of the paper: 1.the vibration signals in an internal combustion engine at a steady speed responding to transient excitations consist of continuous and intermittent parts. A single window width by which both parts can be clearly distinguished may not exist. 2. The spectrograms of three times - frequency transforms are closely related to the window width (for STFT) or the quality factor (for ST or AWT). 3. For cylinder head vibration signals, STFT spectrograms with a reasonable window width exhibit a better frequency localizing ability in time - frequency domain than either ST or AWT without greatly sacrificing time resolution. STFT may be useful in several applications including fault diagnosis, vibro-acoustic source identification, and transfer path analysis.

3.5 Cepstrum

The cepstrum can be defined as the power spectrum of a logarithmic power spectrum. The cepstrum have to contain a reasonable amount of corresponding harmonic or sideband family to obtain distinct peaks. These uniformly spaced components must be adequately resolved in the spectrum. As a guide, the spacing of components to be detected should be a minimum of eight lines in the original spectrum. Measured vibration signals generally consist of a combination of source and transmission path effects. The source and transmission path effects are mixed in the time signals and in the spectra. In the cepstra they quite often separate into different regions, which allow a separation of source and transmission path effects in an externally measured signal. A number of techniques are now available to separate deterministic and random signals included TSA and cepstrum (CEP): linear prediction, self-adaptive noise cancellation (SANC)

and discrete/ random separation (DRS).

Randall [17] compared these different separation methods with each other and presented the advantages and disadvantages of each method through practical examples. He found that the cepstrum analysis can be used to eliminate certain periodic families of harmonics, while leaving others. *Figure 4.* shows the spectrum and the corresponding cepstrum analysis of a measurement made on an auxiliary gearbox driving a generator on a gas-turbine-driven oil pump.



Another advantage of cepstrum analysis is that one *Figure 4. Analysis of vibration of an auxiliary gearbox before and after the development of a fault on one of the bearings.10 (A) Spectrum analysis; (B) the corresponding cepstrum analysis (outer raceway defect) [18].*

component in the cepstrum represents the global "power" content of a whole family of harmonics or sidebands and this value is independent from machine-load condition, selection of measurement location, and phasing between amplitude and phase modulation. Cepstrum analysis make it possible to determine the frequencies precisely, thus it is useful for detection faults of industrial machines as a condition-related parameter. The use of post-processing techniques makes it possible to manipulate the cepstrum, for instance, by removing selected parts of the cepstrum and then transforming the cepstrum back to the frequency and/or time domain.

4. SUMMARY

Currently a number of techniques are available for engineers to predict malfunctions and specify the reason of failures. In this paper an introduction is carried out to show possible applications and limitations of these methods. The study is mainly focusing on signal-based methods rather than the finite element method, boundary element method and statistical energy analysis or combination of these procedures; mentioned in introduction at the beginning of this paper. However, the importance of non-signal-based methods are not negligible, actually it's application area is sufficiently wide. For this reason and the continuous advancement of vibro-acoustical

methods further investigations and more critical reviews are necessary.

5. LITERATURE

- [1] Dr. Jálics Károly, *Járműalkatrészek mechanikai károsodásainak és akusztikai jellemzőinek összefüggései*, 2012 Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárművek Tanszék.
- [2] N. Atalla, R.J. Bernhard, *Review of numerical solutions for low-frequency structural-acoustic problems*, Applied Acoustics 43, 271-294 (1994).
- [3] W. Desmet, *Mid-frequency vibro-acoustic modelling: challenges and potential solutions*, PROCEEDINGS OF ISMA2002 - VOLUME II.
- [4] Onur Avci, Osama Abdeljaber et al., *A review of vibration-based damage detection in civil structures: From traditional methods to Machine Learning and Deep Learning applications*, Mechanical Systems and Signal Processing 147 (2021) 107077.
- [5] Case Study, Mazda Motor Corporation Operational Modal Analysis
<https://www.bksv.com/media/doc/ba0677.pdf> (2020.10.11).
- [6] Eric Bechhoefer, Michael Kingsley, *A Review of Time Synchronous Average Algorithms*, Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2009.
- [7] Jian-Da Wu, Chao-Qin Chuang, *Fault diagnosis of internal combustion engines using visual dot patterns of acoustic and vibration signals*, NDT&E International 38 (2005) 605–614.
- [8] S.Delvecchio, O.Niculita, G.Dalpiaz, A.Rivola, *CONDITION MONITORING IN DIESEL ENGINES FOR COLD TEST APPLICATIONS. PART II: COMPARISON OF VIBRATION ANALYSIS TECHNIQUES*, p8. Figure 8.
- [9] S.Delvecchio, O.Niculita, G.Dalpiaz, A.Rivola, *Condition monitoring in diesel engines for cold test applications. part II: comparison of vibration analysis techniques*.
- [10] R. Rubini, U. Meneghetti, *Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearing*, Mechanical Systems and Signal Processing (2001) 15(2) 287–302.
- [11] Richard H. Lyon (1987), *Machinery Noise and Diagnostics*, Butterworth Publishers, United States of America.
- [12] R. Rubini, U. Meneghetti, *Application of the envelope and wavelet transform analyses for the diagnosis of incipient faults in ball bearing*, Mechanical Systems and Signal Processing (2001) 15(2) p.296, Figure 17.
- [13] Qi Datong, Mao Yijun, Liu Xiaoliang, Yuan Minjian, *Experimental study on the noise reduction of an industrial forward-curved blades centrifugal fan*, Applied Acoustics 70 (2009) 1041–1050.
- [14] J.K. Hammond and P.R. White, *The analysis of non-stationary signals using time–frequency methods*, Journal of Sound and Vibration (1996) 190(3), 419-447.
- [15] S. Delvecchio, O.Niculita, G.Dalpiaz, A.Rivola, *CONDITION MONITORING IN DIESEL ENGINES FOR COLD TEST APPLICATIONS. PART II: COMPARISON OF VIBRATION ANALYSIS TECHNIQUES*, p.5, Figure 3.
- [16] Yang JIN, Zhi-yong HAO, Xu ZHENG, *Comparison of different techniques for time frequency analysis of internal combustion engine vibration signals*, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering).
- [17] Randall, R B; Sawalhi, N; Coats, M, „A comparison of methods for separation of deterministic and random signals”, : International Journal of Condition Monitoring, Volume 1, Number 1, June 2011.
- [18] M. Harris, G. Piersol, Harris' shock and vibration handbook 5th ed. (2002), ISBN 0-07-137081-1, p. 16.22, Fig. 16.11

TERMÉKFEJLESZTÉSI PROJEKTEK: ÉRINTETTEK PRIORITÁSAI A PROJEKT ELFOGADÁSAKOR

PRODUCT DEVELOPMENT PROJECTS: STAKEHOLDER PRIORITIES WHEN APPROVING A PROJECT

Soltész László*, Berényi László**, Kamondi László***

ÖSSZEFOGLALÁS

Egyre nagyobb nyomás van a termékfejlesztésen. A folyamatosan változó elvárások, a verseny felgyorsulása és a technológiai fejlődés sajátos követelményeket generál a fejlesztési idő rövidítésre, miközben a költségek nem nőnek és a minőség sem szenved csorbát. Mivel a termékfejlesztésnek az egész szervezetre kiterjedő hatása van, különböző érdekek és érintettek találkozási pontjában van, ami konfliktusokhoz vezet. A tanulmányban 112 termékfejlesztési szakértő kérdőíves megkérdezése alapján vizsgáljuk, hogy a projektsiker háromszöge (idő, költség specifikáció) hogyan jelenik meg a gondolkodásukban. Az eredmények jelentős különbségeket mutatnak. A termékfejlesztő mérnökök véleménye szerint a vállalat és a projekt menedzsment elsősorban az idő és költség kérdésre fókuszál. Habár a specifikáció mindenkinek a legfontosabb a projekt tervezésekor, az időközbeni változások hatására ez háttérbe szorulhat. A vizsgálatok legfontosabb tanulsága, hogy a prioritások megismerése a szervezeten belül hozzájárulhat egy olyan szabályozási és kommunikációs megoldás kidolgozásához, ami minimalizálja a konfliktusok hatását a projekt sikerére.

ABSTRACT

There is increasing pressure on product development. The ever-changing demand, the acceleration of the competition, and technological development lead to special requirements on reducing the time consumption of the process while the cost and the quality of the results are not harmed. Product development projects have corporate-wide impacts. Therefore, these projects must meet the needs and requirements of various stakeholders. Based on the experience that the evaluation of the project success may be different by the stakeholders, conflicts are expected that can hinder the successful project realization. The paper focuses on exploring the experts' opinions about the importance of the project-triangle model (time, cost, specification) of different stakeholders. The analysis is based on the responses of

112 experts on product development by a voluntary online survey. The results show that there is a remarkable difference in prioritization. Most of the development engineers stated that corporate management and project managers are time- and cost-centric. The specification is crucial for each stakeholder during the project planning phase, but it goes to the background if the frames are changing. The main implication of the research is that the priorities are to explore within an organization that can support a suitable regulatory and communication system that minimizes the conflicts against the project success.

1. BEVEZETÉS

A projektek jelenléte egy vállalat életében egyértelmű jele annak, hogy a szervezet változáson megy keresztül, amivel meg akar felelni a jövő elvárásainak [1], ami fokozottan igaz a termékfejlesztési projektekre.

1. táblázat: Különböző projektek sikercéljai és sikertényezői [8] alapján

Sikercélok	Sikertényezők		
	Alacsony színvonalú technológia	Közepes színvonalú technológia	High-tech technológia
A projekt cél teljesítése	legfontosabb	fontos	A határidő- és költség-tülpépés elfogadható
Fogyasztókra gyakorolt hatás	Előírt paraméterű termék	Hasznos értékes termék	Jelentős mértékben javított állapotok, képességek
Vállalati siker	Kalkulált nyereség	Nyereség, kismértékű piacbővülés	Nyereség-növekedés, piacbővülés, fogyasztói bizalom
Felkészülés a jövőre	Nincs	Új képességek	Új gyártmány, új gyártmánycsalád, új piacok

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem Vezetéstudományi Intézet

*** címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

Minden projekt korlátok között valósul meg, a projekt sikeres végrehajtásáról akkor beszélhetünk, ha azokon belül tud maradni. Ebben a megközelítésben úgy fogható fel a projektmenedzsment feladata, hogy a kijelölt határokon belül tartsa a projektet a megvalósítás szakaszában [2].

Egy projekt sikerének természetesen számos tényezője van, az sokféleképpen értelmezhető és mérhető (lásd: [3] [4] [5] [6]). A határidő, az eredmény és a költségek, mint az ún. projektháromszög [6] [7] elemei átfogóan meghatározzák a projekt egészének sikerességét. Szabó és Cserháti [8] a célok sajátosságait a technológiai bizonytalanság alapján rendszerezi (1. táblázat).

Egy projekt érintette az a személy vagy csoport, aki aktívan részt vesz a projektben, illetve akinek érdekeit a projekt végrehajtása vagy befejezése pozitívan vagy negatívan befolyásolja. Verzuh [9] rámutat, hogy ezek tulajdonképpen szerepek. A legfontosabb érintettek projektben betöltött szerepét a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: *Projektérintetti szerepek [9]*

Érintett	Szerepe, feladata
Projektmenedzser	A projekt közben tartása, kapcsolat biztosítása a szervezet és a projekt között
Projekt team	Egyedi feladattal és felelősséggel rendelkező közreműködők a projekt tevékenységeinek megvalósításában, a projektmenedzser irányítása alatt dolgoznak
Menedzsment	A projekt gazdáját képező szervezet vezetői, az erőforrásokkal eredetileg ők rendelkeznek, együttműködnek a projekt sikeres megvalósításában.
Szponzor	Hivatalos jogkörrel rendelkező személy, aki végső soron felelős a projektért.
Megrendelő	Alapvető érintett, személyesen vagy egyéb követelményein keresztül határozza meg a projekt kereteit, sikerének tényezőit.

Meg kell jegyezni, hogy minden érintett számára más jelenti a sikert: előfordulhat, hogy egy projektvezető kiválóan ítéli a teljesítményt, de a vállalat vezetése nem. A projekt megítélése különböző lehet az eltérő szerepekből adódóan is, másképpen fogalmazva, az érintettek elégedettségéhez más tényezők vezetnek. Noha ezek forrása a projekt sikeres megvalósítása, a célok egymással konfliktusba is kerülhetnek. A projektre nagyobb hatással bíró érintettek érdekei várhatóan nagyobb súllyal jelennek meg a döntésekben. A negatív hatások kiküszöbölése megfelelő szabályozással és kommunikációval oldható meg. Mindez túlmutat a projekt műszaki tartalmán, sőt legtöbbször nem is arra vezethető vissza az érdekek különbözősége, de végeredményben mégis arra lesz hatással.

Az érintettek érdekeinek és a projekthez fűződő viszonyának feltárása a potenciális problémák kezelésnek alapfeltétele.

Minden projekt egyedi és megismételhetetlen, de típusokba sorolásukkal közös karakterisztikák állapíthatók meg [10]. A termékfejlesztési projektek különösen nagy kockázatúak, mert eddig nem ismert termékek és szolgáltatások létrehozására irányulnak, amelyek fogadtatása a piacon és illeszkedése a gyártás-előállítás lehetőségeihez még gondos tervezés esetén is számos bizonytalanságot hordoz. A termékfejlesztésre ugyanakkor szükség van azért, hogy a vállalatok versenyelőnyük megőrzésének érdekében folyamatosan új és még újabb termékeket juttassanak a piacra, nyereségszerzés mellett [11] [12]. A fő kihívás a gyakorlatban a termékfejlesztési projektek átfutási idejének és ezzel a fejlesztési költségeknek a csökkentése [13]. A rövidebb fejlesztési idő esetében csökken a termékfejlesztésre fordított költség, a mérnöki költségek, illetve a befektetés megtérülése is rövidebb lehet, hiszen a termék korábban kerül a piacra, megelőzve a versenytársakat. Ezzel párhuzamosan elvárás a termék- és folyamatminőség javítása. A magas szintű minőség ma már elvárt „kötelező” minimum a vásárlók részéről, de ma már nem jelent különös előnyt. Ha minőségi engedélyt nem lehet tenni, akkor a projektsiker háromszög modellje alapján az időterv vagy a költség megváltoztatása az egyetlen módja a projekt megmentésének még akkor is, ha a minőségi szint enyhítése sokkal könnyebb módja lehetne a termékfejlesztési projekt megvalósításának [11] [13]. Kutatásunk fókuszában az a kérdés áll, hogyan viszonyulnak e kihívásokhoz a projekt érintettjei.

2. VIZSGÁLATI MÓDSZER ÉS MINTA

Online kérdőíves felméréssel kerestünk meg olyan szakértőket 2020-ban, akik termékfejlesztési projekteben részt vettek vagy vesznek. A projektháromszög modellt [6] felhasználva megkérdeztük őket, hogy tapasztalatuk szerint a projekt tervezésekor a specifikáció, az idő vagy a költségkeretek határozzák-e meg inkább az előrehaladást.

Az eredmény (specifikáció) és a másik két tényező (idő és költség) kapcsán a kérdőív két kérdéssel vizsgálja rangsorolással, hogy ezek melyik érintetti körnél dominálnak inkább. A vállalati megoldások sokféleségéből eredő esetleges félreértések elkerülése érdekében négy kategóriát emeltünk ki:

- vállalatvezetés
- projekt team,
- termékfejlesztési vezető
- termékmenedzsment.

Célunk megvizsgálni, hogyan ítélik meg a szakértők általában és különböző csoportképző ismérvek szerint a termékfejlesztési projektek érintettjeinek hozzáállását az alapvető sikertényezőkhöz.

Az eredmények 112 szakértő válaszaiból alakultak ki. Közülük 67 fő MSc vagy magasabb szintű végzettséggel rendelkezik, 45 főnek BSc oklevele vagy középfokú végzettsége van. 58 fő legfeljebb 10 év munkatapasztalattal rendelkezik termékfejlesztési területen, 54 fő ettől többel. A kérdőívet kitöltő szakértők közül 32 vett részt fejlesztőmérnökként termékfejlesztési projektben, 30 fő projektmenedzserként, 23 fő pedig termékfejlesztési vezetőként.

3. EREDMÉNYEK

3.1 Specifikáció, idő és költségkeret

Az átlagos véleményeket jól leírja az egyéni értékelések rangszámaiból számított átlagos érték, kérdésenként. A rangszámok átlaga alapján a projekt tervezésének kezdetekor a specifikáció a legfontosabb tényező, ezt követi az időkeret betartása és legkevésbé fontos a költségek (1. ábra). Arra a kérdésre, hogy a specifikáció változása esetén mi lesz a legfontosabb, továbbra is a specifikációt értékelték a legfontosabbnak, de a különbségek csökkentek.



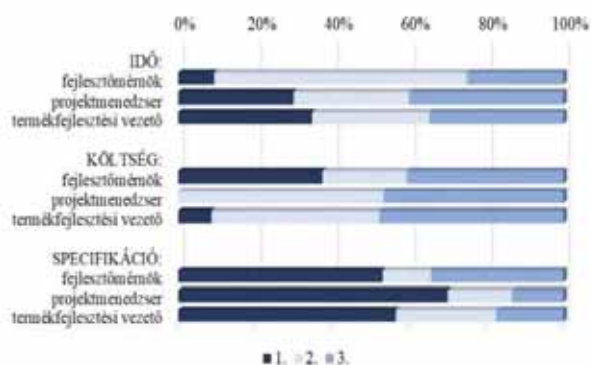
1. ábra: Projektháromszög tényezőinek értékelése, rangszámok átlagértékei (az alacsonyabb érték jelent fontosabb tényezőt)

A tervezési és újra-tervezési fázisra vonatkozó értékelések közötti korrelációs értékek (3. táblázat) alapján az időtényezővel kapcsolatos vélemények a leginkább stabilak, de a költség és specifikáció értékelése között is közepes, szignifikáns kapcsolat van a szakértőknél.

3. táblázat: Spearman-korrelációs együtthatók értéke a sikertényezők értékelésének rangszámai között

		Időkeret betartása	Költségkeret betartása	Tervezett specifikáció betartása
Időkeret betartása vagy újragondolása	Korrelációs együttható	,563**	-,168	-,400**
	Szig.	,000	,076	,000
Költségkeret betartása vagy újragondolása	Korrelációs együttható	-,263**	,362**	-,048
	Szig.	,005	,000	,612
Új specifikáció betartása	Korrelációs együttható	-,235*	-,188*	,383**
	Szig.	,013	,048	,000

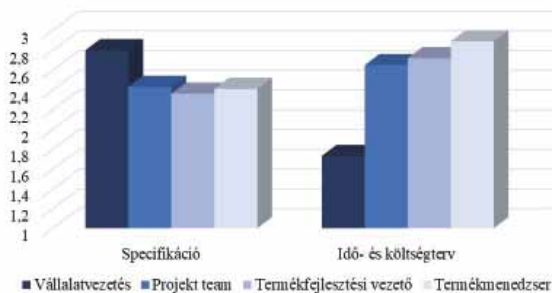
A projektben betöltött szerep alapján az értékelések megoszlását a 2. ábra foglalja össze. Az idő és költségkeret szerepében a projekt tervezésekor vegyes kép mutatkozik a kiemelt érintettek között. A fejlesztőmérnökök esetében a specifikáció – idő – költség sorrend a leginkább jellemző, de 38%-uk a költségeket értékelte első helyre, 10%-uk pedig az időt. A projektmenedzserek között a legnagyobb arányú (70%) a specifikáció megjelölése az első helyen a többi érintetthez képest, 30%-uk pedig az időtervet jelölte meg itt, a költségeket egyik válaszadó sem.



2. ábra: Sikertényezők fontosságának értékelése, rangszámok gyakorisága különböző projektben betöltött szerepek esetén

3.2 Sikertényezők képviselője a projekt elfogadásakor

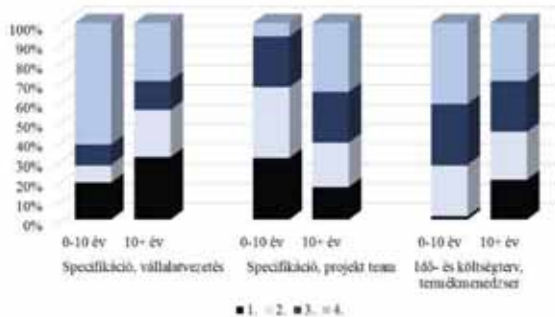
Az előzőekben tárgyalt problémát megfordítva vizsgálja a felmérésünk, amikor azt kértük rangsorolni, hogy kinek mennyire fontos a specifikáció, illetve az idő- és költségtervek betartásának képviselője a projekt elfogadásakor. A rangszámok átlagos értékeit a 3. ábra foglalja össze, az alacsonyabb érték nagyobb fontosságot jelent. A specifikáció a projekt team számára a legfontosabb kérdés, míg legkevésbé az a vállalatvezetés számára. Az idő- és költségterv ugyanakkor a vállalatvezetésnek a legfontosabb, legkevésbé pedig a termékmenedzsereknek.



3. ábra: Specifikáció, idő- és költségtervet fontosságának értékelése, átlagos értékek (alacsonyabb érték nagyobb fontosságot mutat)

Az iskolai végzettség alapján (keresztábra-elemzéssel) nem találtunk szignifikáns eltéréseket a rangsorokban. A termékfejlesztési projekteken szerzett tapasztalat alapján, a specifikációt képviselők értékelésében szignifikáns a különbség a vállalatvezetés ($k_{hi}=12,694$, $d_f=3$, szig.=0,005) és a projekt team ($k_{hi}=15,148$, $d_f=3$, szig.=0,002) rangsorbeli helyében. A 10 évnél kevesebb tapasztalattal rendelkezők 62%-a vállalatvezetést az utolsó helyen jelölte meg, míg első helyen 31%-uk. A másik csoportban egyenletesebb a rangsorolás eloszlása, 31% mindkét értéket. A projekt team a 10 évnél kevesebb tapasztalattal rendelkezők 31%-a szerint szerepel első helyen a specifikáció kérdésénél, a 10 évnél több tapasztalattal rendelkezők körében ez az arány csak 17%, míg 35%-uk az utolsó helyen jelölte meg őket.

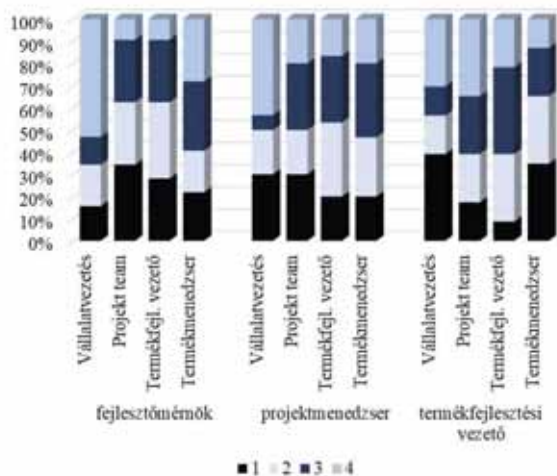
Az idő- és költségterv kapcsán a termékmenedzserek értékelése mutat szignifikáns különbséget ($k_{hi}=10,477$, $d_f=3$, szig.=0,015). A 10 évnél kevesebb tapasztalattal rendelkezők körében az átlagos rangsorbeli helyük hátrébb van. 41%-uk rangsorolta őket az utolsó helyre, és mindössze egy válaszadó az elsőre. A 10 évnél több tapasztalattal rendelkezők 30%-a rangsorolta őket az utolsó helyre, míg 20%-uk az elsőre. A szignifikáns eredményeket a 4. ábra foglalja össze.



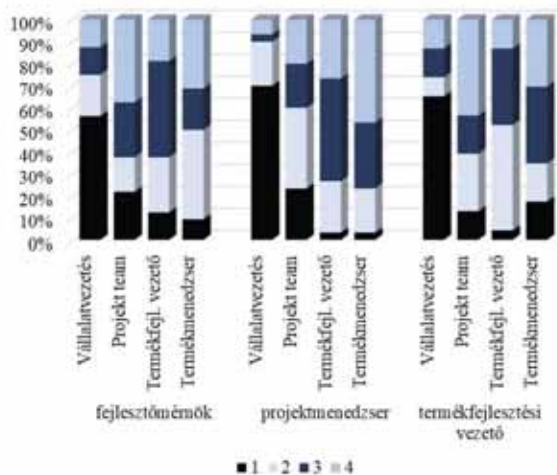
4. ábra: Egyes tényezők rangszámainak gyakorisága termékfejlesztési projekteken szerzett tapasztalat alapján

A fejlesztőmérnökök, projektmenedzserek és termékfejlesztési vezetők véleményének eloszlását külön is vizsgáltuk (5-6 ábrák). A legnagyobb különbségek e

csoportképző ismérv szerint is a vállalatvezetés szerepében látszanak, különösen a specifikáció érdekeinek képviselője kapcsán.



5. ábra: Egyes szereplők értékelési rangszámainak gyakorisága, specifikáció kérdése



6. ábra: Egyes szereplők értékelési rangszámainak gyakorisága, idő- és költségterv kérdése

A fejlesztőmérnökök többsége úgy látja, hogy a vállalatvezetés egyértelműen idő- és költségterv-központúan gondolkodik, a specifikáció tekintetében utolsó helyre rangsorolták őket. Hasonlóan gondolkodnak a projektmenedzserek is. A projektmenedzserek szerint az idő- és költségtervek legkevésbé a termékmenedzsereket érdeklik, de a specifikáció esetében vegyes képet mutatnak az eredményeik, nem emelkedik ki egyik érintett sem dominánsan.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A projekt sikere a forrása minden érintett elégedettségének, bár az érintettek érdekei részben eltérőek lehetnek. A projektmenedzsment szempontjából a projektmenedzsment tudjuk kiemelni abból a szempontból, hogy ő „mindenért felelős”. Irányítja a projekt folyamatát, befolyásolja a projektteam és a végrehajtók munkáját, ugyanakkor közvetlen kapcsolatot tart a vállalatvezetéssel is. Ő képviseli a projektet, prioritizálva az érintettek céljait és véleményét. Ha ezek a vélemények közelebb esnek egymáshoz, az megkönnyíti a projektmenedzsment munkáját.

A projekt sikerének alapvető összetevői közül a specifikáció biztosítását értékelték a válaszadók a legfontosabbak, és a költségek jelentik a legkevésbé fontos szempontot. A projektben résztvevő fejlesztőmérnökök, projektmenedzsment és termékfejlesztési vezetők véleményét részletesebben vizsgálva árnyaltabb kép látszik. Meglepő eredmény, hogy a projektmenedzsment jelölték meg legnagyobb arányban a specifikációt az első helyen.

Azon kérdések a felmérésben, amelyek a specifikáció, illetve az idő- és költségterv képviselőivel kapcsolatban kérték a szakértőket az érintetteket sorba rendezni, elsősorban a projektmenedzsment munkáját hivatott segíteni. A felmérés eredményei alapján a vállalat vezetését az idő- és költségtervre vonatkozó kérdések megnyugtató tisztázásával lehet meggyőzni a projekt támogatásáról, a projekt team tagjaival a specifikációt kiemelve célszerű kommunikálni, illetve a szakmai vezetőket is elsősorban ez érdekli (lásd: 3. ábra).

Az érintettek véleményének vállalati szintű felmérésével olyan, projektekre vonatkozó eljárások dolgozhatók ki, amelyekkel javítható az együttműködés és fokozható a projekt sikere.

6. IRODALOM

- [1] CLELAND D.I.: *Project Management. Strategic Design and Implementation. Second Edition.* Mcgraw-Hill, 1994, ISBN 9780070113510
- [2] BERÉNYI L.: *Projektmenedzsment.* A projektek szervezetbe illesztése. Bíbor Kiadó, 2015, ISBN 9786155536083.
- [3] SZABÓ L.: *Projektmenedzsment.* Pearson Publishing, 2012, ISBN 9781781345078
- [4] BLASKOVICS B., DEUTSCH, N. Magas innováció-tartalmú projektek menedzsmentje. In: Kőszegi, Irén Rita (szerk.) *III. Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia: Versenyképesség és innováció.* Neumann János Egyetem Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, 2019, pp. 933–939.
- [5] HORVÁTH V.: Project management competence – definitions, models, standards and practical

implications *Vezetéstudomány*, Vol. 50, No. 11, (2019), pp. 2–17.

- [6] GÖRÖG M.: *Projektvezetés a szervezetekben.* Panem Kiadó, 2019, ISBN 9786155186172
- [7] HOBBS P.: *Projektmenedzsment.* Scolar Kiadó, 2011, ISBN 9789632442440
- [8] SZABÓ L., CSERHÁTI G.: Stratégiai projektek irányítása – a projektvezetés kihívásai. *Magyar Minőség*, Vol. 24, No. 7, 4–14.
- [9] VERZUH E.: *Projektmenedzsment.* HVG Kiadó, 2006, ISBN 9789637525773
- [10] PAPP O.: *Projekt menedzsment: Projektek tervezése, szervezése, irányítása.* BME Mérnöktovábbképző Intézet, 1995, ISBN 9634317871
- [11] SOLTÉSZ L.: Product development project of high performance electrical power pilot valve in practice, *GÉP*, Vol. 70, No. 4, (2019), pp. 21–25.
- [12] VAJNA S. (ed.): *Integrated Design Engineering: Interdisciplinary and Holistic Product Development.* Springer International Publishing. 2020, doi:10.1007/978-3-030-19357-7
- [13] SOLTÉSZ L., BERÉNYI L., KAMONDI, L.: Analysis and assessment of the product development process, *GÉP*, Vol. 71, No. 3-4, (2020), pp. 61–67.

AXIÁLIS ÁTÖMLÉSŰ SZIVATTYÚJÁRÓKERÉK AUTOMATIZÁLT TERVEZÉSE

AUTOMATED DESIGN OF AXIAL FLOW PUMP IMPELLER

Kalmár László*, Hegedűs György**, Fáy Árpád***

ABSTRACT

This article describes the main features of the AXPHD V2.0 computer software package developed for the numerical execution of a numerical hydraulic and mechanical design procedure for axial flow pump impellers, which is directly suitable for a wide range of geometry, hydraulic and flow characteristics of the pump, and helps carry out its hydraulic and mechanical design. The main purpose of compiling this article is to present the developed computer program package AXPHD V2.0 in general, describing the characteristic features of the available program modules, summarizing the results obtained and considered more important during the design of the axial flow prototype pump with adjustable blades. The applicability of the developed design algorithm and the computer code AXPHD V2.0 developed for its numerical implementation - the design of the axial flow pump impeller blade of our choice G162 - using the AXPHD V2.0 design software package, and then the application of the resulting geometric body model supported by the presentation of results obtained by manufacturing a prototype impeller using 3D printing.

1. BEVEZETÉS

A cikkben röviden bemutatjuk az axiális átömlésű járókerék hidraulikai és gépészeti tervezésének numerikus végrehajtására kidolgozott számítógépes kód fő moduljait, amelyek egymásra épülve készítik elő és teszik lehetővé a teljes – hidraulikai és gépészeti – tervezés folyamatos és gyors végrehajtását. A tervező programcsomag szerkezetét és kényelmes használatát egy minta tervezési feladat főbb lépéseinek rövid ismertetése, valamint a tervezés folyamatában előállított eredményeinek összefoglalása révén mutatjuk be. A programcsomag futtatása során a szivattyúlapát testmodelljének előállítására az AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2019 szoftvert alkalmaztuk.

A járókerék lapát és a lapátokhoz közvetlenül kapcsolódó agyrész 3D-s testmodelljének ismeretében előállíthatók azok a fájlok, amelyek közvetlenül alkalmasak a járókerék prototípusának 3D-s nyomtatással való elkészítésére is. Emellett ugyancsak kidolgoztuk a megtervezett járókerék fent említett alkatrészeinek műhelyrajzait, amely dokumentációk felhasználásával lehetővé válik azok gyártása klasszikus gyártástechnológia alkalmazásával is.

2. AZ AXPHD V2.0 PROGRAMCSOMAG FŐBB JELLEMZŐI

Az AXPHD V2.0 tervezői programcsomag a Microsoft Visual Studio Community Edition rendszerben C# programozási nyelven került kifejlesztésre. A kidolgozott szoftver a keretrendszeren belül lehetővé teszi a tervezési numerikus algoritmusok adatbeviteli feladatainak egyszerű és gyors végrehajtását. A program a futtatása során automatikusan létrehozza a járókerék különböző tervezési változataihoz tartozó kiinduló tervezési paramétereinek adatbázisát és biztosítja az ott tárolt adatok egyszerű kezelését. Ugyancsak elvégzi a különböző programozási nyelveken kifejlesztett numerikus programmodulok futtatási tevékenységeinek jól összehangolt és kényelmes végrehajtását, valamint a számítási eredmények magas szintű grafikus megjelenítését is.

Az alábbiakban áttekintjük a Főmenüben szereplő menüpontokhoz tartozó jellemzőket azok megjelenési sorrendjében. Ennek során az adott programmodul főbb tulajdonságait azok végrehajtása során az elvégzett feladatok ismertetésével és a rendelkezésre álló választási lehetőségek felsorolásával mutatjuk be.

Az AXPHD V2.0 programcsomagban az alábbi fő menüpontok találhatóak meg:

- **Projektkezelés**

A menü kiválasztásakor megjelenő input panelen megadható egy új projektnév, és/vagy kiválasztható egy meglévő projektnév, amihez ezt követően egy új

* címzetes egyetemi tanár, PhD, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

** egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszéke

*** nyugdíjas egyetemi docens, CSc, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

tervezési változat rendelhető. Egy projektnévhez a további futtatások során még tetszőleges számú új tervezési változat tartozhat. A program egy-egy projektnévhez tartozóan automatikusan létrehozza a járókerék különböző tervezési változatainak kiinduló tervezési paramétereit tartalmazó adatbázisát és biztosítja az ott tárolt adatok egyszerű kezelését. Meglévő tervezési változatok esetében a kiválasztott tervezési változat adatbázisban lévő jellemzőinek kezelésében az alábbi funkciók alkalmazhatók: *Betöltés, Mentés, Mentés másként, Archiválás és Törlés*.

A *Projektkezelés* menü kiválasztásakor a monitoron megjelenő panelen táblázatos elrendezésben áttekinthetően megjelennek a már létrehozott projektnévek, majd közvetlenül az alattuk lévő sorokban az adott projektnévhez hozzárendelt tervezési változatok nevei, valamint az aktuális projektnévvel azonos sorban a hozzá tartozó a már korábban megadott/meghatározott aktuális tervezési paraméterek. Új tervezési változat nevének megadását követően a tervezési paraméterek aktuális értékeinek megadása/meghatározása a *Hidraulikai és geometriai jellemzők megadása és meghatározása* menüpont kiválasztását követően hajtható végre. A menüből való kilépés a *Vissza a főmenübe* feliratú programfül segítségével lehetséges, amivel visszatérhetünk a Főmenü panelhez.

- ***Hidraulikai és geometriai jellemzők megadása és meghatározása***

A menü végrehajtásakor input panelek jelennek meg, amelyek lehetővé teszik a járókerék lapát kiinduló hidraulikai tervezési adatainak kényelmes megadását/meghatározását.

Az első input panelen az axiális átömlésű szivattyú járókerék hidraulikai tervezésének végrehajtásához alapvetően szükséges üzemi jellemzőit kell megadni [2, 4, 5, 7 - 9]. Ezek a **G162** jelű járókerékre vonatkozóan a következő üzemi jellemzők értékeit jelentették:

- szállítómagasság: $H = 4,4 [m]$,
- térfogatáram: $Q = 0,437 \left[\frac{m^3}{s} \right]$,
- fordulatszám: $n = 1150 \text{min}^{-1}$
- közeg sűrűsége: $\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$.

A fenti tervezési alapadatokat felhasználva a **G162** jelű szivattyú ún. jellemző fordulatszáma $n_q=250$ értékűre adódott.

Az n_q jellemző fordulatszám ismeretében az ipar gyakorlati igényeit is kielégítő számos tervezési paraméter értékeit tudjuk nagy biztonsággal megválasztani [2]. A járókerék lapátozás fő hidraulikai és geometriai jellemzői a vonatkozó szakirodalomban

megtalálható tapasztalati diagramok és jól ismert összefüggések felhasználásával kerülnek numerikusan itt meghatározásra, vagyis a további input panelek a járókerék fő méreteinek és fontosabb geometriai, illetve hidraulikai jellemzőinek megadását/meghatározását teszik lehetővé. Az így kapott jellemzők képezik a lapáttervezés következő szakaszának, vagyis a *Járókerék hidraulikai tervezésének végrehajtása* menü bemenő adatrendszerét. A program futtatása során az input panelek aktuális adatokkal való feltöltését követően néhány output panel is megjelenik, ahol a szivattyú megadott/meghatározott paramétereit ismeretében meghatározásra kerültek – a hidraulikai tervezés végrehajtása szempontjából fontos – geometriai és hidraulikai jellemzők lapátozás menti eloszlásai, amelyek bemutató diagramok és táblázatok formájában jelennek meg a számítógép monitorán. Ezeknek az áttekintése/ellenőrzése a következő menü futtatása előtt javasolt [7].

A fentiekben említett adatbeviteli folyamatot végrehajtva előállíthatjuk a **G162** jelű járókerék hidraulikai tervezés végrehajtásához szükséges összes tervezési paramétereit, amelyek közül néhány fontos jellemzőinek számértékét itt külön felsoroljuk: a járókerék lapátszáma $N=3$, a járókerék külső átmérője $D_K=0,35m$, az agy átmérője pedig $D_B=0,154m$. A hidraulikai tervezéshez a menüpont végrehajtása során automatikusan 7 db hengermetset is kijelölésre kerül,

amelyek mindegyike vagy $a \frac{D_B}{2} \leq r_i \leq \frac{D_K}{2} = R$, $(i=1, \dots, k_R)$ tartományon belül, vagy azok határán

helyezkedik el. A menüből való kilépés a *Vissza a főmenübe* feliratú programfül segítségével lehetséges, amivel visszatérhetünk a Főmenü panelhez. A menüpontra vonatkozó további részletek a [7] irodalmi hivatkozásban megadott cikk 3-5. bekezdésekben található meg. A továbbiakban – minden menüpontnál – a menüponthoz tartozó tulajdonságok/jellemzők általános összefoglalását követően a **G162** jelű axiális átömlésű szivattyú járókerékre kapott néhány fontosnak ítélt számítási eredményt is bemutatunk.

- ***A járókerék hidraulikai tervezésének végrehajtása:***

Ebben a menüponthoz az ún. hidrodinamikai szingularitások módszer [1, 3] numerikus alkalmazásával a lapátfelület előző menüpontjában kijelölt különböző – összesen 7 darab – diszkrét sugarú hengermetsete mentén adódó lapátmetszetek kontúrgörbéi pontjainak koordinátái és azokban kialakuló áramlási jellemzők értékei kerülnek meghatározásra. A lapátfelület különböző sugarú hengermetseteinek egymáshoz képesti térbeli elhelyezkedését az ún. felhúzási egyenes alkalmazásával tudjuk jól kezelni. A *Hidraulikai és geometriai*

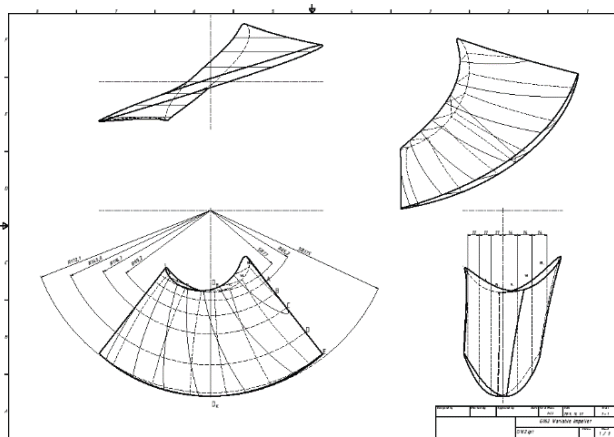
jellemzők megadása és meghatározása menüpontban (lásd a [7] 4. bekezdését) bemutatott paraméterek alkalmas megválasztásával rögzíthető minden hengermetszethez tartozó lapátmetszetnek a felfűzési egyeneshez való térbeli elhelyezkedése. Így a menüpont végrehajtásakor a hengermetszetek mentén adódó lapátmetszetek kontúrgörbéje diszkrét pontjainak a 3D koordinátáit – a felfűzési egyeneshez igazítva definiált – X, Y, Z –koordináta rendszerben meg tudjuk határozni.

• **A járókerék 3D-s testmodelljének kidolgozása**

A szóban forgó menü futtatásakor először egymást követően két input ablak jelenik meg a képernyőn, amelyek felsorolják a program által kidolgozásra kínált elektronikus dokumentációk listáját. Az első ablak a 3D-s, a második ablak pedig a 2D-s állományok opciók listáját tartalmazza. A hidraulikai tervezési eljárás végrehajtása során a különböző hengermetszetek mentén előállított lapátmetszetek diszkrét 3D-s koordinátáit felhasználva az alábbi elektronikus állományokat tudjuk előállítani:

- a járókerék lapáttest 3D-s geometriai test-modelljét,
- a szivattyú járókerék hidraulikai tervdokumentációját.

A komplett hidraulikai tervdokumentáció opcionálisan elkészíthető. Terjedelmi okokból itt csak a lapáttest nézeteit tartalmazó hidraulikai tervdokumentációt mutatjuk be (1. ábra).

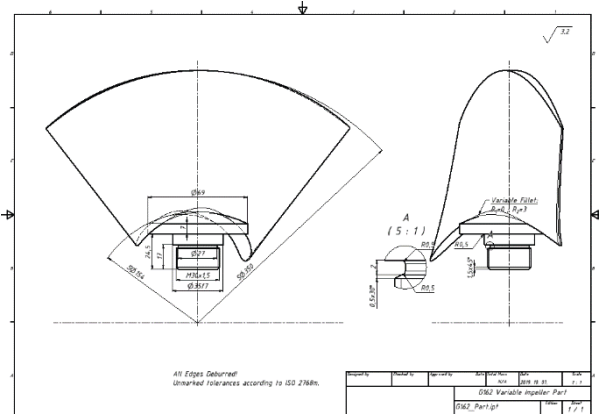


1. ábra A G162 jelű szivattyú állítható járókerék lapát hidraulikai tervrajza

1.
 - A szivattyú járókerék egy komplett lapátjának (vagyis a lapáttest és az annak elfordításához, valamint az előírt szögállású helyzetben való rögzítéshez szükséges menetes tengelycsontok együttese) geometriai testmodelljét és a gyártási tervdokumentációját. A komplett szivattyúlapát geometriai testmodell nézetei a 2. ábrán, a műhelyrajza pedig a 3. ábrán látható.



2. ábra. A G162 jelű szivattyú állítható járókerék komplett lapát 3D geometriai modell két nézeti képe



3. ábra. A G162 jelű szivattyú állítható járókerék komplett lapát műhelyrajza

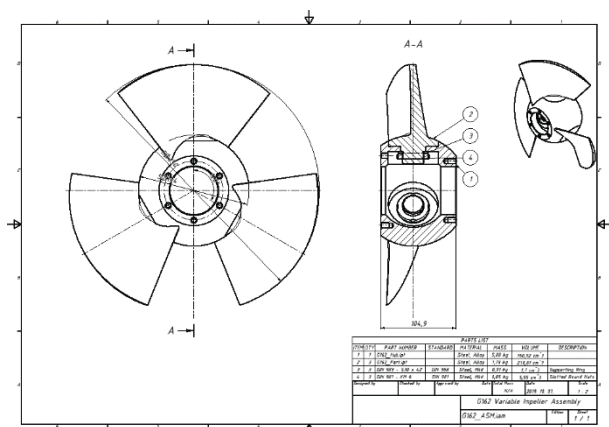
- Axiális átömlésű szivattyú járókerék agyrész lapátokhoz közvetlenül csatlakozó részének geometriai testmodelljét és a gyártási tervdokumentációját. A szóban forgó járókerék agyrész geometriai testmodell nézetei a 4. ábrán, a műhelyrajza pedig az 5. ábrán látható.

A fentekben leírtak szerint a hidraulikai tervezés során kapott eredmények felhasználásával – a futtatást végző szakember döntésétől függően – egyaránt előállíthatók a megtervezett járókerék állítható és fix lapátokkal ellátott változatának műszaki dokumentációi és testmodelljei is. A fix lapátos változatban szintén opcionálisan választható módon elő lehet állítani az agyrész, valamint a lapátok egy munkadarabként történő, illetve külön alkatrészenkénti gyártásához szükséges összes műszaki dokumentáció. Ennek további

részleteit terjedelmi okok miatt itt most nem részletezzük.



4. ábra. A G162 jelű szivattyú állítható járókerék lapátokhoz közvetlenül csatlakozó agyrész 3D geometriai modelljének izometrikus nézeti képe

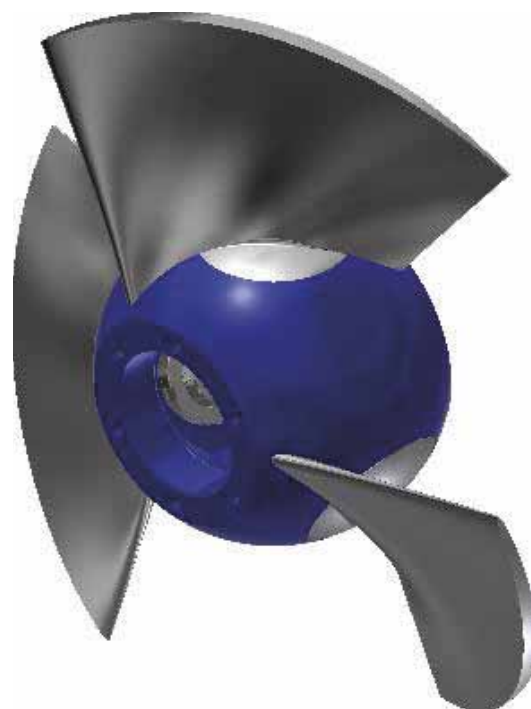


5. ábra. A G162 jelű szivattyú állítható járókerék (komplett lapátokkal összeszerelt agyrész) műhelyrajza

A menüből való kilépés a *Vissza a főmenübe* feliratú programfül segítségével lehetséges, amivel visszatérhetünk a Főmenü panelhoz.

Az **AXPHD V2.0** jelű számítógépes programcsomag futtatása során opcionálisan a fentiekben említett összes geometriai modell *stp* kiterjesztésű fájlljai is kidolgozásra kerültek annak érdekében, hogy azokat a 3D-s nyomtatásához szükség esetén felhasználhassuk. Ezek közül kiemelt jelentőségű szerepet töltek be a szivattyú állítható járókerék komplett lapátjának (2. ábra) és állítható járókerék lapátokhoz közvetlenül csatlakozó agyrész (4. ábra) 3D geometriai modelljei, mivel ezek a hidraulikai és gépészeti tervezés

eredményeinek gyakorlati alkalmazása során még felhasználásra kerülnek.



6. ábra. A G162 jelű szivattyú állítható járókerék (komplett lapátokkal összeszerelt agyrész) 3D geometriai modelljének két nézeti képe

3. TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az automatizált algoritmusok segítségével a tervezési idő nagymértékben csökkenthető. A szilárdtest modellek alapján a 2D-s műszaki rajzdokumentumok, a gyártáshoz szükséges CNC programkódok előállítására a jelenlegi tervezési idő töredékére csökkenthető. A gyártási szimulációkkal a helyes gyártástechnológia ellenőrizhetővé válik [10]. A kidolgozott testmodell közvetlenül felhasználható egy CFD kereskedelmi kód számára és így a szivattyúlapát körüli áramlás numerikus vizsgálata technikailag jól megoldható. A CFD vizsgálat elvégzésével meg lehet közelítőleg határozni a megtervezett szivattyú üzemi paramétereit még a szivattyúlapát tervezési fázisában és így megbízhatóan lehet minősíteni a tervezés eredményességét, ami jelentős költségkímélő hatással bír.

A lapátok vastagság adatait úgy vettük fel, hogy egyezzenek az ipari gyakorlat megszokott értékeivel. Egy további továbbfejlesztési lehetőség lehet, a működés közben fellépő terhelések hatását figyelembe vevő lapát deformáció numerikus FEM (Finite Element Method) vizsgálata. Ennek alapján a szoftver újbóli alkalmazásával új lapát változatok rövid idő alatt számíthatók. A végleges változat a kisminta mérés alapján választható ki.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a szakmai cikk a GINOP-2.1.7-15-2016-00429 azonosítószámú projekt eredményeként – a SZÉCHENYI 2020 – az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg.

5. IRODALOM

- [1] Czibere T.: **A hidrodinamikai rácselmélet két főfeladatának potenciáleméleti megoldása**, Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1965., p. 154.
- [2] Czibere T.: **Áramlástechnikai gépek**, Egyetemi jegyzet (J14-500), Budapest, 1977.
- [3] Kalmár L.: **Összenyomható közeggel működő áramlástechnikai gépek számítógépes tervezése**, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1981., p. 136.
- [4] Fay, A.: **Simple performance model for pumps**, ASME Symposium "Pumping Machinery 1993", Fluids Engineering Conference, Washington D.C. June 20-24. 1993.
- [5] Fáy, Á.: **Computation of pump characteristics**, Conference on Modelling Fluid Flow, September 3-6, 2003, Budapest, Vol. I. p.933
- [6] Kalmár L., Hegedűs Gy., Czibere T.: **Axiális átömlésű szivattyú járókerék lapátozásának számítógéppel segített hidraulikai tervezése**, Szivattyúk, Kompresszorok, Vákuumszivattyúk 2015., BB-PRESS XXII. évfolyam–2015, (ISSN 1219-1108), pp.33-48.
- [7] Kalmár L., Hegedűs Gy.: **Axiális átömlésű szivattyú járókerék lapátozásának számítógéppel segített hidraulikai tervezése és a megtervezett járókerék prototípusgyártásának előkészítése**, Szivattyúk. Kompresszorok, Vákuumszivattyúk 2019., BB-PRESS XXVI. évfolyam–2019, (ISSN 1219-1108), pp.33-49.
- [8] Hegedűs Gy., Kalmár L.: **Axial Pump Impeller Design Using Automated Algorithms**. MultiScience - XXXIII microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, 2019, doi:10.26649/musci.2019.107
- [9] Fodor B., Kalmár L., Takács Gy.: **Axiális átömlésű vízgépek lapátozásának CAD rendszerekben való ábrázolása hidraulikai tervezés eredményeinek felhasználásával**, 13th International Conference in Mechanical Engineering, pp. 139-143, Románia/Satu Mare (Szatmárnémeti), 2005. (ISBN 9737840038, 621(063))
- [10] Kiss D., Tomori Z., Csorba D., Csáki T.: **Reverse engineering a gyakorlatban**, GÉP, 2014/6-7. (LXV), (ISSN 0016-8572)
- [11] Kalmár L., Hegedűs Gy., Fáy Á.: **Axiális átömlésű szivattyú járókerék számítógéppel segített hidraulikai és gépészeti tervezése, a tervező programcsomag jellemzőinek és a járókerék legyártott prototípusának bemutatása**, Szivattyúk. Kompresszorok,

FORGÓ ÁRAMLÁSTECHNIKAI GÉPEK NUMERIKUS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

DESCRIPTION METHODS FOR NUMERICAL ANALYSIS OF ROTARY FLOW MACHINERY

Fodor Béla*

ABSTRACT

This article presents general aspects closely related to the numerical testing of rotating flow engineering equipment, where the most important tasks are briefly summarized. I place emphasis on the structure of the study method and then on the possibilities of each computational model. The article makes it easy to understand and build the tools and criteria needed to numerically test a rotating machine.

1. BEVEZETÉS

Az áramlástechnikai gépeket mind az ipar, mind pedig a hétköznapi élet számos területén alkalmazzuk. Ezek közül egy gépcsoportot alkotnak a forgó gépek, melyekre jellemző, hogy többnyire mechanikai energia bevezetése révén a folyadék energiatartalmát növeljük. Ezek a gépek a munkagépek. Amennyiben az energiaátadás a folyadék energiájának csökkenésével jár és a tengelyen ezáltal mechanikai energiát tudunk levenni, akkor erőgépekről beszélünk. E két energiaátalakítási irány a legalapvetőbb csoportosítás ezeknél a gépeknél. A folyadék energiatartalmának változtatása számos feladat megvalósításához szükséges. Ezek a feladatok többnyire szállítási feladat, vagy egy nagyobb technológiai rendszer egy szegmense. A forgó gépek feladatát tekintve nem lehet kategorikusan kijelenteni, hogy egy kapcsolt rendszer szempontjából milyen mértékben vesz részt a rendszer összehatásfokában. Azonban elmondhatjuk, hogy jelentőségük a csekély mértéktől a jelentősig terjed (pl. turbina, közműszivattyú, csapadékvíz szivattyú, hűtő-kenő folyadék szállító szivattyú, stb.). Összességében elmondható, hogy ezeknek a gépeknek áramlástani szempontból való vizsgálata elengedhetetlen. A vizsgálat egyik célja az lehet, hogy a folyamatos vagy akár a szakaszos üzemű gépek önfogyasztását egyben veszteségeit és ezáltal energiafelhasználását minimalizáljuk.

Mint minden műszaki területen itt is az energiafelhasználás optimalizálása elengedhetetlen. Jelenleg és a múltban is nagyon pontos mérési és leírási módok álltak és állnak rendelkezésre, melyek segítségével jól meghatározhatjuk a gépek üzemi jellemzőit, ezáltal racionalizálhatjuk

energiafelhasználásukat. A gépeket gyártók korszerűbbnél korszerűbb módszereket alkalmaznak ennek elérésére, az elérhető mérési módszerek segítségével. A technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre jobban alkalmazhatók és gazdaságilag elérhetők ezek a módszerek.

A veszteségekkel szoros kapcsolatban van a gépen belüli folyadékáramlás jellege. Ezeket a gépeket vizsgálhatjuk különböző mérési módszerekkel, melyeket bizonyos esetekben nehéz kivitelezni, továbbá vannak helyek és esetek amikor a nagy sebességek és mozgó alkatrészek miatt ez egyáltalán nem lehetséges. Ennek kiküszöbölésére használhatunk számítási modelleket különböző számítógépes környezetben.

A továbbiakban leírtak különböző szimulációs feladatok tapasztalatai és általános áramlástani irodalmi alapok alapján foglalom össze. [1][2][3]

2. ÁLTALÁNOS ÖSSZEFOGLALÓ A FORGÓ GÉPEK NUMERIKUS VIZSGÁLATÁRÓL

A számítástechnika folyamatosnak tekinthető fejlődése egyre nagyobb számításokat tesznek lehetővé, ezáltal időben változó és összetett áramlási feladatok végezhetőek el ún. numerikus számítási módszerek segítségével. A számítások során alapjában véve egy egyenletrendszer megoldását végezzük többnyire háromdimenziós térben. Forgó gépek esetén kevésbé adnak jó eredményeket a kétdimenziós számítások, mert nem veszik figyelembe a tér különböző irányjaiban kialakult áramlási jellemzőket, így a számított paraméterek/változók alakulása és szóródása nem határozható meg pontosan.

A számítás során transzportegyenleteket és szorosan ehhez kapcsolódóan ún. anyagegyenleteket oldunk meg klasszikusnak tekinthető módszerek segítségével, mely módszerek illeszkednek a fizikai számítógép lehetőségeihez. A matematikai számítás folyamata és a számított modellter kapcsolata különösen fontos.

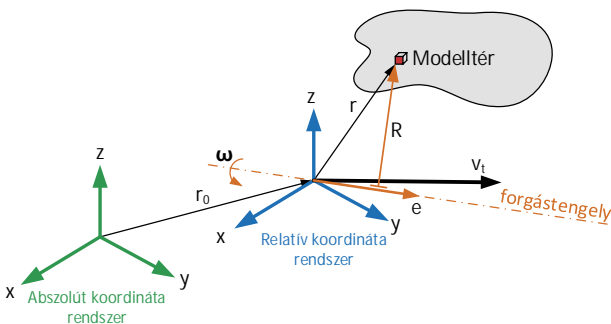
A numerikus vizsgálathoz elengedhetetlen az ún. modellter (domain), ami legjobb esetben azonos a legyártott fizikai géppel és környezetével, azonban vannak esetek, amikor jelentős egyszerűsítések szükségesek ahhoz, hogy adott technikával a számítás elvégezhető legyen. Az egyszerűsítés irányulhat a

* tanszéki mérnök, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

geometria vagy a számítási folyamat, esetleg a folyadékmodell egyszerűsítésére is.

A forgó gépek és minden szerkezet a fizikai háromdimenziós térben helyezkedik el, így a rá ható külső hatások is háromdimenziósak. A modellalkotás során a vizsgált rendszer szempontjából kevésbé releváns hatásoktól eltekinthetünk. Azonban a hatások vizsgálata nélkül nem jelenthető ki kategorikusan, hogy az elhanyagolt jellemzők nem vesznek részt a szerkezet terhelésében vagy nincs hatással a működésére. Tehát jelenlegi ismeretünk szerint elmondhatjuk, hogy minden esetben háromdimenziós tér vizsgálatából kell kiindulnunk, ahol meg kell hoznunk azt a döntést, ahol a cél ismeretében elhanyagolásokkal élünk, figyelembe véve a számítási vagy egyéni kompetenciánkat.

Folyadékáramlások vizsgálata esetén a modellter tartalmazza az összes térfogati elemet, ezáltal szilárd és folyadék tartalmú térfogatok is megtalálhatók benne. A modellteret a számításokhoz ún. ellenőrző térfogatokra kell bontani. Ezekben a relatíve kicsi térfogatokban oldjuk meg az egyes transzport és anyagegyenletet, ezáltal egy igen robusztus matematikai teret kapunk, ahol minden egyes változó értékhez tartozik egy számított adat. Az adatok ismeretében a tér tetszőleges helyén megállapíthatjuk az áramlás jellegét, ezáltal egy olyan eredményt kapunk, ahol a mérőműszer megzavarásától eltekinthetünk. A számított és mért eredmények - amennyiben mód van rá - összevetése ún. validációja elengedhetetlen.



1. ábra Modelltér elhelyezkedése és referencia koordináták

Az 1. ábra a koordináta rendszerek egymáshoz való viszonyát szemlélteti. A modelltér az abszolút rendszer szempontjából tartalmazhat álló és mozgó tartományokat. Az abszolút rendszerben a relatív tér mozog. A mozgó tartományokon belül lévő teret a relatív rendszerben állónak tekinthetjük, amelyen belül oldjuk meg az egyenletrendszert. Az álló és mozgó modelltér egymáshoz való viszonyát különbözőféleképpen lehet értelmezni, mely egyben korlátokat is jelenthet.

E tárgykörbe tartozó gépek energia közlését végző alkatrésze az ún. járókerék, mely forgó mozgást végez. Ilyen gép például: szivattyú, ventilátor, turbina.

A bevezetőben és általános összefoglalóban olvasható információk röviden rámutatnak azokra a fontosabb

szempontokra, melyek egy forgó gép numerikus vizsgálatához szükségesek.

A továbbiakban a vizsgálat egy szegmensének rövid összefoglalójára, vagyis a forgó gépek szimulációjának bemutatására törekszem.

3. NUMERIKUS VIZSGÁLAT FELEPÍTÉSE ÉS ALKALMAS SZOFTVEREK

Numerikus vizsgálatokhoz a saját kódokon túl számos alkalmas szoftver áll rendelkezésre (pl. SimScale, Ansys, Comsol, Numeca, MSC, STAR-CCM+, ESI OpenFOAM, Autodesk Simulation, Solidworks Simulation, Creo Simulate, SolidEdge Simulation). A szoftverek között a hálózási és a megoldási folyamat szempontjából vannak különbségek. A vizsgálat folyamata három fő szakaszból áll, melyet a 2. ábra szemléltet.

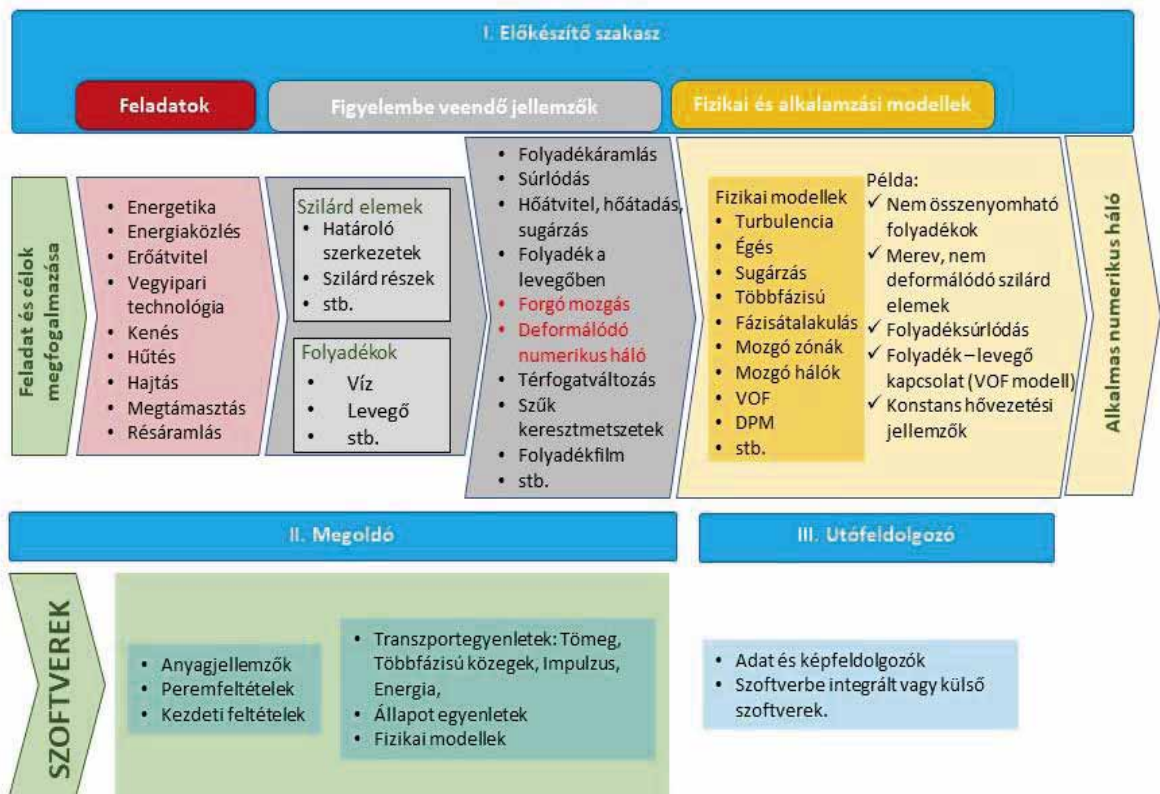
I. Első az előkészítő szakasz, ahol a geometriát a kezdeti és peremfeltételeket, valamint a meghatározni kívánt paramétereket rögzítjük. A szimuláció első szakaszában lehetőleg előre definiálni kell azokat a célfüggvényeket és felületeket, ahol a számított jellemzőket meg szeretnénk határozni. A folyadékáramlási modellek esetén ebben a szakaszban egy időigényes feladat a diszkrétizációs háló elkészítése, mely háló csomópontjaiban történik a későbbi számítás.

II. A második szakaszban a különböző transzport és állapotegyenletek megoldását végezzük a fizikai modellek alapján. Itt meg kell vizsgálni a szimuláció stacionárius és tranziens természetét, ami a szimuláció futásidejére adhat előzetes információkat.

III. A harmadik szakaszban történik az eredmények kiértékelése és vizuális megjelenítése. Ebben a szakaszban használhatjuk fel az I. szakaszban definiált geometriai feltételeket.

A modell jelentésének értelmezéséből kiindulva a szakaszokon belül meghozott döntések a teljes szimulációs folyamatra hatással vannak. A döntésekhez szükséges információk sokszor nem állnak rendelkezésre ezért a legtöbb esetben csak az első szimuláció eredménye alapján lehet meghozni őket. Ezeket a szimulációkat nevezhetjük tesztnek, ahol információt kapunk a futásteljesítményről, a számítási folyamat menetéről, a megoldó egyenletek számításához használt numerikus megoldók pontosságáról és a forgó gépek esetén kifejezetten fontos interpolációs számítások folyamatáról.

Elmondhatjuk, hogy számos ipari terület igényel szimulációs megoldásokat. Ez alapján véve behatóra, mire lesz szükségünk a folyamat többi szakaszában. Utalást kaphatunk a háló felépítésére és minőségére. Például a modellméretek aránya, a szűk hézagok, a mozgásjellemzők többek között a háló sűrűségére utalnak. A hő jelenléte és a kémiai folyamatok az anyagjellemzők változására ad információt. A szilárd és folyékony elemek közötti kölcsönhatások a dinamikai



2. ábra Numerikus szimuláció felépítése

hatások figyelembevételét teszik szükségessé, mely akár a geometriai modell időbeni változását/változtatását is igényelheti. Sok esetben találhatunk vagy készíthetünk előre definiált leíró módszereket csökkentve ezzel a számítási tér méretét, ilyen pl. „nulla vastagságú felület vagy réteg alkalmazása, ahol a vastagság jellemzőit vagy hatását leíró függvényekkel oldhatjuk meg.

A numerikus megoldás a feladatok és figyelembe veendő jellemzők ismeretében felépíthetők és monitorozhatóak. A monitorozott jellemzők segítségével képet kapunk a fizikai és számítási tér kapcsolatáról illetve a számítás „jószágáról”. Sok esetben a számításokat végzők ezzel nem foglalkoznak, azonban a legfontosabb mérőszám arra vonatkozólag, hogy a számítás eredménye elfogadható-e vagy egy matematikai közelítés használhatatlan eredménye. Természetesen sok ajánlás és feltétel figyelembe vehető a folyamat során, de egyik sem biztosítja azt, hogy a számítás eredménye pontos eredményt fog szolgáltatni. Sok esetben a futásteljesítmény jelentős mértékben javítható ezen ajánlások figyelembevételével.

A diszkretizált téren végzett számítások olyan elemi térfogatokon (hálón) végezzük mely alapján véve szimmetrikusak és önmagukban jól kezelhetők, valamint deformációtól mentesek. Ezeket az elemeket nevezhetjük ideális elemeknek, melyek lehetnek pl. szabályos tetraéder, hexaéder, oktaéder alakúak. A deformáció mértékére számos mérőszámot használunk (skewness, orthogonal quality, aspect ratio, parallel deviation, stb.) A deformáció mértéke legtöbb esetben rámutat a számítás

várható hibáira. Ezért sok esetben találkozhatunk különböző ökölszabállyal, ami azt jelenti, hogy egy bizonyos torzultság felett a számítás hibás eredményekhez fog vezetni. Azonban ez egy pontatlan és nem jó megfogalmazás, mert relatíve ideális hálóval is lehet rossz, vagy viszonylag rossz hálóval pedig lehet a valósághoz jól közelítő eredményeket elérni. A torz hálók elhelyezkedése és hatása a teljes modellre nézve jelentőséggel bírnak. A rendszer határán, többnyire a peremeken (mivel a vizsgált rendszer határait kitérítjük a peremeken előírt feltételekkel) rögzített és pontatlan értékek alapján véve torzítják a számítás eredményét és a valós fizikai tér kapcsolatát.

3.1 Térkapcsolatok

A forgó (mozgó) geometriai elemet tartalmazó gépek esetén kétféleképpen építhetjük fel a modellteret.

(A) A mozgó elemet magában foglaló térrész és az álló térrész között egy jól kapcsolódó ún. interfész segítségével a megoldó egyenletek interpolációs módszerek segítségével átadják változóikat a kapcsolódó hálóelem csomópontoknak. Ennek köszönhetően egy állandó hálóval rendelkező térrészek alkalmazhatók, így viszonylag a hálózás nehézségeit kiküszöbölhetjük. Azonban az interpoláció miatt korlátozásokkal kell számolnunk, ahol egyes megoldóegyenletek nem képesek értéket átadni. Ezeket a korlátokat alkalmas kereskedelmi szoftverekben saját kódok segítségével lehet kiküszöbölni. Ennél a felépítésnél a pontatlanság

jelentős része az interpolációból ered, mely külön odafigyelést igényel. Fontos megemlíteni, hogy a forgó tartomány tartalmazza a járókereket határoló forgó felületeket. A modelltér és felületek kapcsolatrendszerét a relatív és abszolút koordináta rendszer viszonya határozza meg.

(B) A másik lehetőség, hogy nem különítünk el álló és forgó térrészeket. Így a teljes modelltér abszolút értelemben véve állónak tekinthetjük. A forgást úgy vesszük figyelembe, hogy a modell szilárd alkatrészei által határolt felületeket a forgásnak megfelelően időben újra és újra átszerkesztjük. Ennek eredménye, hogy egy adott Δt időtartam minden egyes diszkrét időpillanatához tartozik egy geometria. Ennek folyamodványa, hogy minden egyes diszkrét időpillanatban új hálót kell készítenünk, mely a számítási teljesítmény jelentős rovására megy. Ennek kiküszöbölésére alkalmazhatunk olyan tartományokat, melyre korlátozzuk az „újra hálózást”, azonban ez már feladatspecifikus döntés. Forgó gépek esetén ez a tartomány többnyire azonos az (A) módszer során alkalmazott forgó térrésszel, azonban ebben az esetben a kapcsolódás konform így nem alkalmazunk semmilyen interpolációs technikát.

3.2 Kapcsolatrendszer és a modellek

A turbógépek vagy forgó rendszerek matematikai kapcsolatrendszere igen összetett. Többfajta módszert használhatunk a céljaink eléréséhez. A legtöbb módszer a forgó és álló térrészek egymáshoz való viszonyában különbözik, melyre a korábban említett okokból korlátozottan használhatóak. A szoftverek közül talán a legtöbb modellel rendelkező szoftver az ANSYS FLEUNT kereskedelmi szoftver, mely többek között áramlástani és kémiai leírás módokat gyűjt egybe és lehetőséget biztosít összetett feladatok elvégzésére. [4] A továbbiakban az ANSYS elnevezéseit felhasználva jellemzek néhány módszert.

3.2.1 SRF – Single Reference Frame

Legalapvetőbb módszer, ahol egy alulrelaxált egyenletrendszert kell megoldani. Itt lehetőségünk van az energiaegyenlet, valamint több turbulencia modell pl. RANS, LES, DES, Tranziens RANS alkalmazására, ahol diszkrét részecskéket, esetleg égést is tudunk modellezni. A módszer alkalmas kémiai keveredés, nagy nyomású reaktortartályok vagy diszkrét részecskék okozta erózió vizsgálatára. A kapcsolódó interfész esetén feltétlenül monitorozni szükséges a tömegáram átlagértékeit.

3.2.2 MRF – Multiple Reference Frame

Alapjában véve nincs interakció az interfészen. A modellt más néven „fagyasztott rotor módszernek” hívják. Korlátozott az interfészen történő oda-vissza áramlás, valamint nagyon jó minőségű interfész kapcsolatot kell kialakítani. Alulrelaxációra és a Courant

szám csökkentésére szükség lehet. Az interfészek lehetnek periodikusak, így nincs szükség a teljes 3D tartományt figyelembe venni a számításhoz. A periodikus kialakításnak korlátozó feltételei vannak, ezzel számolni kell. Alkalmazhatóak ún. átfedő interfészek. Jól alkalmazható olyan álló és forgó lapátsor vizsgálatánál, ahol nem azonos szög zár be a lapátosztást. [1][2]

3.2.3 MPM – Mixing Plane

Figyelmen kívül hagyja az interfészen lévő egyenetlenségeket, mert átlagértékeket visz tovább a számítás során. Alkalmazható pl. axiális kompresszoroknál, ahol az egymást követő több álló és forgó járókerék pár van nem azonos lapátszámmal. Nagymértékű hibák léphetnek fel az interpoláció során, valamint nem alkalmazható a LES, égés, VOF diszkrét részecskék vizsgálatára. Kerülni kell a nagymértékű fal melletti visszaáramlást.

3.2.4 SMM – Sliding Mesh

A modellek közül alkalmazható legösszetettebb és modellezés szempontjából mindenre képes módszer. Teljes interakció az interfészen. Transz-, szuperszónikus áramlások, lökéshullámok valamint tranziens jelenségek egyaránt vizsgálhatók. Mozgó háló jellemzi, ezért a futásteljesítmény jelentős mértékben romlik. A relatív tér valóban forog az abszolút térhez képest, így egy olyan szimulációt kapunk, ahol minden egyes diszkrét időpillanatban teljesen új geometrián kell a számítást elvégezni. A kapott eredmény egyenértékű a valós fizikai térben végzett vizsgálatokkal, természetesen a matematikai számítási és elhanyagolásból eredő hibák figyelembevételével. A modell alkalmazásához számos ajánlás áll rendelkezésre a stabil és optimális futásteljesítmény érdekében.

5. IRODALOM

- [1] FODOR B, KALMÁR L.: *Fluid and heat engineering numerical analysis of the flow in a turbo blower aggregate*, Annals of faculty of engineering hunedore – International journal of engineering XII, 2014, pp. 219-224.
- [2] FODOR B, KALMÁR L., BENCS, P.: *Hydraulic design of Kaplan water turbine blade three-dimensional body model*, International Conference on Innovative Technologies : IN-TECH 2017, pp. 213-216. ISSN 0184-9069
- [3] BOLLÓ B.; FODOR B.: *Numerikus szimulációs kutatások az áramlás- és hőtechnika területén*, Multidiszciplináris tudományok, Miskolci Egyetem közleménye, 2019, pp. 212-220.
- [4] ANSYS Inc., Fluent Theory Guide, Release 2019, Canonsburg, PA, <http://www.ansys.com>

A KORRÓZIÓ ELLEN IS KELL VÉDEKEZNI, ISMÉT BUDAPESTRE JÖN AZ EUROCORR

CORROSION MUST ALSO BE PROTECTED, EUROCORR IS COMING TO BUDAPEST AGAIN

*Török Tamás István**

ABSTRACT

Considering also that the EUROCORR 2021 International Conference and Exhibition is coming again to Budapest this autumn (19-23 September, 2021) this short study was compiled to draw more attention to the topicality and importance of providing better corrosion protection to carbon steel structures, which are highly prone to chemical surface degradation, i.e. corrosion. Nevertheless, for certain periods of time the outdoor steel structures can be effectively prevented from corrosion by appropriate organic surface coatings which can provide some physical barrier against the aggressive environment, while for steel components and the steel reinforced concrete constructions, which occasionally are coming or being in contact with aqueous electrolyte solutions, the corrosion attack can also be effectively mitigated by admixing corrosion inhibitors to such technological waters or to the concrete. This paper presents some case studies to timely illustrate this important issue.

1. BEVEZETÉS

A globális nemzetközi térben elsősorban a NACE (National Association of Corrosion Engineers/USA), míg Európában az EFC (European Federation of Corrosion) mérnökegyesületek fogják össze a korróziós területek legjelesebb szakértőit, és az EFC tizenhét év után ismét Magyarországon, a fővárosunkban rendezi meg az éves EUROCORR nagyrendezvényét. A hazai fogadó a HUNKOR (Magyar Korróziós Szövetség) igyekszik mozgósítani a hazai érintetteket és újólág is felhívni a figyelmet néhány tipikus korróziós káresetre és a korszerű védekezési megoldásokra. A jelen kutató...

2. KÜLTÉRI ACÉLSZERKEZETEK KORRÓZIÓVÉDELME

Hazánkban a klimatikus viszonyok a városi környezetben (1. ábra) és az esetenként még agresszívebb ipari környezetben (2. ábra) általában szükségessé teszik az acél- és egyéb vasalapú ötvözetekből készült szerkezetek korrózióvédelmét.



1. Festett öntöttvas és acél szerkezet korrodálódott felülete városi környezetben

A szerves bevonatokkal történő korrózióvédelem esetén esztétikai vagy akár bizonyos munka-, tűz- és környezetvédelmi elvárások is kielégíthetők. Ugyanakkor a szerves bevonatok elkerülhetetlen öregedése (oxigén, nedvesség, elektrolitok, UV fény, stb. hatására) általában rendszeres ellenőrzési, javítási és felújítási feladatokkal is együtt jár.



2. ábra Festett acél gyártóeszköz korrodálódott felülete ipari környezetben

* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar, Metallurgiai Intézet

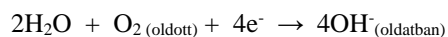
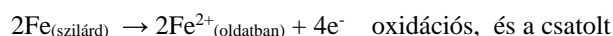
Ezek elhanyagolása különösen a festékbevonattal védett acélszerkezet korróziójának megindulása szempontjából veszélyes. Ilyenkor megfelelő korróziógátló alapozó alkalmazása a mai korszerű megoldás. Olajfestékekhez egykoron nagyon jól bevált korróziógátló pigmentként miniumot (Pb(II,IV)-oxid) használtak, az ún. miniumos alapozókban (1a. ábrán feltehetően a piros színű felületek); viszont ezek a miniumos alapozók, mérgező ólomtartalmuk miatt ma már teljesen kiszorulóban vannak és használatuk nem megengedett. Helyettük többféle korróziógátló pigmentet használnak a változatos kötőanyagú és összetételű alapozó festékekben. Veleva [1] például a szervesetlen korróziógátló pigmenteket, illetve pigment-tartalmú alapozó festékeket mintegy tíz évvel ezelőtt a következő kategóriákba sorolta: kromáttartalmú vegyületek, fémcinkben gazdag primerek (ZRP=zinc-rich paints), cink-oxid tartalmúak, cink-foszfátosak, cink-ferritek, nagy magnézium tartalmú primerek, vasoxidok, szilikátvegyületek, grafit, titán-dioxid, titanátok, szervesetlen oxoanionos inhibitorok, foszformolibdátok, ioncsereképes pigmentek, ún. szuperpigmentek, túkristályos „smart” pigmentek, kerámia-pigmentek, spinellek, és lapkás fémpigmentek. Azóta az egyre szigorodó környezet- és egészségvédelmi előírások hatására a kromátos pigmentek helyettesítése is napirendre került; de természetesen a festékgyártók fejlesztései nem csak a korróziógátló pigmentekre irányulnak, hanem egy-egy alkalmazási feladatra optimalva igyekeznek komplett bevonatrendszereket kidolgozni és a felhasználóknak kínálni.

Minden esetre, az időjárás viszontagságainak kitett kültéri vasalapú ötvözetekből készült szerkezetek korrózióvédelmére napjainkban is nagy figyelmet kell fordítani és ehhez ma már rendelkezésre állnak a hatékony, a környezetre és az egészségre pedig egyre kevésbé ártalmas felületkezelő anyagok és a korszerű szerves bevonatrendszerek. Mindezekről a felhasználók a tudományos közleményeken kívül, illetve mellett, leghatékonyabban a piaci szereplők tudományos igényességgel összeállított ismertetőiből (pl. [2]) és a szakterület nemzetközi nagyrendezvényein (pl. [3]) lehet hitelesen tájékozódni.

3. ACÉL INHIBITOROS KORRÓZIÓVÉDELME VIZES ELEKTROLIT OLDATOKBAN

Számos iparágban, a kohászatól a gyógyszer-gyártásig, gyakran igen nagy mennyiségű vizes oldatokkal (hűtővizek, különféle technológiai kezelő oldatok) érintkeznek, illetve működnek acél alkatrészekből, acéltartályokból, és acél csővezetékekből összeállított berendezések, melyek korrózióvédelméhez itt is használnak olyan korróziógátló inhibitorokat (vízoldható speciális adalékokat), amelyek az acél

felületével kölcsönhatásba lépve lassítani képesek a vas anódos beoldódásának korróziós folyamatát. A savas, lúgos, vagy közel semleges kémhatású vizes oldatokhoz általában más és más inhibitorokat (keverékeket/rendszereket) használnak [4]. Emellett ezeknek az inhibitoroknak hatásmechanizmusa is többféle lehet, vannak ún. anódos, katódos és kevert (mixed) típusú inhibitorok, függően attól, hogy az elektrokémiai korróziós folyamat melyik részfolyamatának a sebességét képesek szelektíven, illetve leghatásosabban gátolni. Ivušić és szerzőtársai [5] például $\sim 1\text{g/dm}^3$ körüli mennyiségben cink-glükonátot (ZG) tartalmazó vizes oldatokban (édesvíz, sómentesített víz, tengervíz) vizsgálták ennek a közismert korróziós inhibitornak a hatékonyságát. Ilyen, a semlegeshez közeli pH-jú és oldott oxigént is tartalmazó vizes oldatokban a vas korróziós (anódos) folyamata vázlatosan az



oxigénredukciós részfolyamatok eredményeként vezethet az acéltárgy felületén a szilárd, de nagyon laza szerkezetű és fizikai védőhatást nem biztosító vas-oxid-hidroxidok (rozsdá) képződéséhez. Ugyanakkor a cink-glükonát ($\text{Zn}^{2+}\text{-G}$) inhibitorot is tartalmazó vizes oldatban a szabad/disszociált/ Zn^{2+} ionokkal a $\text{Zn}^{2+}\text{-G}$ glükonátkomplexek a vasionok (Fe^{2+}) beoldódási (korróziós helyek) pontjaihoz diffundálva nagyobb stabilitású és vízben kevésbé jól oldódó $\text{Fe}^{2+}\text{-G}$ reakcióterméket adnak, s ezzel lokálisan (az anódos helyeken) gátolják a vasionok képződésének a lehetőségét, illetve sebességét. Az elektrokémiai korróziós folyamat katódos helyein képződő OH^- ionok pedig a $\text{Zn}^{2+}\text{-G}$ komplexből felszabaduló Zn^{2+} ionokkal képezhetnek ilyen körülmények között ugyancsak oldhatatlan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ csapadékot:



Így végül az acél felületén egyfajta vas-glükonátos – cink-hidroxidos védőfilm alakul ki, amely mintegy passziválja az acél felületét, vagyis innentől kezdve hatásosan gátolja a korróziós folyamat továbbhaladását.

A vízhez adagolt inhibitorok hatékony alkalmazásához természetesen szükség van a folyamatok rendszeres vagy folyamatos monitorozására és a vizes technológiai oldatok inhibitor tartalmának megfelelő szinten tartására.

4. VASBETON SZERKEZETEK ACÉLBETÉTJÉNEK INHIBITOROS KORRÓZIÓVÉDELME

Az inhibitoros korrózióvédelem vasbeton szerkezeteknél is eredményesen alkalmazható, elkerülendő például az olyan degradációs folyamatokat,

amelyre a 3. ábrán látható egy városképi és esztétikai szempontból sem elfogadható szemléltető példa.



3. ábra Acélbetét korróziós termékei által lefedett fedőréteg nélküli erkélykonzol

Az acélbetéttel erősített beton építmények nagyszilárdságú szénacél betétjét ugyan körülöleli maga a cementkötésű beton, de ennek sajátos mikropórusos szerkezete bizonyos mértékig lehetővé teszi a gáz- és folyadék halmazállapotú agresszív anyagok (oxigén, szén-dioxid, nedvesség, vízben oldott sók, stb.) bediffundálását, illetve beszüremkedését akár az acélbetét felületéig, ahol a vas korróziós folyamatainak megindulásával a 3. ábrán látható anyagroncsolódás a következmény. Ezek az összetett degradációs folyamatok többnyire csak évek, évtizedek alatt érnek el ilyen mértéket, de a lassításukra mindenképpen törekedni kell. Ennek egyik módja ezeknél a szerkezeteknél is az inhibitoros védelem [6].

5. ÖSSZEFOGLALÁS

E rövid szemlélő tanulmány elsődleges célja nem csak a figyelem felkeltése a Budapesten, ez éven megrendezésre kerülő EUROCORR 2021 korróziós nagyrendezvényre, hanem arra a szükségszerűségre is, hogy a vasalapú ötvözetek felhasználásával készített számtalan hagyományos apró termék, a különféle gépszerkezetek és a nagyméretű acél műtárgyaink mind-mind igénylik a tudatos és rendszeres korrózióvédelmi kezeléseket. Ezek közül az inhibitoros eljárások alkalmazására mutattunk be néhány példát.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai

Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. IRODALOM

- [1] VELEVA L.: *Protective Coatings and Inorganic Anti-Corrosive Pigments* (Chapter 28), in *Paint and Coatings Testing Manual Book*, MNL 17 (pp.282-299) Editor: JV Koleske. 2nd Ed., ASTM Intern., OH, USA, 2012
- [2] <https://magyarlakk.hu/termeklista/femszerkezetek/>
- [3] EUROCORR 2021 Budapest, szeptember 19-23. <https://eurocorr2021.org/>
- [4] YUN CHEN, WENZHONG YANG: *Formulation of Corrosion Inhibitors, Water Chemistry*, Murat Eyvaz and Ebubekir Yüksel, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.88533. Available from: <https://www.intechopen.com/books/water-chemistry/formulation-of-corrosion-inhibitors> (August 20th 2019)
- [5] IVUŠIĆ F., LAHODNY-ŠARC O., ALAR V.: *Corrosion inhibition of carbon steel in various water types by zinc gluconate / Korrosionsinhibierung von Kohlenstoffstahl durch Zinkgluconat in verschiedenen Wasserarten*, Mat.-wiss.u.Werkstofftech. 2013, 44, No. 4 DOI 10.1002/mawe.201300047 319
- [6] ABBAS ABDULSADA S., FAZAKAS É., TÖRÖK T.I.: [Corrosion testing on steel reinforced XD3 concrete samples prepared with a green inhibitor and two different superplasticizers](#), *Materials and Corrosion* (2019) 70(7), 1262-1272

IDŐBEN VÁLTOZÓ HŐÁTADÁS NUMERIKUS ÉS ANALITIKUS SZÁMÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

NUMERICAL AND ANALYTICAL CALCULATION POSSIBILITIES OF TRANSIENT HEAT TRANSFER

Petrik Máté*, Dr. Jármai Károly**, Dr. Szepesi L. Gábor***

ABSTRACT

In general case, the temperature of the points of an investigated body is a function not only of the space coordinates, but also of the time. Therefore, the heat transfer processes can be divided into two parts, first to the transient state and then the temperature profile has formed to the steady state. This type of transient heat transfer phenomena occurs for example in heat treatments, when heating industrial equipment to operating temperature, or even cooking can be mentioned. The goal of this study is to present these heat transfer processes in general and to report empirical relationships that can be used to predetermine temperature values as a function of time.

1. BEVEZETÉS

1.1. Időben változó folyamatok matematikai leírás módja

Az időben változó hőátadási jelenségek folyamatosan jelen vannak a mindennapi életünkben. Ilyen tranziens jelenségekkel találkozhatunk akkor, amikor például vizet forralunk egy vízforralóban, húst sütünk, vagy a műszaki területen valamilyen munkadarab hevítését vagy hűtését végezzük egy hőkezelés során. A kezdeti időpillanatban a vizsgálandó közeg hőmérséklet állapota homogénnek tekinthető, és valamilyen másik közeg hatására, aminek a hőmérséklete eltér a vizsgálandó anyagtól, hőáramlás fog kialakulni [1-2]. Kellően kicsi vizsgált térfogat esetén a test helykoordinátáitól független hőmérsékleteket tapasztalhatunk. Azonban, ha a vizsgálati térfogat nagyobb (a későbbiekben definiálásra kerül ez a határállapot) már nem tekinthető állandó hőmérsékletűnek a test, a hőmérséklet értékek az idő mellett a helykoordinátától is függeni fognak [3]. Az előbbi leírási módot, amikor az egész testet egyetlen pontjával írjuk le, koncentrált paraméterű leírásnak nevezzük.

$$T = T(t) \quad (1)$$

Abban az esetben, ha a hőmérséklet értékeit az idő mellett a helykoordináták függvényében is meg

szeretnénk határozni, akkor osztott paraméterű leírásnak nevezhető.

$$T = T(x, y, z, t) \quad (2)$$

A mérnöki szempontból fontos szerkezeteink szinte kivétel nélkül visszavezethetők három alapeometriai formára, melyek a síkmező, a henger és a gömb. Ezekre vonatkozó vázlatot az 1. ábra mutatja.

1.2. Koncentrált paraméterű modell

Koncentrált paraméterű esetben a teljes vizsgált térfogatot egyetlen anyagi ponttal helyettesítünk. Az adott időpillanathoz tartozó hőmérséklet kiszámításához a Newton-féle lehülési törvényt alkalmazzuk,

$$\alpha \cdot A \cdot (T_{\infty} - T) dT = m \cdot c_p \cdot dT, \quad (3)$$

melynek megoldása, a levezetés mellőzésével a következő:

$$T(t) = (T_i - T_{\infty}) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot A}{\rho \cdot c_p \cdot V} \cdot t} + T_{\infty} \quad (4)$$

A kitevőben szereplő tagot időállandónak nevezzük, mértékegysége s^{-1} .

A bevezetésben bemutatott leírási módok közül az osztott paraméterű modell minden esetben alkalmazható, függetlenül az anyag hővezetési tényezőjétől és az anyag és a közeg között kialakuló hőátadási tényező értékétől, valamint a geometriától is. Ebből az értelmezésből látszik, hogy a koncentrált paraméterű modell csak egy bizonyos feltétel érvényesülése esetén alkalmazható. Első értelmezésben a vizsgált elem térfogatával vagy tömegével lehetne ezt a feltételt azonosítani, azonban ez nem elegendő számunkra. Amennyiben csak a tömeggel azonosítanánk, elemzési szempontból egy $100 \times 100 \times 100$ mm nagyságú kocka és egy $1 \times 1000 \times 1000$ mm nagyságú téglatest egymással egyenértékű lenne. Érezhető, hogy a két test hűlése nagyon el fog egymástól térni. A geometriai méretek jelentős különbsége miatt a hőátadó felület, valamint a hőátadási tényező értéke is jelentősen el fog térni egymástól. Ennek jellemzésére vezessük be a Biot-

* tanársegéd, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

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

számot (Bi), mely pontosan ezek között teremt kapcsolatot:

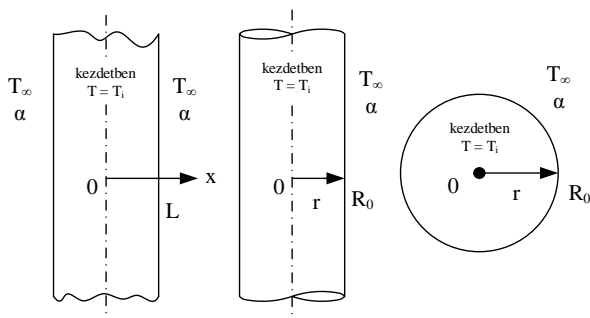
$$Bi = \frac{\alpha \cdot L_c}{\lambda}, \quad (5)$$

ahol α a test felületén kialakuló hőátadási tényező [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$], λ a test hővezetési tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], míg az L_c a jellemző geometria, mely a térfogat és a felület hányadosa.

$$L_c = \frac{V}{A} \quad (6)$$

Az elmélet addig alkalmazható, amíg a Bi-szám értéke 0,1-nél kisebb.

1.3. Osztott paraméterű modell



1. ábra: Geometriai alapok

Az 1. ábrán látható a geometriákra minden kezdeti és peremfeltétel mellett képesek vagyunk a megoldást analitikus formában felírni. Természetesen itt feltételezzük, hogy a teljes vizsgált geometria ugyanabból a szerkezeti anyagból épül fel [4]. Amennyiben a vizsgált anyag nem homogén szerkezetű, és a kompozitot felépítő anyagok hővezetési tényezője között jelentős, sok esetben nagyságrendi különbség van, vagy valamilyen növelt hőátadó felület hatását szeretnénk vizsgálni (például bordák), már csak numerikusan lehet a megoldást keresni. Ekkor a vizsgált keresztmetszetet egyenlő hosszúságú (1D-s hővezetés) vagy egyenlő területű (2D-s hővezetés) részekre kell bontani. Minden elemi rész oldalaira fel kell írni az érkező és távozó hő nagyságát, melyek különbsége az elemi rész hőmérsékletének megváltozását fogja okozni.

Az alapeometriákra vonatkozóan nagyon fontos a térbeli paramétert leíró változó helyes definiálása. Ez lemezek esetén a falvastagság kétszeresével történjen ($2L$, így erre a középvonalra szimmetrikus lesz a hőmérsékletprofil), hengerek és gömbök esetén pedig az R_0 sugárral. Fontos megjegyezni, hogy mindhárom esetben a vizsgált testet körülvevő közeg hőmérséklete homogén, valamint hengerek és lemezek esetén eltekintünk a test szélén kialakuló hőátadási viszonyoktól (végtelennek tekintjük őket, de gyakorlati szempontból sem fognak túlságosan nagy eltérést okozni.

Ezen bemutatott geometriák ipari szempontból is jelentősek. A hőátadási jelenségek nem választhatók el az áramlási jelenségek vizsgálatától. Erre lehet jó példa Bolló *et al.* által, egy fűtött hengerrel végzett vizsgálatok [5], valamint közvetve Siménfalvi *et al.* által végzett autokláv hűtőköpenyében történő hőátadással kapcsolatos vizsgálatok [6].

A vizsgált koordináták meghatározásához különböző dimenziómentes jellemzők meghatározása szükséges. A dimenziómentes jellemzők biztosítják számunkra azt, hogy mérettől és geometriától függetlenül ugyanezekkel a jellemzőkkel tudjuk meghatározni.

- A dimenziómentes hőmérséklet:

$$\theta(x,t) = \frac{T(x,t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} \quad (7)$$

- A dimenziómentes távolság a középponttól:

$$X = \frac{x}{L} \quad (8)$$

- A szilárd testben kialakuló hővezetés és a felszínen kialakuló konvekció aránya:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (9)$$

- A dimenziómentes idő:

$$\tau = \frac{a \cdot t}{L^2} \quad (10)$$

A dimenziómentes idő összefüggésében szereplő a tényező a hőmérsékletvezetési vagy hődiffúziós tényező, mely a vizsgált test hővezetési tényezőjéből, fajhőjéből és sűrűségéből számítható.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (11)$$

A hőmérséklet-eloszlási görbéket mindhárom geometria esetén végtelen hosszú sorokkal lehetne egzakt módon meghatározni, de a mérnöki gyakorlat szempontjából már az első közelítés is megfelelő eredményt fog szolgáltatni. Ennek javítását egyetlen tényező megváltoztatásával, a dimenziómentes idő növelésével elérhető. Ehhez két módszer áll rendelkezésre: vagy a jellemző geometriát csökkentjük (ami adott test/szerkezet esetén nem megvalósítható), vagy pedig az időléptéket csökkentjük [7], [8]. A három elsőrendű összefüggés:

- Lemezekre:

$$\theta(x,t) = A_1 \cdot e^{-\lambda_1^2 \cdot \tau} \cdot \cos\left(\frac{\lambda_1 \cdot x}{L}\right) \quad (12)$$

- Hengerekre:

$$\theta(x,t) = A_1 \cdot e^{-\lambda_1^2 \cdot \tau} \cdot J_0\left(\frac{\lambda_1 \cdot r}{R_0}\right) \quad (13)$$

- Gömbökre:

$$\theta(x,t) = A_1 \cdot e^{-\lambda_1^2 \cdot \tau} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\lambda_1 \cdot r}{R_0}\right)}{\frac{\lambda_1 \cdot r}{R_0}} \quad (14)$$

Fontos megjegyezni, hogy az összefüggésekben szereplő A_1 és λ_1 tényezők nem felületet és hővezetési tényezőt jelentenek, hanem az adott geometriához tartozó állandókat. Ezek az értékek a szakirodalomban táblázatos és grafikus formában érhetők el. Utóbbi grafikonokat Heisler-diagramoknak nevezzük. A táblázatos esetben a diszkrét értékek között lineáris interpoláció alkalmazható. A hengereknél látható J_0 elsőrendű Bessel-függvényt jelent.

Időben és térben változó hőmérsékletek meghatározására nagyon jó példa lehet az atomerőművek aktív zónájában lévő üzemanyagpálcák vizsgálata. Az üzemeltetőknek normál üzem közben tudniuk kell ezeket az értékeket, ezek mérésére viszont, érthető okokból nincs lehetőség. Ezek az üzemanyagpálcák henger alakúak, azonban folynak kutatások gömb alakú urán-pasztillák alkalmazására.

2. HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐ SZÁMÍTÁS

A konvekció, mint hőátadási mód mind a természetben, mind pedig a mérnöki gyakorlatban gyakorlatilag mindenhol jelen van. Ennek következtében fúj a szél, van bolygónknak mágneses tere és törnek ki vulkánok, ezért érezzük a ventilátorok hűtő hatását. Mérnöki szempontból vannak területek, ahol pozitív, és vannak, ahol negatív hatást képviselnek [9-10].

2.1. Természetes konvekció

Természetes vagy szabadkonvekció esetén, ahogy a neve is mutatja, egy természetes áramlás alakul ki. Ez az áramlás sebesség-értékkel gyakorlatilag nem kifejezhető, a mozgást az hozza létre, hogy a nagyobb hőmérsékletű térfogatok sűrűsége kisebb, aminek következtében helyet cserélnek a kisebb hőmérsékletű, de nagyobb sűrűségű térfogatokkal. Ilyen folyamat játszódik le például a vízforralóban is, és ennek következtében lesz az egész melegített térfogat 100°C-os, nem csak a fűtőszállal vagy fűtőlappal érintkező térfogatelemek.

Éppen ezen tulajdonságok miatt a hőátadási tényező meghatározása nem történhet a Re szám alkalmazásával, mivel ez azonosan zérus lesz. A hőmérséklet-különbség sűrűségre gyakorolt hatását a Rayleigh-számmal vehetjük figyelembe, melynek kiszámítási módja:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \rho^2 \cdot c_p \cdot (T - T_{fal})}{\eta \cdot \lambda} \quad (15)$$

A hasonlósági kritériumban lévő β -tényező a köbös hőtágulási tényező, melynek értéke minél nagyobb, annál nagyobb lesz ennek a mikroszkopikus mozgásnak a nagyságrendje. Ennek kiszámítási módja függőleges lemezre és hengerre ugyanazzal az összefüggéssel történhet.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (16)$$

Gömbök esetén pedig egy hasonló alakú, de természetesen más konstansokkal rendelkező összefüggéssel számítható ki a hőátadási tényező értéke.

$$Nu = 2 + \frac{0,589 \cdot Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,469}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \quad (17)$$

2.2. Kényszerített konvekció

Kényszer vagy mesterséges konvekció esetén valamilyen külső kényszer hatására a közeg mozogni fog. Ezt a kényszert a leggyakrabban szivattyúval, ventilátorral vagy a gravitációval hozzuk létre, de ide sorolható a járművek radiátorai is, ahol maga a gépjármű mozgása hozza létre ezt a hatást. Természetesen kényszerkonvekcióval sokkal jobb hőátadást lehet létrehozni, valamint a kísérletek eredményeiből is azt tapasztaljuk, hogy a sebesség növelésével a hőátadási tényező növekedni fog.

Kényszerkonvekció esetén a hőátadási tényező értéke szinte kivétel nélkül a Re és a Pr számok függvényében számítható ki. Az előző fejezethez hasonlóan, a három geometria esetén ezek az összefüggések a következők:

henger körüli áramlásnál

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,4}{Pr} \right)^{2/3} \right]^{1/4}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (18)$$

gömb körüli áramlás esetén

$$Nu = 2 + \left[0,4 \cdot Re^{1/2} + 0,06 \cdot Re^{2/3} \right] \cdot Pr^{0,4} \quad (19)$$

míg síklemez mellet történő áramlásnál

$$Nu = 0,228 \cdot Re^{0,731} \cdot Pr^{1/3} \quad (20)$$

3. KONCENTRÁLT PARAMÉTERŰ MODELL

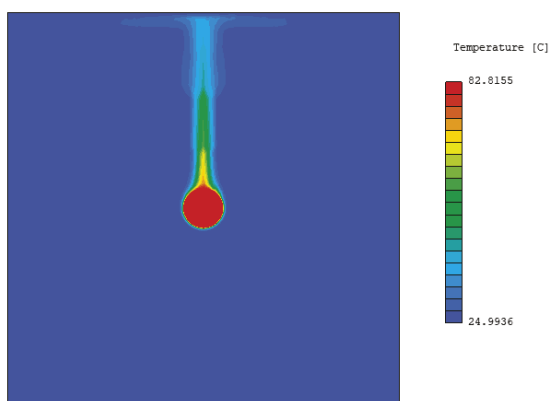
Az eddig felsorolt tapasztalati összefüggések és elméleti megfontolások nagy számú mérési eredmény feldolgozásából alakultak ki. Cikkünk ezen fejezetében szeretnénk bemutatni, hogy mennyire szolgáltatnak ezek az összefüggések pontos eredményt. Elsődleges célunk nem mérési eredmények reprodukálása, hanem a koncentrált paraméterű modell alkalmazási tartományának bemutatása. A továbbiakban 50 mm és 100 mm átmérőjű rézgömbök hőmérsékletének változását mutatjuk be, különböző konvekciós esetek során.

A mérettartományt a koncentrált paraméterű modell szigorú feltétele jelenti (a Bi-számnak 0,1-nél kisebbnek kell lennie). Ilyen viszonylag kis méretű próbatesteknél nehéz lenne kellően sok pontban megmérni a hőmérsékletet, hogy valóban kimondható legyen, hogy nem függ a hőmérséklet a pozíciótól. Ennek érdekében segítségül hívtuk a modern számítógépes környezetet, és CFD analízist végeztünk. Ennek a használatával még a kis gömbön belül is kellően nagy számú mérési pontot hozhatunk létre.

A vizsgálatok során rézből készült 90°C kezdeti hőmérsékletű golyókat vizsgáltunk (melynek sűrűsége 8880 kg·m⁻³, hővezetési tényezője 398 W·m⁻¹·K⁻¹, fajhője pedig 386 J·kg⁻¹·K⁻¹). A közeg, amiben ez a rézgolyó hűlni fog, pedig légköri nyomású, 20°C hőmérsékletű levegő és víz volt.

3.1. Természetes konvekcióval

Természetes konvekció esetén azt várjuk, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű közeg a rézgolyó hőmérsékletének következtében felmelegszik, és a felületről a -z irányban feltételezett gravitációval ellentétesen fog áramlani. Ezt a 2. ábra tartalmazza.



2. ábra: Természetes konvekció levegőben

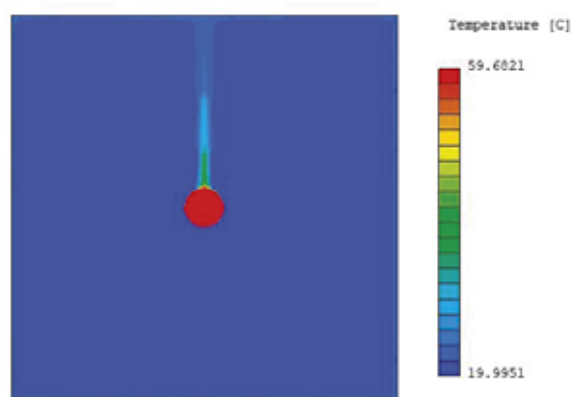
Az ábra a 400 s-hoz tartozó hőmérséklet-eloszlást tartalmazza, és látható, hogy valóban nincs jelentős hőmérsékletgradiens a golyó belsejében, tehát ez alapján a modell alkalmazható. A számítással és a szimulációval kapott eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Számítással és szimulációval kapott eredmények összehasonlítása

idő	számítás	szimuláció	eltérés
0	90	90	0%
50	88,96	89,00	0,05%
100	88,03	88,02	0,00%
150	87,12	87,06	-0,07%
200	86,22	86,10	-0,14%
250	85,34	85,16	-0,21%
300	84,48	84,24	-0,29%
350	83,64	83,32	-0,37%
400	82,80	82,42	-0,46%

Az eredményekből látható, hogy a számítással kapott eredmények megegyeznek a szimulációval kapott eredményekkel. Ezzel nem csak a koncentrált paraméterű modell alkalmazhatóságát, hanem a hőátadási tényező alkalmazhatóságát is igazoltuk (a Bi-szám ebben az esetben $1,71 \cdot 10^{-4}$, a kialakuló hőátadási tényező pedig $8,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). Amennyiben a rézgolyó átmérőjét a kétszeresére növeljük, a hőátadási tényező $6,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ értékre csökken, a Bi-szám pedig $1,36 \cdot 10^{-4}$. Ebben az esetben is a legnagyobb eltérést 400 s-nál tapasztaljuk, ennek értéke is mindössze -0,79%.

Hasonló elemzést végezve víz közeggel, hasonló eredményeket tapasztalunk. Az összehasonlítás idejét 20 s-ban határoztuk meg, mivel ennél az időpillanatnál van értelme összehasonlítást végezni. Mivel a víz fajhője több, mint a négyszerese a levegő fajhőjének, így 400 s alatt a közeg hőmérsékletére fog hűlni a rézgolyó. Míg levegő esetén 20 s alatt 89,60°C-ra fog hűlni, addig ugyanez a rézgolyó, ugyanennyi idő alatt 58,85°C-ra hűl. Az anyagtulajdonságbeli különbségek miatt vízközegben a hőátadási tényező $863 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, így a számított hőmérséklet 58,26°C-ra adódik.

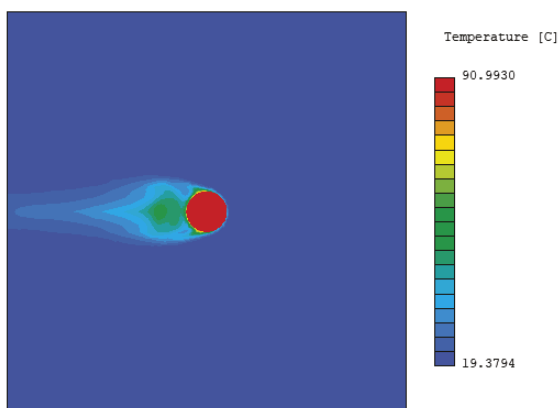


3. ábra: Természetes konvekció vízben

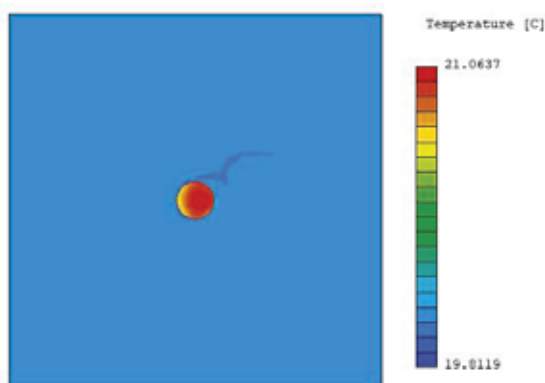
3.2. Kényszerkonvekcióval

Kényszerkonvekciós esetben hasonló összehasonlítást végeztünk. Ebben az esetben a közeg

vízszintes irányban, 1 m/s átlagsebességgel áramlik. A 4. ábra levegőre, az 5. ábra a vízre vonatkozó hőmérséklet-eloszlást mutatja.



4. ábra: Kényszerkonvekció levegőben



5. ábra: Kényszerkonvekció vízben

Levegőnél még 1 m/s közegsebesség esetén is mindössze $16,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ értékű hőátadási tényező alakul ki. A CFD analízis szerint a hőmérséklet értéke $88,36^\circ\text{C}$, míg a számítással $89,19^\circ\text{C}$ -ot kapunk, mely $-0,93\%$ -os hibát vétünk. A kényszerkonvekcióra vonatkozó összefüggések általánosan azért mutathatnak nagyobb eltéréseket a mért (vagy esetünkben modellezett) eredményektől, mert sokkal nagyobb tartományt kell lefedniük. Vízben történő hűtés esetén a hőátadási tényező értéke $5275 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, melynek következtében 20 s alatt a próbatest gyakorlatilag teljesen le fog hűlni. Itt eltekinthetünk attól a jelenségtől, hogy a közeg hőmérséklete megváltozik, mivel állandó mozgásban van, minden időpillanatban a közeg főtömegével megegyező hőmérsékletű közeggel fog érintkezni a golyó, a hajtóerő csökkenését a golyó hőmérsékletének csökkenése fogja okozni.

A bemutatott vizsgálatot természetesen csupán egy nagyon szűk szeletét mutatja a tranzien hőátadási folyamatoknak. Az elemzésekben a rézgolyó mérete és a körülötte kialakuló hőátadási tényező következtében a koncentrált paraméterű modell alkalmazását eredményezte.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 számú projekt keretében valósult meg, továbbá az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

5. IRODALOM

- [1] EL MAAKOUL, A., DEGIOVANNI, A., BOUHSSINE, Z. Transient linear analytical heat transfer model for a building, validation with a non-linear coupled finite volume code. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, 100756. 2020
- [2] PADET, J. Transient convective heat transfer. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 27(1), 74–95, 2005
- [3] ZHANG, J., CHAUHAN, S.: Fast explicit dynamics finite element algorithm for transient heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 139,160–175. 2019
- [4] MOGHADDAM, E. M., FOUMENY, E. A., STANKIEWICZ, A. I., PADDING, J. T.: Heat transfer from wall to dense packing structures of spheres, cylinders and Raschig rings. *Chemical Engineering Journal*, 407, 127994, 2021
- [5] BOLLÓ, B., BENCS, P., SZABÓ, SZ.: Thermal effects around a heated circular cylinder in horizontal, parallel and contra flow, *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III- Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT 2018*, 319–324.
- [6] SIMÉNFALVI, Z., VENCZEL, G., SZEPESI, G.: Investigation of autoclave's cooling jacket static and dynamic behaviour. *Chemical Engineering Transactions*, 29, 1009–1014.
- [7] BHOWMIK, H., GHARIBI, A., YAARUBI, A., ALAWI, N.: Transient natural convection heat transfer analyses from a horizontal cylinder. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100422, 2019
- [8] CHIU, C. P., CHEN, W. R.: Transient natural convection heat transfer between concentric and vertically eccentric spheres. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(7) 1996
- [9] ÇENGEL, Y. A.: Heat transfer: a practical approach. Boston, Mass, WBC McGraw-Hill. (1998)
- [10] INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P.: Fundamentals of heat and mass transfer. New York, J. Wiley, 2002

KÖLTSÉGOPTIMÁLT GÉPÉSZETI TERVEZÉSI MÓDSZEREK

COST-OPTIMIZED MECHANICAL DESIGN METHODS

Szűcs Renáta*, Dr. Jármái, Károly**

ABSTRACT

Cost-optimized design is becoming more and more important among the design requirements. The competitiveness of companies highly depends on their cost-optimized design. The cost of a product can be reduced significantly in the design phase, cc. 70% of the expenses decided in the design phase. Therefore, during the design process, special attention should be paid to the production costs incurred. In the present study, the authors deal with presenting the available cost optimization design tools that can be used in the planning phase and the possible development of these tools.

1. BEVEZETÉS

A vállalatok versenyképessége több tényezőből áll, azonban ezen tényezők közül kiemelkedőek az ár jellegű tényezők, azon belül is azon tényező, hogy egy adott terméket a konkurensoktól alacsonyabb áron tudják-e értékesíteni. Ezen tényező érvényesítésében pedig a tervezők jelentős ráhatással bírnak. A gépészeti tervezés során a tervezők az előzetes költség minimálást, optimalást, az egyes megoldási koncepciók költségvonzatának elemzését általában véve nagyvonalúan kezelik. Azonban egy új termék tervezésénél a költségek elemzése legalább olyan fontos a termék későbbi sikeressége szempontjából, mint a műszaki teljesítőképesség. Ez alapján a költségre, mint kritikus tervezési paraméterre kell tekinteni. A tervezés során nem kizárólagosan műszakilag megfelelő, hanem gazdaságilag is életképes terméket kell létrehozni.

A tervezők az egyes megoldás variációk kiválasztása során a költséget, mint kiválasztási kritériumot általában ugyan figyelembe veszik, azonban legtöbb esetben inkább szubjektív megítélés alapján, mely tényleges, megbízható költségelemzésekkel nincs alátámasztva. A nem megbízható költségelemzés nem csak az előzetesen becsült költségek növekedését okozhatja, hanem időbeli veszteségeket is okozhat. Ilyen időbeli veszteség lehet a tervezési idő elhúzódnása (pl. a szükségessé váló áttervezések miatt), vagy a piacra jutás tervezett időpontjának elhúzódnása. Ezen időbeli elcsúszások szintén költségekkel, illetve presztízsvesztéssel is járhatnak, mind a tervező, mind pedig a vállalat szempontjából. Magyarországon, de valójában a világon

kevés valós, jól használható eszköz áll a tervezők rendelkezésére, hogy a tervezés korai szakaszában a költségeket, mint tervezési paramétert, kiválasztási kritériumot helyesen, megalapozottan tudják figyelembe venni. Az irodalomban fellelhető költségbecslési módszerek többsége mérnöki szempontból nehezen alkalmazhatók, a hagyományos technikák, mint például az össztömeg minimálása, pedig sok esetben nem valós költségoptimumot eredményez. A tervezés során sok esetben úgynevezett intuitív módszert alkalmaznak, mely egy tapasztalatokra hagyatkozó módszer, melynek megbízhatósága nagyban a tervező felkészültségén és korábbi tapasztalatain múlik, így kevés tapasztalattal rendelkező, esetleg pályakezdő mérnököktől nem elvárható, hogy valós eredményeket tudjanak elérni a módszer alkalmazásával [1].

Jelen tanulmányban röviden összegzésre kerülnek az irodalomban elérhető módszerek, rámutatva azok gyenge pontjaira, valamint előrevetítve egy mérnöki szempontból is jól használható módszer kidolgozási lehetőségét.

2. KÖLTSÉGBECSLÉSI MÓDSZEREK

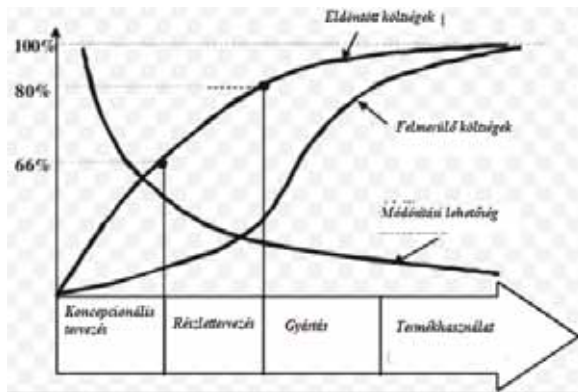
2.1. A költségbecslés jelentősége

A termék teljes életciklus költségének több, mint 70%-a a korai tervezési fázisban eldől, ebben a tervezők, gyártók többsége egyetért, valamint a szakirodalom is kimutatta [2, 3, 4, 5, 6]. A költségeknek a korai tervezési fázisban betöltött jelentős szerepét már a 80-as években felismerték, és ez a felismerés vezetett több tervezési módszertan kidolgozásához [7]. Ilyen módszertanok a DFA, DFM stb. Ezen módszerek többnyire sikeresnek bizonyultak a költségek csökkentésében, azonban ezen módszerek esetén a költség nem, mint kritikus tervezési paraméter jelenik meg. A tervezők számára a költségbecsléshez több költségbecslési technika áll rendelkezésre, azonban azok nem feltétlenül alkalmazhatóak a koncepcionális tervezési fázisban [6]. A termék életciklusa és a termék költsége közötti összefüggés az 1. ábrán látható. A diagram alapján láthatjuk a költségek döntő többsége már a koncepcionális tervezési fázisban eldől, a fennmaradó része pedig a részlettervezés során allokálódik. A gyártás során már a költségek nagyon kis mozgási térben

* ügyvezető, vezető tervező, S&G Solution Kft. 3508 Miskolc, Haladás u. 5.

** egyetemi tanár, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc, Egyetemváros

módosíthatóak, a felmerülő módosítási igények, pedig magas költségvonzattal járnak. Ha a felmerült költségeket tekintjük, akkor a koncepcionális és a részlettervezési fázisban azok a teljes költségekhez képest minimálisak, 20% körül mozognak. A módosítási lehetőség a tervezés előrehaladtával folyamatosan csökken, a koncepcionális szakasz végére 50% köré csökken, míg a részlettervezés után 20% körül mozog [6, 8]. Ezen tények tekintetében egyértelműen megállapítható, hogy a mérnöki gyakorlatban jól használható módszer kidolgozása jelentős versenyelőnyt jelent.



1. ábra Összefüggés a termék életciklusa és a termék költsége között [16]

2.2 Irodalmi áttekintés

Farineau et al. [9] szerint a költségbecslési technikák az alábbi négy kategóriába sorolhatóak: intuitív, analóg, parametrikus, analitikus. Roy [6] a költségbecsléseket az alábbi öt módszerre osztja: tradicionális, parametrikus, alaksajátosságon alapuló, tapasztalaton alapuló, neutrális hálózatok alapján. Niazi et al. [10] a költségbecsléseket kvalitatív és kvantitatív csoportokra osztja.

Látható, hogy különböző szerzők más-más felbontást alkalmaznak a technikák csoportosításához. Jelen tanulmányon belül a következő részben egy saját, azonban a szakirodalomra támaszkodó felbontásban kerülnek ismertetésre a különböző módszerek.

2.3 Költségbecslési technikák

2.3.1 Intuitív költségbecslés

Ezen módszer egy, a tapasztalatokra hagyatkozó módszer, melynek megbízhatósága nagyban annak készítőjének felkészültségén és korábbi tapasztalatain múlik. Az elkészítéséhez szükséges tapasztalat származhat közvetlenül a költségbecslő tudásából, vagy bizonyos tárolt adatformákból származtatott információkból, mint például szabályok, döntési fák és katalógusok, az alkatrészek és szerelvények költségbecslésének előállításához [10]. A technika

előnye, hogy egyszerű és gyors, azonban a megbízhatósága erőteljesen megkérdőjelezhető.

2.3.2 Paraméteres becslés

A termékfejlesztés, vagy koncepcionális tervezés korai szakaszában a termékköltségek becslésének széles körben alkalmazott módszerét parametrikus becslésnek (PE) nevezik. Ennek a koncepciónak a szemléltetésére az irodalomban található példa a repülőgépfelvezetés területén a tömegnek a gyártási költséggel kapcsolatos összefüggésének vizsgálata, mely szerint a repülőgépek súlyának növekedésével, annak gyártási költsége is növekszik [6]. A súly és a gyártási költség közötti kapcsolat között közel lineáris összefüggés van irodalmi adatok alapján [6]. Azonban ezen megállapítás nem terjeszthető ki általánosan. Tradicionálisan mindazonáltal jelenleg is elterjedt, hogy a tervezés során tömeg minimumra kell törekedni, ezáltal minimalva a gyártási költségeket. Ezen törekvés valójában sok esetben nem jelent költség optimumot. A tervezők számára jelenleg nem érhető el, olyan tervezési módszer, vagy katalógus, mely alapján már a tervezési fázisban hatékonyan a költség optimált tervezés alapján tudnák lefolytatni a tervezést.

Azonban a parametrikus módszer az egyik leghatékonyabb módszer lehetne a költséghatékony tervezés támogatásában, amennyiben megfelelő modellek állnának rendelkezésre a tervezők számára. Maga a módszer mérnöki szempontból rendkívül jól használható, amennyiben megfelelő modellek kerülnek felállításra. Alapos kutatómunka alapján lehetővé válik úgynevezett költségbecslési kapcsolatok (CER) felállításával parametrikus modellek létrehozása, melyek elemzett kapcsolatok, változók és konstansok alkalmazásával olyan alapszabályokat, feltételeket állítanak fel, mellyel az adott tervezési helyzet során az egyes variációk költség alapján történő elemzése megvalósulásra kerülhet. A CER egy matematikai kifejezés, ahol a költség a költségvezérlők (k) változóinak függvénye.

2.3.3 Alaksajátosságon alapuló költségszámítás (FBC)

A CAD/CAM technológia, különösen a 3D modellező eszközök nagymértékű elterjedése jelentős hatással volt az alaksajátosságon alapuló költségszámítás (FBC) fejlődésére. A kutatók a tervezés, a folyamattervezés és a gyártás integrációját vizsgálják költségelemzés szempontjából egy alaksajátosságon alapuló modellezési megközelítés alkalmazásával [11, 12, 13]. Az FBC technika egy jelenleg is kutatott módszer, mely teljes egészében még nem került kidolgozásra. A gyártási technológiát, időt, költséget az egyes alkatrészekben lévő alaksajátosságok jelentősen befolyásolják, így ezen

költségtechnika bizonyos esetekben, amennyiben az alkalmazásához szükséges információk rendelkezésre állnak, jól használható. A technika alkalmazásához jelentős mennyiségű információra van szükség, ezért a koncepciók megalkotása során alkalmazása nehézkes, viszont a részletkidolgozás során nagyon nagy jelentősége van (lehetne). Az egyes alaksajátosságok költségeinek ismerete a tervezőnek a részletes tervek kidolgozása során jelentős segítséget nyújthat a költségek minimalizálása szempontjából. Minden egyes termékjellemzőnek költséghatása van a gyártásra, minél több alaksajátossággal rendelkezik a termék, annál több gyártási és tervezési művelettel rendelkezik [14]. Éppen ezért egy alaksajátosság alkalmazására, vagy elhagyására vonatkozó döntés nagyban befolyásolja az előállítási költségeket, és végül a termék életciklus-költségeit [15].

Az FBC használatának egy másik fontos tényezője, hogy ugyanazon alaksajátosságok különböző alkatrészekben és termékben is megjelenhetnek; ezért az egyes alaksajátosságokra készített alapvető költséginformáció mérnöki szempontból jól hasznosítható. A mérnöki szándék beilleszthető olyan funkciókba, mint a termék funkcionalitása, teljesítménye, gyártási folyamatai és viselkedési jellemzői. Számos kutatás foglalkozik jelenleg is ilyen költségcsökkentési katalógusok kidolgozásával. Bár a funkció alapú költségcsökkentés egyre népszerűbb, korlátozott a használatuk a költségcsökkentési folyamatban, mivel az egyes jellemzők különböző funkcionális szinten jelennek meg, valamint vállalati szinten kell kidolgozni katalógust, az egyes technológiák más-más költségcsökkentési szinteket jelenthetnek.

2.3.4 Neurális hálózat alapú költségcsökkentés (NN)

A költségcsökkentéssel foglalkozó tudományon belül megjelentek a mesterséges intelligencia használatára vonatkozó [16] tanulmányok. A neurális hálózatok (NN) és a fuzzy logika a következő generációt mutatják az emberi gondolkodási folyamatok számítógépesítésében [17]. Számos kutató és szakember foglalkozik a mesterséges intelligencia (MI) rendszerek fejlesztésével és azok használati lehetőségével a költségcsökkentés területén [18, 19, 20]. Költségcsökkentés céljából az NN-ek használatának alapötlete az, hogy egy számítógépes program megtanulja a termékhez kapcsolódó jellemzők költségekre gyakorolt hatását. Ez azt jelenti, hogy számítógép, a szolgáltatott adatok alapján meg tudja tanulni, hogy mely termékjellemzők befolyásolják legjobban a végső költséget. Ezt úgy érik el, hogy a rendszert múltbéli példák alapján származó adatokkal feltöltik, „képzik”. Az NN ezután közelíti az attribútum értékek és a költség közötti funkcionális kapcsolatot a training időszakban. A training befejezésével a fejlesztés alatt álló termék attribútum értékeinek a betáplálásával a training során előállított közelítő függvény

alkalmazásával kiszámítja a várható költséget. A közelmúltban végzett kutatómunka kimutatta, hogy a neurális hálózatok jobb költség előrejelzést készítenek, mint a hagyományos regressziós költségcsökkentési módszerek, ehhez azonban számos feltételnek teljesülnie kell [19]. Azonban azokban az esetekben, amikor a megfelelő CER rendelkezésre áll, a regressziós modellek jelentős előnyökkel rendelkeznek a pontosság, a változékonyság, a modellalkotás és a modellvizsgálat szempontjából [20].

A neurális hálózat alkalmazása nem csökkenti az előzetes tevékenységekkel kapcsolatos nehézségeket. A költségcsökkentőre továbbra is sok feladat vár, és az elemzés megkezdése előtt végre kell hajtani a konkrét költségcsökkentés begyűjtését. A modellek alapvetően használhatóak lennének a termék életciklusának minden szakaszában, azonban ennek alapfeltétele, hogy az ehhez szükséges adatok rendelkezésre állnak. A parametrikus költségcsökkentéssel összehasonlítva nagy előnye, hogy képes felismerni az adatok közötti rejtett kapcsolatokat is. Ezért a költségcsökkentés nem kell bizonyítani, vagy felismerni a termék és a költség közötti kapcsolat feltételeit, ami leegyszerűsíti a végleges matematikai összefüggés kidolgozásának folyamatát [18].

A neurális hálózatok nagy esetbázist igényelnek, hogy hatékonyak legyenek, ami nem felel meg a korlátozott terméktartományokat termelő iparágaknak [21]. Ezenkívül az esetalapnak hasonló termékekből kell állnia, és az új termékeknek hasonló jellegűeknek kell lenniük, hogy a költségcsökkentés hatékony legyen. Így a neurális hálózatok nem tudnak kezelni új termékeket vagy innovációkat.

A mesterséges neurális hálózat valójában egy „fekete doboz”. Így az összefüggések nem láthatóak, mely költségcsökkentési oldalról nem jó, mind a költségcsökkentők, mind pedig a tervezők szeretik látni a költségcsökkentés mögötti okokat és feltételezéseket.

2.3.5 Analóg módszer és annak továbbfejlesztése

A tapasztalat alapú technikát analóg módszerként is nevezi az irodalom. Az analóg technika a termékek hasonlóságát használja ki. Az implicit feltételezés szerint a hasonló termékek költségei hasonlóak. A termékek összehasonlításával és a különbségekhez való igazítással érvényes és használható költségcsökkentés érhető el. A módszer az eszközök hasonlóságának és különbségeinek azonosításához szükséges eszközöket igényli, ezenkívül a hatékony használatához nagy adatbázis szükséges. Alapvető feltétele, hogy megfelelő számú korábbi eset áll rendelkezésre, és ezen esetekről az összehasonlításához megfelelő, és elégséges információval rendelkezzünk. Az alkalmazásához nagyszámú adatra és azok folyamatos rendezésére és kezelésére van szükség. Az adatbázis felvétele, illetve a hasonlóságok és különbségek azonosítása történhet a korábbi termékek

tapasztalatainak, vagy adatbázisainak felhasználásával. Az analóg módszernek létezik egy modernebb, továbbfejlesztett megközelítése, ezt az irodalom tapasztalat alapú gondolkodásnak nevezi (CBR-Case-Based Reasoning). A CBR a mesterséges intelligencia csoportjába is sorolható, mivel korábbi ismert, történelmi adatok modellezésére, tárolására és újrafelhasználására használható, és ennek felhasználásával szerezhető új tudás. A CBR egyik fontos jellemzője, hogy képes tanulni a múltbéli esetekből / helyzetekből. A CBR rendszer tárolja és rendszerezi a múltbéli eseteket, majd az adott új problémához hasonló eseteket kiválasztja, és az előző megoldások alapján az adaptációt. Az FBC-hez hasonlóan a CBR is egy funkció alapú megközelítés. A megbízhatóság nagyban függ a rendelkezésre álló korábbi esetektől ugyanúgy, mint az analóg módszer esetén. Azon vállalatok esetén, ahol az analóg módszer jól alkalmazható, ez a módszer valószínűleg egy nagyon jó lehetőséget teremt a költségbecslési számítások megbízhatóbbá és hatékonyabbá tételére, azonban új, egyedi és innovatív termékek esetén, mivel bázis adatok, esetek nem állnak rendelkezésre, a koncepcionális szakaszban ezen technikának nincs létjogosultsága. Azonban, ha a részlettervezési szakaszt nézzük, ott már előfordulhatnak olyan esetek, hogy egy adott funkció részletes kidolgozásához megfelelő számú korábbi eset áll rendelkezésre, és így akár a technika hasznosan alkalmazható is.

3. KÖLTSÉGBECSLÉSI MÓDSZEREK FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGE

A korai tervezési fázisban az ismertett technikák közül leginkább a paraméterek becslési technika alkalmazhatósága bizonyított. Azonban ezen technika alkalmazhatóságához költségbecslési kapcsolatok (CER) felállításával parametrikus modellek létrehozása szükséges. Az egyes előforduló, általános tervezési szituációk analitikus elemzésével erre lehetőség van.

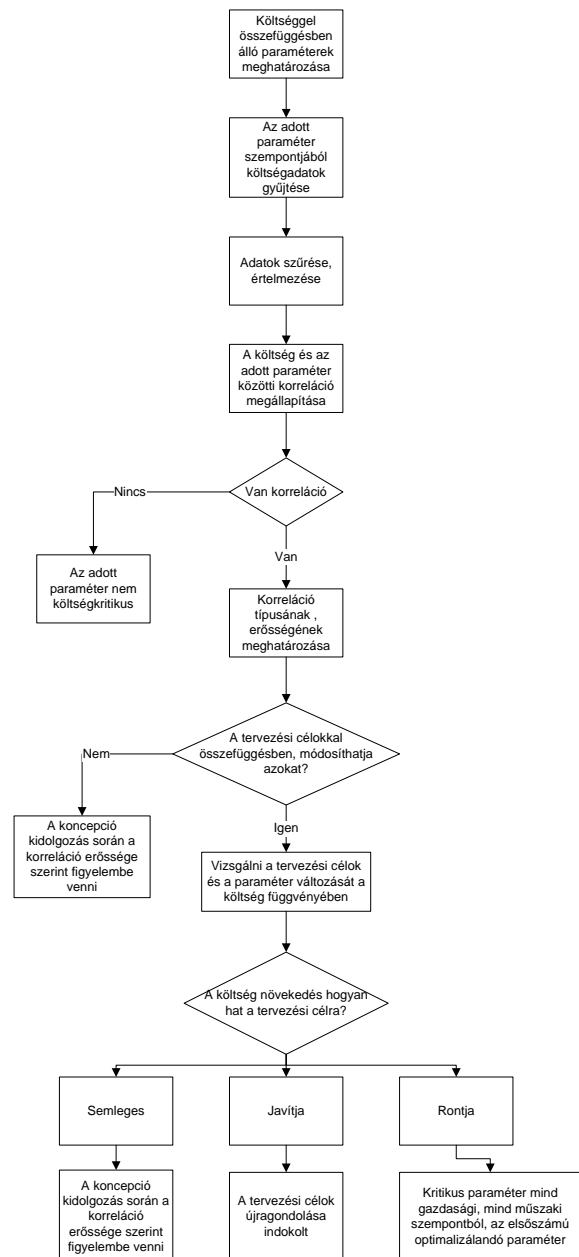
A parametrikus becslés az egyes tényezők költséggel való összefüggésének matematikai reprezentációja. Célja, hogy a termék (projekt) funkcionális vagy fizikai jellemzői alapján előre jelezhető, számítható matematikai kapcsolatot adjon annak költségére vonatkozóan.

A parametrikus költségbecslési modellek felállítására a Larry által leírt folyamatot átdolgozva, abba a gépészeti tervezés jellemzőit bedolgozva két folyamatábra került kidolgozásra. Mindkét eset a gépészeti tervezés koncepcionális fázisában alkalmazható, azonban különböző célokhoz.

Ezen célok:

1. Igények felállítása
2. Megoldási variációk kidolgozása, értékelése, értékelő kritériumok súlyozása

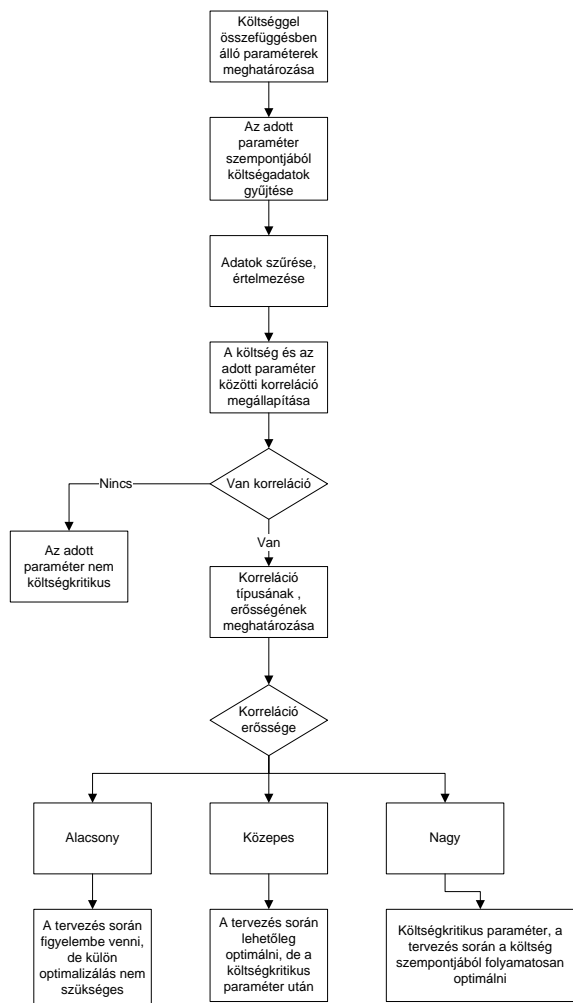
Az igények felállításához használható folyamat a 2. ábrán látható, míg a megoldási variációk kidolgozásához, értékeléséhez, értékelő kritériumok súlyozásához alkalmazható a 3. ábrán található.



2. ábra Parametrikus tervezés folyamatára a koncepcionális tervezési szakaszban, igények követelmények felállítása során

A folyamatábrák tevékenységeinek elvégzése után természetesen a modell tesztelése és dokumentálása is a folyamat részét képezi.

A bemutatott folyamatábrák alapján a mérnöki gyakorlatban hasznosan alkalmazható parametrikus modellek, költségoptimalt tervezési katalógusok felállítására van lehetőség.



3. ábra Parametrikus tervezés folyamatára a koncepcionális tervezési szakaszban, megoldás variációk kidolgozása, értékelése, értékelő kritériumok súlyozása esetén

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Mérnöki szempontból jól alkalmazható költségbecslési technika kidolgozásával jelentősen javítható egy termék versenyképessége. Irodalmi és tapasztalati adatok alapján a paraméteres technika alkalmazásával az egyes tervezési szituációkra kidolgozott paraméteres modellek felállításával jelentősen javítható a költség, mint kritikus tervezési paraméter figyelembevétele már a tervezés korai szakaszában is. A bemutatott folyamatábrák alapján ezen parametrikus modellek felállítása lehetővé válik az egyes tervezési szituációkra, mely alapján mérnöki szempontból jól alkalmazható költségoptimalizációs technika, katalógus hozható létre.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 nyilvántartási számú projekt keretében valósul meg.

6. IRODALOM

- [1] Szűcs Renáta: *Költségbecslési módszerek a koncepcionális gépészeti tervezésben*, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2019.
- [2] Stewart, R.; Wyskida, R. & Johannes, J. (1995) *Cost Estimator's Reference Manual*. 2nd ed., Wiley Interscience.
- [3] NASA (2002a) *NASA Cost Estimating Handbook*. NASA, www.jsc.nasa.gov/bu2/NCEH/index.htm (3rd December 2002).
- [4] Taylor, I. M. (1997) Cost engineering - A feature based approach. In: *85th Meeting of the AGARD Structures and Material Panel*, Aalborg, Denmark, October 13-14, 1997, pp. 1-9.
- [5] Mileham, R. A.; Currie, C. G.; Miles, A. W. & Bradford, D. T. (1993) A parametric approach to cost estimating at the conceptual stage of design. *Journal of Engineering Design*, 4(2): 117-125.
- [6] Roy, R.: *Cost engineering: why, what and how?* Cranfield University 2003., ISBN 1-861940-96-3
- [7] Benotsmane, R., Kovács, Gy., Dudás, L.: Economic, Social Impacts and Operation of Smart Factories in Industry 4.0 Focusing on Simulation and Artificial Intelligence of Collaborating Robots, *Social Sciences* 8: 5 Paper: 143 (2019).
- [8] Eric S. Rebentisch: Challenges in the Better, Faster, Cheaper Era of Aeronautical Design, Engineering and Manufacturing, *Aeronautical Journal New Series* 104(1040) September 2002
- [9] Farineau, T., Rabenasolo, B., Castelain, J.M., Meyer, Y.: Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 17(2):79-86, 2001.
- [10] Niazi, A., Dai, J.S., Balabani, S., Seneviratne, L.: Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review, *Journal of manufacturing science and engineering*. 128(2): 563-575, 2006.
- [11] Wierda, L. S. (1991) Linking design, process planning and cost information by featurebased modelling. *Journal of Engineering Design*, 2(1): 3-19.
- [12] Catania, G. (1991) Form-features for mechanical design and manufacturing. *Journal of Engineering Design*, 2(1): 21-43.
- [13] Ou-Yang, C. & Lin, T. S. (1997) Developing an integrated framework for feature based early manufacturing cost estimation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13: 618-629.
- [14] Brimson, J. A. (1998) Feature costing: Beyond ABC. *Journal of Cost Management*, pp. 6-12.
- [15] Kekre, S.; Starling, S. & Therani, M. (1999) *Feature based cost estimation in design*. <http://barney.sbe.csuhayward.edu/ssstarling/starling/working2.htm> (22nd February 1999).
- [16] Rush, C. & Roy, R. (2000) Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle. *Proceedings of CE2000 Conference*, Lyon, France, July 17-21, 2000, pp. 58-67.
- [17] Villarreal, J. A.; Lea, R. N. & Savely, R. T. (1992) Fuzzy logic and neural network technologies. In: *30th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, Houston, Texas, January 6-9, 1992.
- [18] Hornik, K.; Stinchcombe, M. & White, H. (1989) Multilayer feed-forward networks are universal approximators. *Neural Networks*. 2: 359-366.
- [19] Bode, J. (1998) Neural networks for cost estimation. *American Association of Cost Engineers*, 40(1): 25-30.
- [20] Smith, A. E. & Mason, A. K. (1997) Cost estimation predictive modelling: Regression versus neural network. *Engineering Economist*, 42(2): 137-162.
- [21] Rush, C. & Roy, R. (2000) Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle. *Proceedings of CE2000 Conference*, Lyon, France, July 17-21, 2000, pp. 58-67.

EMELŐASZTAL KÖLTSÉGOPTIMÁLT TERVEZÉSE

COST-OPTIMAL DESIGN OF SCISSOR LIFTING TABLE

Szűcs Renáta*, Galambos József**, Dr. Jármai, Károly***

ABSTRACT

Cost-optimized design is becoming more and more important among the design requirements. The competitiveness of companies highly depends on their cost-optimized design. The cost of a product can be reduced significantly in the design phase, cc. 70% of the expenses decided in the design phase. Therefore, during the design process, special attention should be paid to the production costs incurred. In the present study, the authors analyze a scissor lifting table's structure from a cost-optimal design perspective. Through this analysis, general cost-optimal design rules are also determined. Based on the presented technique, the determination of a parametric model for cost optimization design could be elaborated.

1. BEVEZETÉS

A tervezés során a termék teljes életciklus költségének több, mint 70%-a a korai tervezési fázisban eldől, ebben a tervezők, gyártók többsége egyetért, valamint a szakirodalom is kimutatta [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Éppen ezért fontos, hogy már a tervezés korai szakaszában a tervező ügyeljen a költségoptimált tervezésre, a konstrukció kialakításakor, a szerkezetet felépítő elemek meghatározásakor. Jelen tanulmány keretében egy emelőasztal szerkezetének tervezése során felmerülő szelvényválasztáson keresztül kerül bemutatásra egy lehetséges parametrikus modell a költségoptimált tervezés elősegítéséhez.

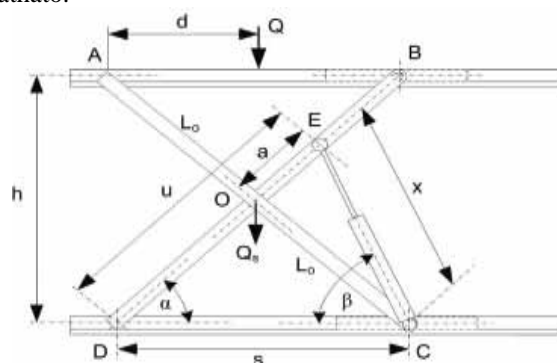
Alapvetően a költségoptimált parametrikus modelleket a koncepcionális tervezés különböző fázisaiban is alkalmazhatjuk:

1. Igény és követelményjegyzék felállítása
2. Megoldási variációk kidolgozása, értékelése, értékelő kritériumok súlyozása, valamint a 3. Részlettervezés során.

Jelen tanulmány keretein belül a részlettervezés során alkalmazható parametrikus modellt megalapozó technika kerül bemutatásra általános elvek és egy konkrét számítási példán keresztül. A részlettervezési szakaszban már a tervezés koncepcionális szinten kidolgozásra került, a megoldásvariáció funkcionálisan rendelkezésre áll, azonban az egyes funkcióhordozó elemekhez a hatáshordozó hozzárendelése még nem történt meg. A részlettervezés során a szükséges mérnöki számítások elvégzésre kerülnek, mely alapján a szerkezeti elemekkel

szemben támasztott követelmények (anyag és keresztmetszeti jellemzők) számszerűsíthetők. Jelen tanulmányban szereplő emelőasztal esetén a szerkezeti kialakítás ismert, azonban az egyes szerkezeti elemek méretének, típusának meghatározása költségoptimálás mentén kerül meghatározásra.

Az emelőasztal vonalás, szerkezeti ábrája az 1. ábrán látható.



1. ábra Emelőasztal vonalás szerkezeti ábrája

Jelen tanulmány keretein belül kizárólag a szerkezet statikai szempontjából kiemelten fontos ollórésszel foglalkozunk. Az egyes geometriai jellemzők (csuklópontok távolsága, henger elhelyezés, stb.) teherbírára és mozgástartományra gyakorolt hatását elhanyagoljuk.

2. KÖLTSÉGOPTIMÁLÁSI LÉPÉSEK

A részlettervezés első fő lépése a szerkezeti elemek méretezése. A szerkezet fő teherviselő eleme az emelőasztal ollója. Az ollóra ható erőket hagyományos statikai számítások segítségével meghatároztuk. Példánkban az emelőasztal terhelhetősége 500 kg. A statikai számítások eredményei a következő táblázatban találhatóak meg:

1. táblázat Az ollóra ható terhelések, terhelhetőség 500 kg

	A, B, C, D	E	F	O
Normálerő [N]	334,29	305,08	232560,51	232560,51
Nyíróerő [N]	2820,4	44216,05	3547,37	44216,05
Hajlítónyomaték [Nm]	0	1926,39	382,04	4421,6

* ügyvezető, vezető tervező, S&G Solution Kft. 3508 Miskolc, Haladás u. 5.

** vezérigazgató, Weldminker Művek Zrt. 8181 Berhida, Péti út 88.

*** egyetemi tanár, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc, Egyetemváros

Az egyes pontokban ébredő erők alapján, az adott helyeken szükséges keresztmetszeti jellemzők a HMH elmélet szerint redukált feszültségre vonatkozó összefüggés szerint számíthatók. Ezen keresztmetszeti jellemzők képezik az alapját azon függvényeknek, mely alapján költségbecslési kapcsolatok (CER) hozhatóak létre a parametrikus modell megalkotásához.

A következőkben megvizsgálásra került, hogy a költségre hogyan hat a választott tartó típusa, mérete, milyen összefüggés van a tömeg és a költség között. Egy fontos tényező ezen vizsgálatok során még az anyagminőség, azonban ezen paraméter nem képezi jelen tanulmány részét, azonban jelen eredményeket a későbbiekben ezen paraméter vizsgálatára kívánjuk kiterjeszteni. A költségszámítás alapja, hogy a statikailag megfelelő tartó különböző típusokban, méretekben és anyagminőségekben is elérhető. Alapvető feltételezésünk, hogy kizárólag kereskedelmi forgalomban is járatos típusokat, méreteket és anyagminőségeket vizsgáljuk, ezzel is elősegítve, hogy a gyakorlati mérnöki gyakorlatban jól alkalmazható eszköz kerüljön kidolgozásra.

2.1. Előzetes megfontolások

A szerkezet funkciója, kialakítása révén a tervező már alapvetően el tudja dönteni, hogy milyen típusú szelvények felelhetnek meg az adott feladatra. Esetünkben a szerkezeti kialakítás miatt két típusú szelvény között érdemes választani:

1. Zártszelvény,
2. Lemez.

Természetesen a továbbiakban ismertetett megfontolások más szelvénytípusokra is igazak, azonban a tervezés ezen fázisában a többi szelvénytípust durva szelekciós módszerrel már ki lehet zárni, azok jelen konstrukciókhoz geometriai kialakításuk révén nem lehetnek optimálisak.

Általánosságban megállapítható, hogy minimális mérnöki gyakorlattal is bizonyos megoldási variációk könnyen kizárhatóak, valamint sok esetben a körülmények (beépítési környezet, funkcionalitás, stb.) bizonyos megoldási lehetőségeket lekorlátoz. Ezen megoldások mivel a tervezési alapkövetelményeket sem teljesítik a költségoptimalt tervezés bemenő paraméterei közül is kizárásra kell, hogy kerüljenek. Minden esetben kizárólag olyan bemenő paraméterei lehetnek a költségoptimalt tervezésnek, melyekkel a tervezési feladatban támasztott igények és követelmények maradéktalanul teljesíthetők.

2.1. Parametrikus modell előkészítése

Az előzetesen meghatározott szelvénytípusokhoz, a kereskedelmi forgalomban járatos méretválasztékára elkészítettük egy Excel táblázatot, melyben az egyes

szelvények megnevezése és a feladat szempontjából releváns adatai felvezetésre kerültek, így:

1. Folyóméterenkénti ár,
2. Terület (A),
3. Keresztmetszeti tényező (K),
4. Folyóméterenkénti súly.

Az ollóra ható terhelések az olló alábbi igénybevételeit okozza:

1. Húzás/nyomás,
2. Hajlítás,
3. Nyírás.

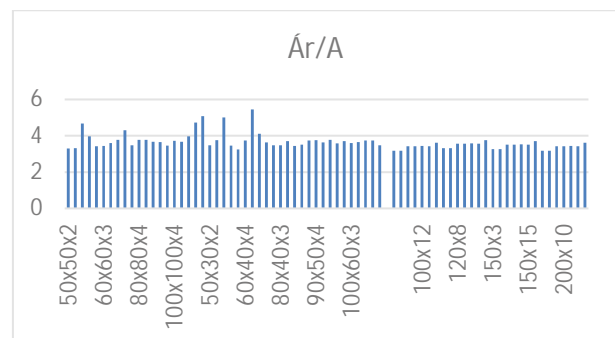
Húzás/nyomás és nyírás esetén a terhelt keresztmetszet, az A felület (terület), míg hajlítás esetén a keresztmetszeti tényező (K) lesz a meghatározó az adott szelvény teherbírása szempontjából. Kihajlás akkor fordulhat elő, ha vékonyabb laposvas kerül alkalmazásra. A költségek összehasonlíthatósága érdekében az adott szelvény árát folyóméterre vetítettük. A szelvények árát interneten, nyilvánosan megtalálható [7] megtalálható honlapról adtuk meg. Az egzakt összehasonlítás érdekében minden szelvény árát ugyanazon helyről gyűjtöttük össze. Az anyagminőség minden esetben S235JR.

A folyóméterre vetített súly egyrészt hasznos információt nyújt a szerkezet önsúlyára, mivel a szerkezet önsúly a teherbírást csökkenti, másrészt pedig ezen jellemző alapján képet kaphatunk, hogy a hagyományos minimális súlyra való méretezés ténylegesen költségoptimumot jelent-e vagy sem.

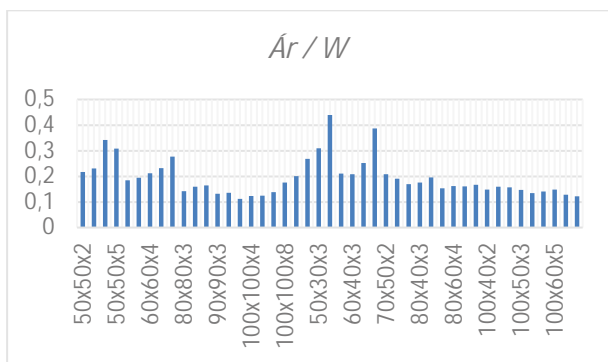
Előzetesen a táblázat alapján meghatároztunk bizonyos mutatószámokat, így a felületre eső folyóméterárát (\bar{A}/A), valamint a keresztmetszeti tényezőre eső folyóméterárát (\bar{A}/K), melyek a 2.-3. ábrán láthatók.

A hagyományos minimális súlyra való méretezés helytállóságának ellenőrzéséhez a 4.-5. ábrán látható $tömeg/A$ és $tömeg/W$ mutatószámok kerültek bevezetésre.

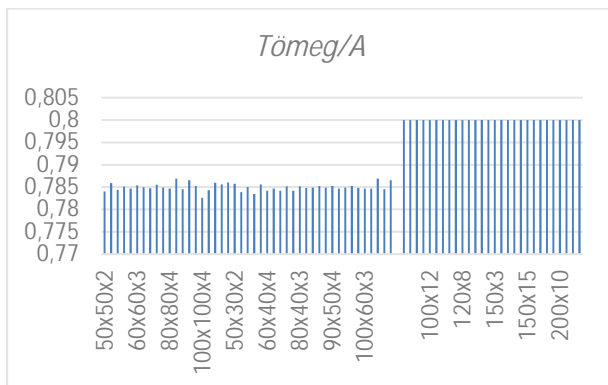
A 2. és 3. ábra esetén megállapítható, hogy míg lemezek esetén mindkét mutatószám (\bar{A}/A és \bar{A}/W) közel azonos tartományba esik függetlenül azok szélességétől és anyagvastagságuktól, a zártszelvények esetén vannak kiugró értékek.



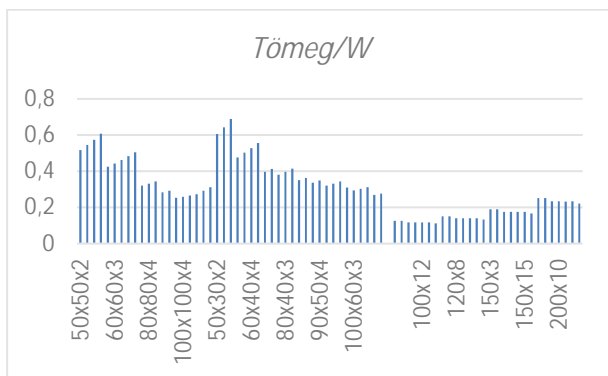
2. ábra Területre eső folyóméterár



3. ábra Keresztmetszeti tényezőre eső folyóméterár



4. ábra Területre eső tömegegység



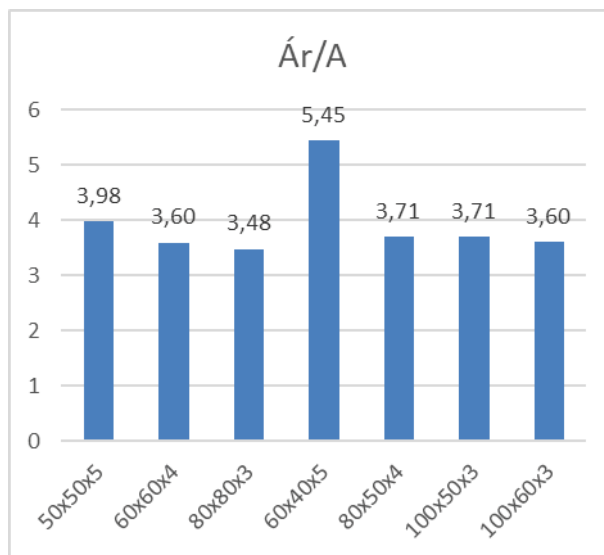
5. ábra Keresztmetszeti tényezőre eső tömegegység

A 4 - 5. ábrán a területre és a keresztmetszeti tényezőre eső adott hosszhoz tartozó tömeg látható. Ezen ábrák alapján megállapítható, hogy mind zártszelvények, mind lemezek esetén a *tömeg/A* mutatószám közel azonos tartományba esik. A 2. és 4. ábrát összevetve megállapítható, hogy a tömegminimumra történő méretezés helyével közel egyben költségoptimum is megvalósul lemezek esetén húzó/nyomó és nyíró igénybevételnél, viszont zártszelvények esetén már messze nem igaz. Ezen állítást látható számszerűsítve a 2. táblázatban. Hajlítás esetén sem a lemezek, sem pedig a zártszelvények esetén nem állapítható meg, hogy általános igaz lenne, hogy a tömegminimum egyben költségoptimum is, *tömeg/W* mutatószám nem esik közel

azonos tartományba. Zártszelvények esetén kiugró értéket is jelzik ezen megállapítás helytelenségét. Azonban természetesen bizonyos körülmények között a megállapítás helyes is lehet, de általánosítania semmiféleképpen sem lehet az ismertetett táblázatok tükrében.

2. táblázat Költségek változása zártszelvényeknél [8]

	Tömeg [kg/m]	Terület [mm ²]	Ár 6m
50x50x5	6,56	835,6	19945
60x60x4	6,71	854,8	18460
80x80x3	7,07	900,8	18811
60x40x5	6,56	836	27338
80x50x4	6,71	855	19015
100x50x3	6,6	841	18714
100x60x3	7,07	901	19480



6. ábra Területre eső folyóméterár

A 2. táblázat alapján látható, hogy tömegminimum esetén az 50x50x5, valamint 60x40x5 zártszelvények az optimálisak min. 830 mm²-es területhez, azonban ezek a szelvények ár szempontjából már nem optimálisak. Az *Ár/A* mutatószám alapján megállapítható, hogy a költségoptimum szempontjából a zártszelvényekre az alábbi állítások igazolhatók:

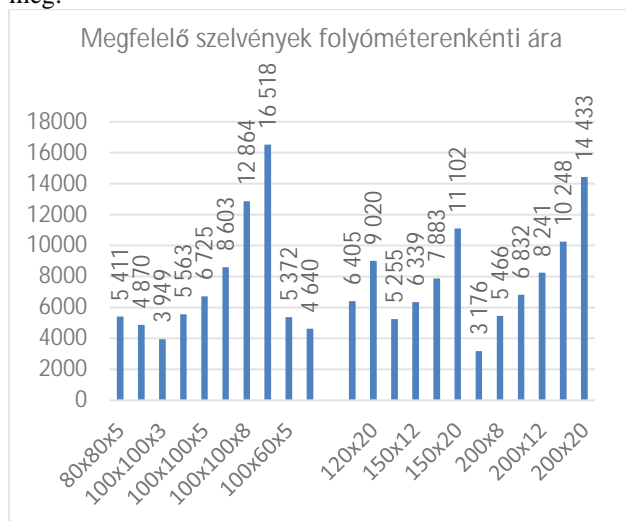
- négyzetalap előnyösebb a téglalap alapnál
- kisebb falvastagság még nagyobb szelvényméret esetén is optimálisabb költség szempontjából.

A 2. és 3.-as ábrák alapján megállapítható, hogy a zártszelvények és a lemezek hasonló *ár/A* és *ár/W* tartományba esnek – ez alól kivétel néhány kiugróan magas árú zártszelvény –, így egymásnak valós alternatívái jelen tervezési követelmények esetén. A kiugró *ár/A*, valamint *ár/W* mutatószámmal rendelkező zártszelvényeket, mint költségoptimalási szempontból

előnytelen szelvényeket külön jelölni kell. Így ezen szelvények alkalmazása kizárólag nagyon indokolt, pl. előírt geometriai méretek betartása esetén ajánlott. Ilyen szelvény például a 50x40x5, 50x30x4, 100x100x10, 50x50x4.

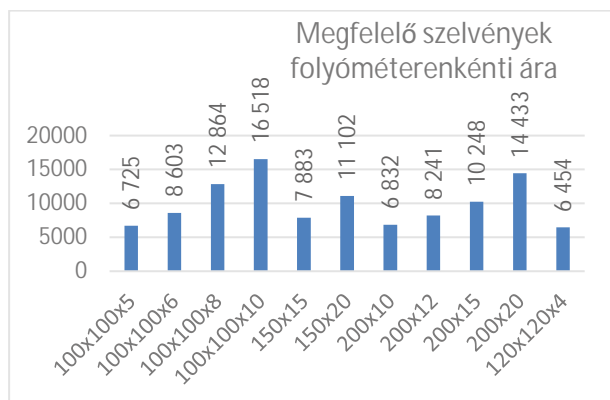
3. EMELŐSZTAL OPTIMÁLIS SZELVÉNYVÁLASZTÁS

Az elkészített Excel táblázatot a statikai számítások alapján meghatározott minimális A és K értékekre leszűrtük, mely alapján az alábbi szelvények felelnek meg:



7. ábra Megfelelő szelvények folyóméterára 500 kg terhelés esetén

A 7. ábra alapján látható, hogy a költségoptimum a 200x5-ös lemez esetén van 500 kg-os terhelés esetén. Azonban konstrukciós kialakításokat figyelembe véve valós alternatíva a 100x100x3-as zártszelvény is. A zártszelvények esetén látható, hogy a korábban bemutatott elvek érvényesülnek, tehát a négyzet alapú zártszelvények, a választható kisebb falvastagság (akár a külméret növelése árán is) esetén jelentik a költségoptimumot.



7. ábra Megfelelő szelvények folyóméterára 700 kg-os terhelés esetén

Ezen elvek megjelenés szintén megfigyelhető, ha nagyobb terhelési értéket alapján végrehajtjuk a számításokat (lásd 8. ábra). A 120x120x4-es zártszelvény alacsonyabb költséggel jár, mint a 100x100x5-ös zártszelvény, így amennyiben méretkorlátok nem indokolják nagyobb méretű, de kisebb falvastagságú szelvény választása optimális költség szempontjából.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban szereplő elemzések alapján megállapítható, hogy a hagyományosan alkalmazott tömeg minimumra való tervezés sok esetben nem jelent egyben költségoptimumot is. A bemutatott technika alapján paraméteres modell kidolgozására lehetőség van, mely alapján egy mérnöki szempontból jól alkalmazható költségbecslési technika valósítható meg. Az elemzések során további paraméterek bevonásával a technika tovább finomítható. A paraméteres modell kidolgozása további, összetett, különböző esetek, tervezési körülmények vizsgálatát igényli, azonban a bemutatott technika jó alapjául szolgál a kidolgozásához.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 számú projekt keretében valósult meg.

6. IRODALOM

- [1] Szűcs Renáta: *Költségbecslési módszerek a koncepcionális gépészeti tervezésben*, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2019.
- [2] Stewart, R.; Wyskida, R. & Johannes, J. (1995) *Cost Estimator's Reference Manual*. 2nd ed., Wiley Interscience.
- [3] NASA (2002a) *NASA Cost Estimating Handbook*. NASA, www.jsc.nasa.gov/bu2/NCEH/index.htm (3rd December 2002).
- [4] Taylor, I. M. (1997) Cost engineering - A feature based approach. In: *85th Meeting of the AGARD Structures and Material Panel*, Aalborg, Denmark, October 13-14, 1997, pp. 1-9.
- [5] Mileham, R. A.; Currie, C. G.; Miles, A. W. & Bradford, D. T. (1993) A parametric approach to cost estimating at the conceptual stage of design. *Journal of Engineering Design*, 4(2): 117-125.
- [6] Roy, R.: *Cost engineering: why, what and how?* Cranfield University 2003., ISBN 1-861940-96-3
- [7] Virág Z., Jármái K.: Optimum design of stiffened plates for static and dynamic loadings using different ribs, *Structural engineering and mechanics*, Vol. 74, No. 2, pp. 255-266, 2020
- [8] <https://www.timarvasker.hu/>

A TISZTA ALUMÍNIUM AEROSOL ÜTŐ EXTRUDÁLÁSSAL TÖRTÉNŐ GYÁRTÁSÁNAK NUMERIKUS SZIMULÁLÁSA

NUMERICAL SIMULATION OF IMPACT EXTRUSION FOR PURE ALUMINUM AEROSOL CAN MANUFACTURING

Jemal Ebrahim Dessie^{*}, Lucas Alexandre de Carvalho^{*}, Dr. Zsolt Lukacs^{**}

ABSTRACT

Impact extrusion is a supreme manufacturing process for seamless aerosol can. Reducing can thickness and eliminating of decrease in mechanical properties after the internal coating is critical problems of current aerosol can industries. Through selecting highly strength aluminum alloy, there is a possibility of extrusion inhomogeneous wall thickness to manufacture thinner and strengthen aerosol can. Deform 2D is optimistic FEM software to model and simulate inhomogeneous wall thickness, as a result, it can acquire defect-free can shoulder at the necking stage.

1. INTRODUCTION

Aerosol cans are thin wall aluminum cans used as the packaging of cosmetics, chemicals, pharmaceuticals, foodstuffs, and household products. In 2015, about 7.7 billion aluminum aerosol cans were produced worldwide [1].

Aerosol cans manufacturing process consists of the following stages (figure 1) [4]:

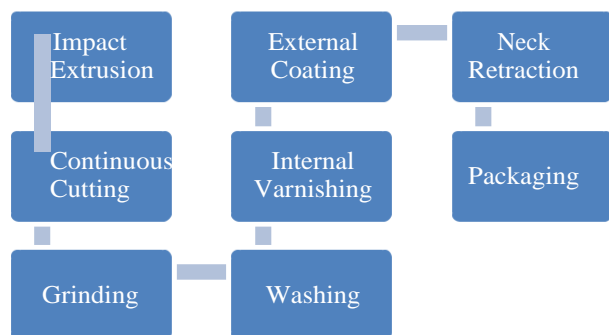


Figure 1: Manufacturing process stages

2. LITERATURE REVIEW

Few publications have been investigated related to numerical simulation of the extrusion process and aerosol can manufacturing.

One might cite the work carried by Abrinia and Kaveh Gharibi an investigation on axisymmetric finite element simulation of backward extrusion process for thin-walled lead can manufacturing using ABAQUS. The simulation

was considered different punch head profile and fillets for different can thicknesses [5].

F. Belblidia and T.N. Croft., carried out on Simulation-based aerosol can design under pressure and buckling loads. They used Ansys was used as a finite element software to simulate aerosol can seeks to predict the level of pop-up and burst pressure levels for can buckling. Numerical findings are assessed against experimental trials for the reliability of such a simulation-based approach for can design [6].

Yahya Mahmoodkhani, and Mary A. Wells., published on Numerical modeling of the material flow during extrusion of aluminum alloys. Using DEFORM 2D simulation of the hot extrusion process for AA3003 aluminum alloys was investigated. In this investigation, the temperature, strain rate, and strain distribution in the billet/extrudate at any position in the container and die have been predicted. Validation of the numerical model, by comparison to industrial data, has been developed and validated [7].

László Péter KISS also investigated the effect of various imperfections on the buckling of an aerosol can. The commercial Abaqus finite element software was used with the Static, Riks step to trace the equilibrium path in order to predict buckling load. In this article, the effect of small errors of material, geometry, tool angle on the load-bearing abilities of an aluminum aerosol can is investigated [8].

2.1 Aerosol can materials

The most commercially popular aerosol can materials are pure aluminum alloy (99.5% or 99.7% purity level) [1]. To some extent, other types of aluminum alloy were investigated by different scholars.

Stanislav Kores and Jozef Medved modified the standard aluminum for the development of AlMn0.3 alloy and AlMn0.6 alloy. Through this alloy, decreasing of mechanical properties of the material after internal coating decreased by 15.9 % and from the AlMn0.6 alloy by 6.5 % with compared to 99.5 % or 99.7% purity level aluminum alloy [2].

Kores, Stanislav introduced AlMn0.6 alloy with the addition of 0,115 Zr for aerosol can manufacturing. The addition of Zr raises the recrystallization threshold of the material above 300 °C and alloying elements Fe, Mn, Ti and Si form intermetallic phases which strengthen the aluminum matrix [9]. Through this invention, the minimal decrease in mechanical properties after internal

^{*} Doctoral student, Institute of Materials Science and Technology, University of Miskolc

^{**} Associate Professor, Institute of Materials science and Technology, University of Miskolc

coating as well as 3-5 bar higher deformable and burst pressure was achieved [9].

2.2. Current challenges of Aerosol can manufacturing

When manufacturing of aerosol can, the decrease in mechanical properties after internal coating at high temperature as well as achieving higher deformable and burst pressure aerosol can is challengeable. At the same time reduction of can thickness is very crucial in order to reduce the cost of an aerosol can. But improving the extrusion process to achieve defect-free shoulder at the necking stage is mandatory.

2.3 Finite element simulation of extrusion process

The finite element method (FEM) is a powerful numerical tool for the design (optimize) of a backward extrusion process. It helps to reduce the cost of process trials and times [10] [6].

Numerical simulations are therefore an ideal tool to achieve the desired (and optimum) impact extrusion for aerosol can design and manufacturing to reduce manufacturing time and cost [6]. Both strain and stress distribution influenced by area reduction of backward extrusion should be properly investigated. Die geometry, extrusion velocity, lubrication, workpiece material, and accuracy also important parameters to design cold backward extrusion [11].

Unlike general purpose FEM codes, DEFORM 2D/3D is impeccable for deformation modeling and simulation of backward extrusion. A user-friendly graphical user interface provides easy data preparation and analysis for manufacturing engineers. It is a fully automatic and optimized system, fitted for the metal extrusion process [12].

3. NUMERICAL SIMULATION OF AEROSOL CAN

Due to the symmetry of the workpiece, the half cross-section and an axisymmetric backward extrusion model was analyzed in Deform 2D FE software. The type of simulation was Lagrangian incremental, as well as the direct iteration method were selected. The material model was defined as plastic. Punches and dies were assumed to be rigid due to negligible elastic deformation whereas the sample material was considered as deformable in the model.

In this study, the work material was commercially pure aluminum, DIN Al99.7 [12]. The mechanical properties of the work material are summarized in Figure 2. Figure 3 illustrates the arrangement of the die, punch, and billet for the simulation established by simple geometry in CAD software.

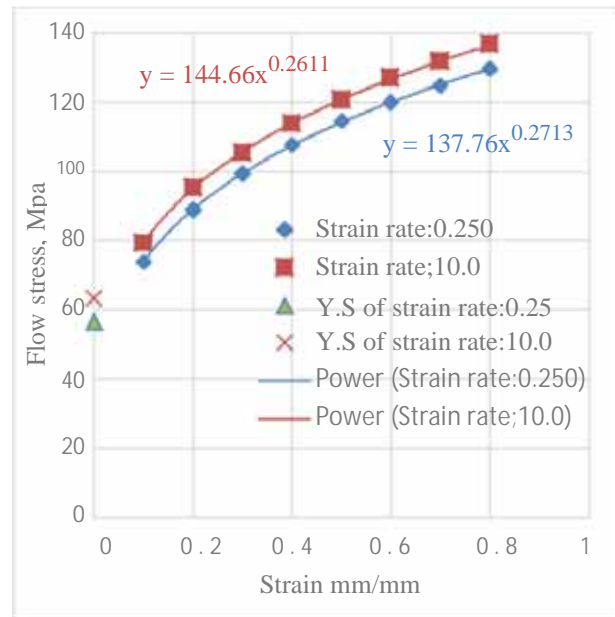


Figure 2: Mechanical properties of DIN Al99.7

The dimension of the workpiece was 8.3 mm thickness with 24.5 mm diameter. The punch was inserted at 8.7 mm into the die to get initial position of the process. At the initial position, there is a 0.1 mm gap between the punch and workpiece interface. The displacement of the punch into the die after started the extrusion process was 9.3 mm to remain 0.5 mm bottom thickness of can. The total inserted length of the punch into the die to accomplish the extrusion process was 18 mm. At a die depth of 11.6 mm, extrusion of the wall started with 0.4 mm thickness up to a die depth of 13.86 mm. From die depth of 14.2 mm until the processes stopped, 18 mm, extrusion of the wall with 0.33 mm thickness was followed. Between 13.86 mm and 14.2 mm, depth of die taper wall thickness distribution between 0.4 mm and 0.33 mm was investigated.

The relationships among the length of the can, the thickness of the can, and die depth from Deform 2D simulation have been shown in figure 4. In figure 4 the simple scale picture was put to show where the measurement of length, zero-length, of the bottle started. The effective strain distribution of Deform 2D simulation at extrusion started, at extrusion of wall thickness transition zone, and at the finishing of the extrusion process have been shown in figure 5, 6, and 7. The number of grid elements of wall thickness at extrusion started, intermediated, and finished was three, two, and one respectively. Finally, very fine and uniform wall thickness was investigated.

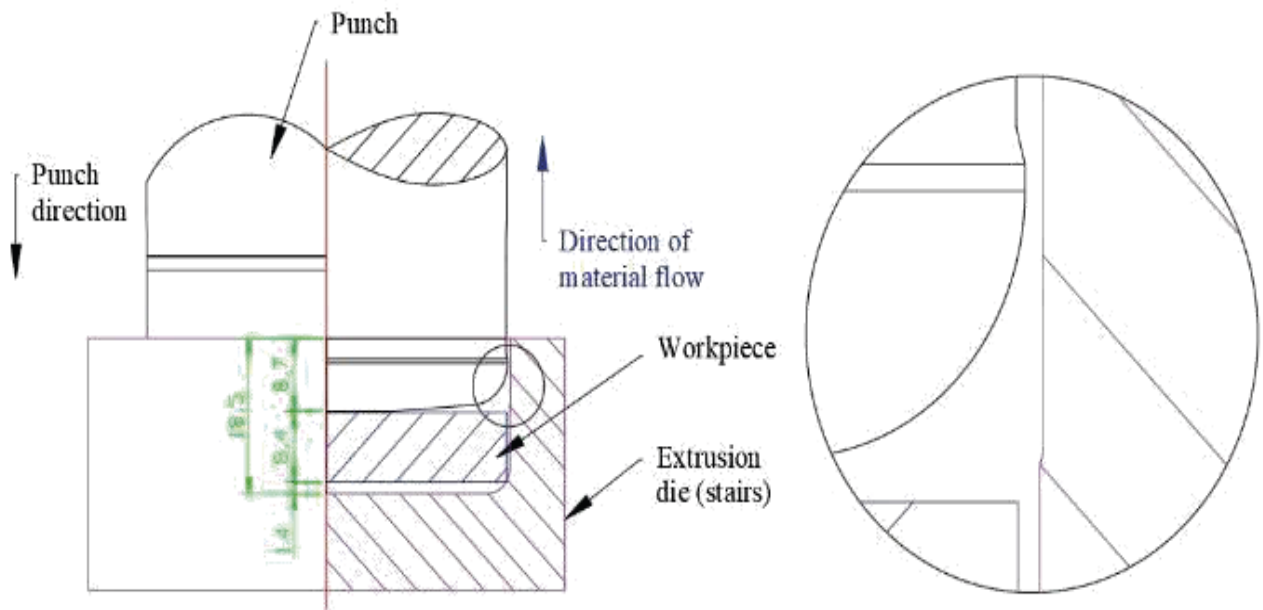


Figure 3: Punch, workpiece and die arrangement

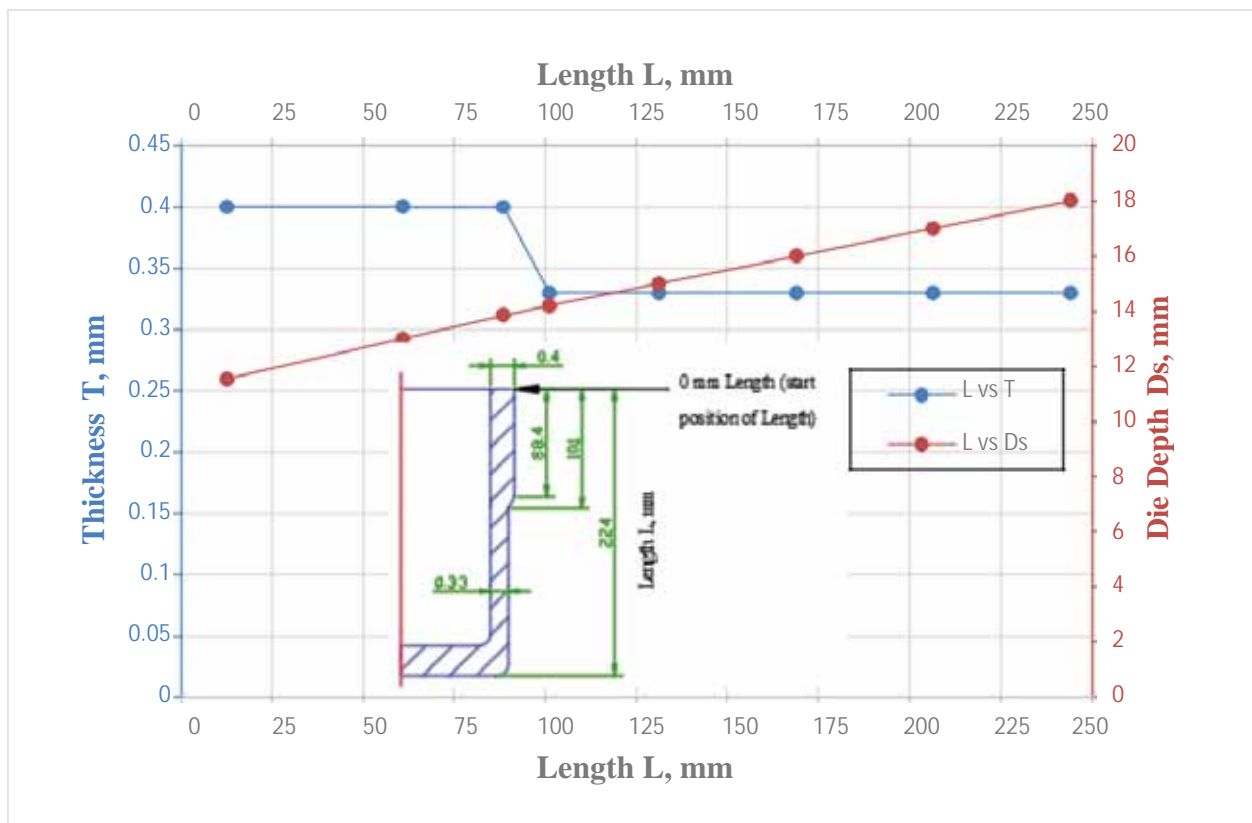


Figure 4: The relationships among the length of can, thickness of can and die depth

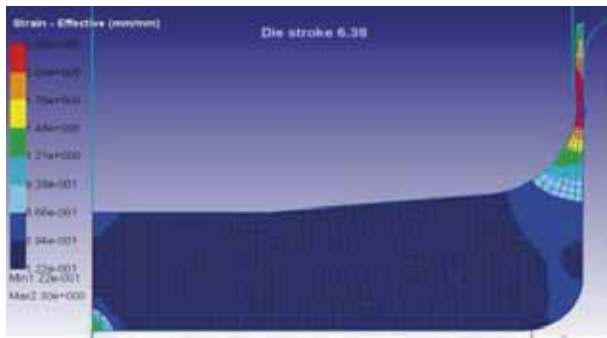


Figure 5: effective strain distribution at extrusion started

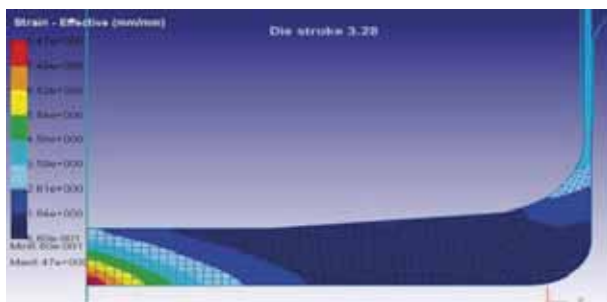


Figure 6: effective strain distribution at extrusion of wall thickness transition zone

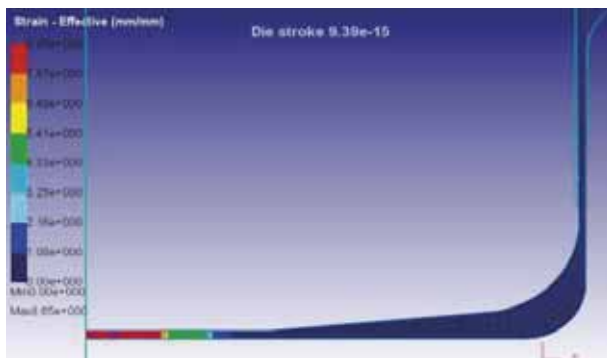


Figure 7: effective strain distribution at finishing of extrusion process

4. CONCLUSION

Subtling aerosol can material by highly strengthen aluminum alloy is important in order to face the decrease in mechanical properties of the aerosol can after internal coating as well as achieving higher deformable and burst pressure. Through highly strengthen alloy can, there is the possibility of reducing can thickness as well to reduce the cost of aerosol can.

Modeling, simulation, and analyzing of inhomogeneous wall thickness aerosol can with the experimental study is vital to improve the necking process to acquire defect free can shoulder. DEFORM 2D is ideal FEM codes to model and simulation of impact extrusion of aerosol can with inhomogeneous wall thickness distribution.

5. REFERENCE

- [1] Aluminum in the Packaging Industry, <http://www.aluinfo.de>, 14.10.2020
- [2] Stanislav Kores, Jozef Medved, Maja Vončina, 2016. Development of aluminum alloys for aerosol cans. *Materiali in Tehnologije*.
- [3] Siles, J. L., Melancon, S., Platek, S. M., & Chatey, A. (2017). U.S. Patent No. 9,663,846. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [4] MATERIAL METAL Packaging Manufacturer and Sales Limited Liability Company, <http://project.matrametal.hu>, 08.10.2020
- [5] Abrinia, K., & Gharibi, K. (2008). An investigation into the backward extrusion of thin walled cans. *International Journal of Material Forming*, 1(1), 411-414.
- [6] Belblidia, F., Croft, T. N., Hardy, S. J., Shakespeare, V., & Chambers, R. (2013). Simulation based aerosol can design under pressure and buckling loads and comparison with experimental trials. *Materials & Design* (1980-2015), 52, 214-224.
- [7] Mahmoodkhani, Y., Wells, M. A., Parson, N., & Poole, W. J. (2014). Numerical modelling of the material flow during extrusion of aluminium alloys and transverse weld formation. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(3), 688-700.
- [8] Kiss, L. P. (2020). THE EFFECT OF VARIOUS IMPERFECTIONS ON THE BUCKLING OF AN AEROSOL CAN. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 13(1), 49-52.
- [9] Kores, Stanislav, 2016. Aluminum alloy for aerosol cans manufactured by the impact extrusion and the process for preparation thereof. EUROPEAN PATENT APPLICATION, EP 3 075 875 A1.
- [10] Li, G., Yang, J., Oh, J. Y., Foster, M., Wu, W., Tsai, P., & Chang, W. (2009). Advancements of extrusion simulation in DEFORM-3D. In *Proceedings of The International Conference on Extrusion and Benchmark*.
- [11] Yang, C. C., & Lin, X. Y. (2016). The forming analysis of two-stage extrusion for 1010 fastener. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 6(3), 43-50.
- [12] Matmatch GmbH, <http://www.matmatch.com>, 22.10.2020

OPTIMÁLÓ ALGORITMUSOK ROBOTOK INVERZ KINEMATIKÁJÁHOZ MATLAB FORRÁSKÓDDAL

OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR INVERSE KINEMATICS OF ROBOTS WITH MATLAB SOURCE CODE

Hazim Nasir Ghafil*, Dr. Jármai Károly**

ABSTRACT

This paper presents a methodology to solve the inverse kinematic problem for any kind of robot arm using optimization algorithms. Forward kinematic is usually a straightforward analysis for any robot while inverse kinematic is hard to be solved for many cases. Thus, depending on a set of the forward kinematic equation, the objective function can be formulated to be minimized to find the inverse position. This methodology makes the inverse kinematic very simple operation for all types of the robot, even for those who are complicated with a high degree of freedom. A particle example of 5DOF revolute joint arm was used to present this methodology with source code written in MATLAB for the objective function. Dynamic differential optimization algorithm DDAO was used to minimize the objective. DDAO has promising usage for embedded systems when prototyping a controller that estimate the inverse kinematic as per user request.

1. BEVEZETÉS

Az inverz kinematika [1] a csuklós robotok sarokköve a mindennapi élet során történő alkalmazásában, mivel az összes többi robotfolyamat annak kimenetétől függ. A csuklós karú robot úgy mozog, hogy közös bemeneti értékeket ad a vezérlőknek [2], ennek megfelelően a kar vége a derékszögű koordináta rendszerben mozog. Ezt nevezzük direkt kinematikának, és ez egy egyszerű művelet, amely nem igényel komoly számításokat vagy optimalizálást. A derékszögű koordináta rendszerben történő mozgással foglalkozunk, mert erre van szükség az alkalmazások döntő részében, miközben a mozgás a csukló koordináta-rendszerben még mindig kevésbé ismert. A legnehezebb folyamat az, amikor a bemenet a derékszögű koordináta rendszerben adott és a feladat a közbenső csuklók adatainak kiszámítása. Ezt inverz kinematikának hívják. A robotok a derékszögű koordináta rendszerben adott pontok meghatározott pályáját követve olyan alkalmazásokat tesznek lehetővé, mint a hegesztés, vágás, csiszolás, festés stb. [3]. Így az inverz kinematika leképezi az end effektor (vagy csak a kar szélső végének) mozgását a derékszögű koordináta

rendszerben. Érdeemes megemlíteni, hogy az egyszerű topológiájú robotok esetében az inverz kinematika egyszerű és megoldható több más módszerrel, például geometriai vagy analitikai megoldásokkal. A bonyolult, nagy szabadságfokú robotok esetében a folyamatot nehéz vagy akár lehetetlen megoldani hagyományos módszerekkel [4]. Ebben a cikkben bemutatjuk az inverz kinematika célfüggvényének megfogalmazását, amelyet bármely optimalizációs algoritmus megoldhat. A dinamikus differenciális optimalizáló algoritmus (Dynamic annealed optimization algorithm, DDAO) [5] kifejezetten a robotkarok inverz kinematikai feladat megoldására javasolt. Ebben az algoritmusban az a különleges, hogy független a populáció méretétől, és ez teszi a DDAO-t tökéletesen beágyazott rendszerek vizsgálatára során, amint azt a következőkben látható.

2. DDAO

A dinamikus differenciális optimalizáló algoritmus (DDAO) egy fizikailag ihletett optimalizáló algoritmus, ami utánozza a kétfázisú acél gyártásának folyamatát. Az algoritmus matematikai modelljét a következőképpen fejezzük ki:

$$S_k = (S_{c_i} - S_{c_j}) + S_{r_f} \quad (1)$$

$$f = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{rem}(\text{iteration}, 2) = 1 \\ \text{random}[0,1] & \text{if } \text{rem}(\text{iteration}, 2) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

ahol a *rem* a válasz a 2-vel való osztás után, akkor a következő eljárást javasoljuk a valószínűségi képlettől függően

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{T}} \quad (3)$$

$$\Delta E = \frac{\text{Cost}(S^k) - \text{Cost}(S_L)}{\text{Cost}(S_L)}, \quad (4)$$

ahol S_k a k -adik iterációs számra adódó megoldás. P az új megoldás elfogadásának valószínűsége, ΔE az (1) egyenletből a javasolt megoldás célfüggvény értéke és az S_L megoldás célfüggvénye közötti különbség, amely az L index adódott eredmény értéke a populációban, $L =$

* doktorandusz, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

1, ..., populáció mérete. T a hőmérsékleti változó, amelynek nagy értékkel kell indulnia, és az iterációk során folyamatosan alacsonyabb értékre kell frissíteni. A javasolt megoldás elfogadható, ha $P >$ véletlenszám $\in [0,1]$. A keresés elején a T nagy értékkel indul; következésképpen P közel lesz az egyhez a (3) egyenlet szerint. Ez azt jelenti, hogy a véletlenszerű számok széles skálája kevesebb lehet, mint egy, és a megoldást nagy valószínűséggel kiválasztják. A T alacsony értékénél a P valószínűség nullához közelít; a (3) egyenlet szerint ez azt jelenti, hogy a véletlenszámok nagyon szűk tartománya kisebb lehet, mint P , és a megoldás ritkábban kerül kiválasztásra. Az alábbiakban bemutatott pszeudo kód mutatja a működését.

```

Initialize population  $X_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )
Initialize parameter  $T$ , cooling rate
Calculate the cost of each solution
 $X_b =$  The best solution
While ( $t <$  Max iteration)
Initialize sub-population  $S$ 
Calculate the cost of the sub-population
Sort sub-population
 $S_r =$  Best solution in sub-population
Choose two random solutions  $X_m$  and  $X_n$  from population
Calculate  $S_k$  from equation (1)
Sort population  $X$ 
  foreach solution in population  $X$ 
    if there is an improvement
       $X_i = S_k$ 
    otherwise, replace the worst solution in population  $X$  using equations (3) and (4)
  endif
endfor
Update  $X_b$ 
 $T = T * \text{cooling rate}$ 
 $t = t + 1$ 
endwhile
return  $X_b$ 

```

A DDAO-nak egyedülálló jellemzője az, hogy független a populáció méretétől, ez azt jelenti, hogy a RAM minimális méretét használja, amikor három egyed népességméretét veszi figyelembe. Természetesen más algoritmusok is alkalmazhatók, mint a részecske csoport optimalása [6], a genetikai algoritmus [7], a szürke farkas optimalás [8]. Ezeket az algoritmusokat úgy lehet használni, hogy a populáció méretét a lehető legkisebbre állítjuk, és ami az inverz kinematikai probléma legjobb algoritmus, azt a felhasználó választhatja ki a jövőbeni munkák során.

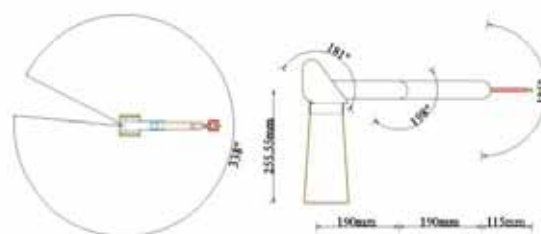
3. GYAKORLATI PÉLDA

Ebben a tanulmányban a LabVolt 5150 ipari robot [9] került alkalmazásra az inverz kinematika

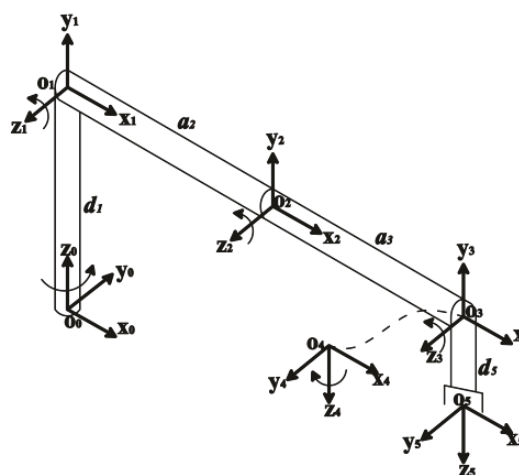
kiszámításának javasolt módszertana bemutatására, optimáló algoritmus alkalmazásával. Ez egy 5 DOF manipulátor; forgástengelyei az alap, a váll, a könyök, a dőlés és forgás. Az összes forgócsuklót öt léptetőmotor működteti. Az 1. ábra ezt a ipari robotot mutatja, a 2. ábra a robot konfigurációs terét, a 3. ábra pedig a lehetséges mozgásokat mutatja. A 2. ábrán bemutatott modellnek megfelelően az egyes kapcsolatokra a becsült térbeli paramétereket az 1. táblázat mutatja.



1. ábra. A LabVolt 5150 manipulátor



2. ábra. A Lab-volt 5150 lehetséges elfordulási szögei



3. ábra. A csuklóponthi koordináta-rendszerek a Lab-volt 5150-nál

A Denavit-Hartenberg-féle transzformáció [10] alkalmazásával a csomópontok homogén transzformációs mátrixa felírható.

4. CÉLFÜGGVÉNY

A feladat a csomóponti változók meghatározása a robotvég az adott helyzetből és irányából. Míg a direkt

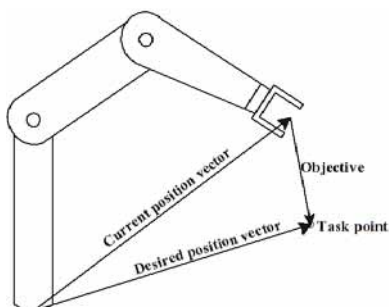
kinematika az end effektor helyzetét és orientációját detektálja az adott közös változók halmazában, addig az inverz kinematika inverz műveletet végez, de ez kissé bonyolult.

1. táblázat: A Lab-Volt 5150 manipulátor térbeli paramétereit

Csomópont ID	keret	ϕ	α	a	d	határok
1	o0x0y0z0- o1x1y1z1	0	90	0	d_1	-185, 153
2	o1x1y1z1- o2x2y2z2	0	0	a_2	0	-32, 149
3	o2x2y2z2- o3x3y3z3	0	0	a_3	0	-147, 51
4	o3x3y3z3- o4x4y4z4	0	90	0	0	-5, 180
5	o4x4y4z4- o5x5y5z5	0	0	0	d_5	-360, 360

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Míg a direkt kinematikai egyenletek egy egyenes folyamatban zajlanak, ezekre az egyenletekre támaszkodunk az inverz probléma célfüggvényének meghatározásához. Itt olyan közös változók optimális értékét keressük, amelyek a költségfüggvény minimumához vezethetnek.



4. ábra: Az inverz kinematikai feladat célfüggvényének ábrázolása

Tekintsük a 4. ábrát, hogy egy adott robotkonfiguráció esetében a robotvég aktuális helyzetvektorát a manipulátor vég-effektorának alapjától mért távolságával lehet ábrázolni, míg a kívánt pozícióvektor a feladat megoldási pontját képviseli. Nyilvánvaló, hogy ha a két vektor közötti különbség nulla, akkor a szerszámvég a megfelelő helyzetben lesz, és ez az inverz feladat f célfüggvénye.

$$f = \|C_i - D_e\| \quad (6)$$

Ahol C_i a pillanatnyi helyzetvektort jelöli, és D_e a kívánt pozícióvektor. Koordinátákkal megadva

$$f = \sqrt{(x_{C_i} - x_t)^2 + (y_{C_i} - y_t)^2 + (z_{C_i} - z_t)^2} \quad (7)$$

Ha a (7) egyenletet egyedül használták célfüggvényként, akkor a végpontot a feladat pontjában kaphatjuk meg, de sokféle irányválasztási lehetőséggel.

5 A CÉLFÜGGVÉNY ELJÁRÁSA

Ebben a szakaszban modellezzük egy robot inverz kinematikájának célfüggvényét. A 4. ábra az inverz probléma sematikus ábrázolását mutatja. Ennek a részletes leírása a következő:

1. Az optimáló algoritmus megadja a javasolt megoldást, amely a lehetséges csomóponti változók összessége. Ebből kerül meghatározásra a célfüggvény, ami a megfelelőségi (fitness) érték.

2. A célfüggvény tartalmazza a kívánatos csomóponti koordinátákat. Elküldi a lehetséges megoldást a Direkt kinematikai függvényhez, hogy megkapja a robotvég x , y és z koordinátáit.

3. A Direkt kinematikai függvény tartalmazza a robotkar összes kinematikai egyenletét, a javasolt megoldást ezekkel az egyenletekkel helyettesítve megkapjuk a teljes homogén transzformációs mátrixot egy ismételt HTM függvényhívással. A Forward függvény kimenete a teljes transzformációs mátrix helyzetvektora.

4. A célfüggvény megkapja a pozícióvektort, és a (7) egyenlet alkalmazásával megvizsgálja a javasolt vektor és a megkívánt pozíciós vektor távolságát. Az eredmény a megoldás megfelelősége, amellyel visszatér a főprogramba.

Ennek a módszernek a végrehajtása nagy jelentőséggel bír a robot automatizálásban, következésképpen megkönnyíti és növeli a termelékenységet, különösen az autóiipari felhasználásoknál. Az autóiipar széles körű alkalmazásokat kínál a robotok számára, ahol sok esetben és sok művelet során felhasználhatók [11,12].

6 A CÉLFÜGGVÉNY MEGHATÁROZÁSA

A LabVolt 5150 robotra vonatkozó problémája öt változóból áll, amelyek alsó és felső határai az 1. táblázatban láthatók. Egy adott térbeli pont esetében a cél a legjobb megfelelő csomóponti szögek megtalálása, amelyek a robotvéget arra a pontra irányítják. Az optimálási algoritmusból a jelölt megoldás (szol) átkerül a költségfüggvénybe (költség):

```
function obj = cost(sol)
t1 = sol(1);
t2 = sol(2);
t3 = sol(3);
t4 = sol(4);
t5 = sol(5);
[x,y,z] = Forward(t1,t2,t3,t4,t5);
% Cartesian point coordinate [x,y,z]
v = [495,0,255.55];
% Objective function; equation 7
obj = sqrt((x-v(1))^2+(y-v(2))^2+(z-v(3))^2);
end
```


Minden jelölt megoldáshoz ki kell számolnunk a megfelelő direkt kinematikát, hogy megtaláljuk a Denavit-Hartenberg transzformáció megfelelő pozícióvektort, amelyet a (7) egyenletben használunk a cél becsléséhez. Így az v jelölt megoldás átkerül az forward kinematikai egyenletek függvényébe (Forward). Ebben a függvényben az egyes csomópontokhoz meghatározzák a térbeli paramétereket, figyelembe véve az 1. táblázat adatait:

```
function [x,y,z] = Forward(t1,t2,t3,t4,t5)
alpha_1 = 90; %twist angle for link 1
a_1 = 0; %distance between z1 and z2
d_1 = 255.55; % distance between x1 and x2
alpha_2 = 0; %twist angle for link 2
a_2 = 190; %distance between z2 and z3
d_2 = 0; %distance between x2 and x3
alpha_3 = 0; %twist angle for link 3
a_3 = 190; %distance between z3 and z4
d_3 = 0; % distance between x3 and x4
alpha_4 = 90; %twist angle for link 4
a_4 = 0; %distance between z4 and z5
d_4 = 0; % distance between x4 and x5
alpha_5 = 0; %twist angle for link 5
a_5 = 0; %distance between z5 and z6
d_5 = 115; % distance between x5 and x6
H_1= HTM(t1,alpha_1,a_1,d_1); % HTM 1
H_2= HTM(t2,alpha_2,a_2,d_2); % HTM 2
H_3= HTM(t3,alpha_3,a_3,d_3); % HTM 3
H_4= HTM(t4,alpha_4,a_4,d_4); % HTM 4
H_5= HTM(t5,alpha_5,a_5,d_5); % HTM 5
TH = H_1*H_2*H_3*H_4*H_5; % over all HTM
x=TH(1,4);
y=TH(2,4);
z=TH(3,4);
end
```

Általános használatra külön függvényt (HTM) fejlesztettünk ki a Denavit-Hartenberg konvenció által leírt homogén transzformációs mátrix meghatározására.

```
function [T] = HTM(t,alpha,a,d)
T = [cosd(t),-sind(t)*cosd(alpha), sind(t)*
sind(alpha),a*cosd(t);sind(t),cosd(t)*
cosd(alpha),-cosd(t)*sind(alpha),a*sind(t);0,
sind(alpha),cosd(alpha),d;0,0,0,1];
end
```

A fent leírt forráskód általános, bármely robot inverz kinematikáját meg lehet oldani a megfelelő térkoordináták kicserélésével és azok függvényben történő megadásával (Forward). A csomópontok száma szerint kevesebb vagy több Denavit-mátrix szükséges H_6, \dots, H_n . A függvény (HTM) változatlanul érvényes minden típusú robot manipulátorra.

7 KÖVETKEZTETÉS

A cikk optimalizációs algoritmusokat javasolt az inverz kinematikai probléma megoldására bármilyen típusú robot esetén a célfüggvény minimálására. A javasolt optimalizáló algoritmus a dinamikus differenciális optimalizáló algoritmus (DDAO), amely egyszerű, gyors és kevés helyet foglal el a szerveren, vagy a céleszközök memóriájában. Az inverz problémára az 5

szabadságfokú forgó csuklókkal rendelkező ipari robot, a LabVolt 5150 gyakorlati példája került figyelembe vételre. A leírt módszertan meglehetősen egyszerű, és nagymértékben leegyszerűsítheti az inverz kinematika nehéz problémáját, egyszerűvé és egyértelművé teheti azt. A javasolt DDAO nem ígér tökéletes megoldást, és sok más optimalizáló algoritmust is tesztelni kell, hogy jó megoldást találjanak az inverz problémára, és ez a jövőbeni munkák célja is.

8 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 nyilvántartási számú projekt keretében valósul meg.

IRODALOM

1. M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, Robot modeling and control. 2006.
2. J. J. Craig, Introduction to robotics: mechanics and control, 3/E. Pearson Education India, 2009.
3. H. N. Ghafil and K. Jármái, Optimization for Robot Modelling with MATLAB. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40410-9> Cham: Springer, 2020.
4. C. S. G. Lee, "A Geometric Approach In Solving the Inverse Kinematics of PUMA Robots—College of Engineering. College of Engineering, The University of Michigan," Ann Arbor, 1983.
5. H. N. Ghafil and K. Jármái, "Dynamic differential annealed optimization: New metaheuristic optimization algorithm for engineering applications," Appl. Soft Comput., p. 106392, 2020.
6. Y. Jiang, T. Hu, C. Huang, and X. Wu, "An improved particle swarm optimization algorithm," Appl. Math. Comput., Vol. 193, No. 1, pp. 231–239, 2007.
7. D. Whitley, "A genetic algorithm tutorial," Stat. Comput., Vol. 4, No. 2, pp. 65–85, 1994.
8. S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey wolf optimizer," Adv. Eng. Softw., Vol. 69, pp. 46–61, 2014.
9. F. A. T. Al-Saedi and A. H. Mohammed, "Design and Implementation of Chess-Playing Robotic System," Int. J. Sci. Eng. Comput. Technol., Vol. 5, No. 5, p. 90, 2015.
10. Z. M. Bi, W. A. Gruver, W.-J. Zhang, and S. Y. T. Lang, "Automated modeling of modular robotic configurations," Rob. Auton. Syst., Vol. 54, No. 12, pp. 1015–1025, 2006.
11. K. Jármái and B. Bolló, Vehicle and Automotive Engineering 2. Springer, Proceedings of the 2nd VAE2018, Miskolc, Hungary. ISBN978-3-319-75677-6, 2018.
12. Á. Cservenák Simulation and Modeling of a DC Motor Used in a Mobile Robot, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 18: No. 4 pp. 183-190, (2020)

NAPELEMES SZENDVICS PANELEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE MŰHOLDAS ALKALMAZÁSOKHOZ

OPTIMUM DESIGN OF SOLAR SANDWICH PANELS FOR SATELLITES APPLICATIONS

Alaa Al-Fatlawi*, Dr. Jármai Károly **, Dr. Kovács György ***

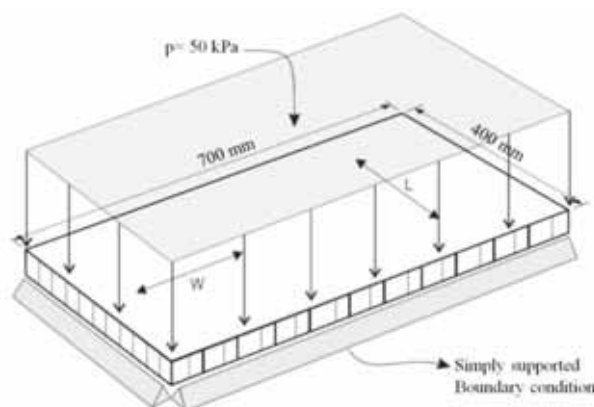
ABSTRACT

The aim of the article was to verify the optimum design of solar sandwich panels for microsatellites applications. The sandwich panel consists of aluminium honeycomb core and aluminium materials facesheets. In this study, a methodology for a combined weight and/or cost optimization for sandwich panel with aluminium facesheets and honeycomb core is presented. The fmincon Solver Constrained Nonlinear Minimization / Interior Point Algorithm was used to solve the single objective function the weight or the cost of the honeycomb sandwich panel. The Multiobjective optimization technique was applied to minimize the weight and the cost of the sandwich panel included the Weighted Normalized Method with Excel Solver program and Genetic Algorithm Solver with Pareto front in Matlab program. The weight and/or the cost of the sandwich panel are the objective functions subjected to required constraints based on total stiffness (bending and shear stiffness), total deflection (bending and shear deflection), facing skin stress (bending load), core shear stress, facing skin stress (end loading), overall panel buckling (critical bending and shear buckling load), shear crimping load, skin wrinkling (critical stress and load) and intracell buckling (facesheet dimpling). The design variables are thicknesses of core and facesheets. The use of sandwich construction results in light structure.

1. BEVEZETÉS

A szendvics szerkezeteket gyakran használják napelemes alkalmazásokban. A szendvics szerkezet két vékony kompozit lapból áll, amelyek között egy könnyű magréteg található. A szendvics szerkezetek kialakítása lehetővé teszi a külső homloklemek számára az axiális terhelések, hajlítónyomatékok és síkbeli nyírás viselését, míg a méhsejtmag a normál hajlító nyírást veszi fel. A szendvics szerkezetek hajlamosak a meghibásodásokra a normál nagy helyi feszültségkoncentrációk miatt, a mag / homloklemez összeállításának heterogén jellege miatt. Ezért az elemek beépítésénél réteges betéteket kell alkalmazni, hogy eloszlassák a csatlakozások pontszerű terhelését. A szendvicspanel lapokat általában

alumíniumötvözetből vagy kompozit anyagokból készítik. A magot általában méhsejt vagy alumínium habszerkezet felhasználásával gyártják [1,2]. A műholdas szendvicspanel szabadon felfekvő peremmel, alumínium homloklemezrel és méhsejtvázas maggal rendelkezik. A szendvicspanel egyenletes nyomásnak ($p = 50 \text{ kPa}$) teszik ki és deformációnak (2 mm) a szendvicspanel bármely pontján. Kiszámításra került az optimális fedőlap és magvastagság a legkisebb súly és költség elérése céljából. Feltételezzük, hogy a felső és az alsó lapok azonos vastagságúak. A szatellit szendvicspanel műszaki adatai az 1. táblázat szerint (lásd az **1-2. ábrát**) [3].



1. ábra Méhsejt szendvicspanel, amely mind a négy oldalon szabadon felfekvő peremfeltétellel rendelkezik, egyenletesen elosztva (50 kN/m^2) terheléssel a felső lapon.

2. ALUMÍNÍUM MÉHSEJT MAGSZERKEZET

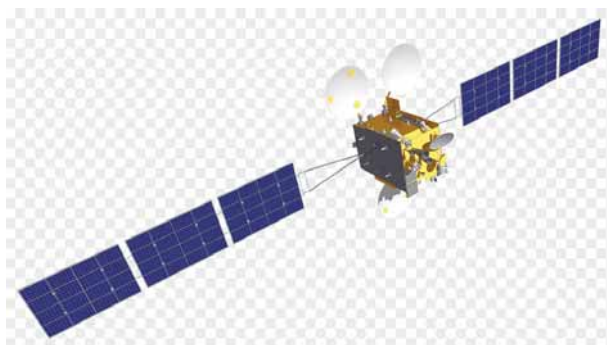
A méhsejt szendvics panelek jelentik a legkönnyebb megoldást a nyomó- vagy hajlító terhelések esetén a speciális alkalmazásoknál. A méhsejt szendvics magokat méhsejt sejtekké formált vékony csíkok felhasználásával állítják elő. A méhsejt-geometria nem izotróp, hosszirányban nagyobb merevségű. A mag közel izotróp módon viselkedik a síkbeli terhelések esetén, ha szendvics-konfigurációban állítják össze [4-7]. Az alumínium méhsejt magot számos területen

* doktorandusz, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

*** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros

alkalmazzák és különféle ágazatokban, például a tömegközlekedési iparban, a hajózási ágazatban, az építőiparban stb. [8-18]. Alapanyagként az alumínium méhsejt magot szendvicspanelekben használják, és padlókon, tetőkön, ajtók, válaszfalak, homlokzatok, munkafelületeknél, automata gépekhez és minden olyan termékhez, amely optimális merevség/tömeg arányt igényel. Az alumínium méhsejt, mint a panelek magja, számos előnnyel rendelkezik, minthogy könnyű, merev, tűzálló, valamint összenyomódási, nyíró- és korrózióállósága jelentős. Az alumínium méhsejt mag használható a lamináris áramlású szellőzés terelőjeként és a kinetikus energia ütközésselnyelőjeként. A méhsejt magjának sűrűsége a fólia vastagságától és a sejtek átmérőjétől függ. A méhsejt magjának a **2. táblázatban** bemutatott mérnöki anyagjellemzői (lásd a **3. ábrát**) ideálisak számos alkalmazáshoz, például légi konténerekhez [19], vagy műholdas szendvicspanelekhez [20].

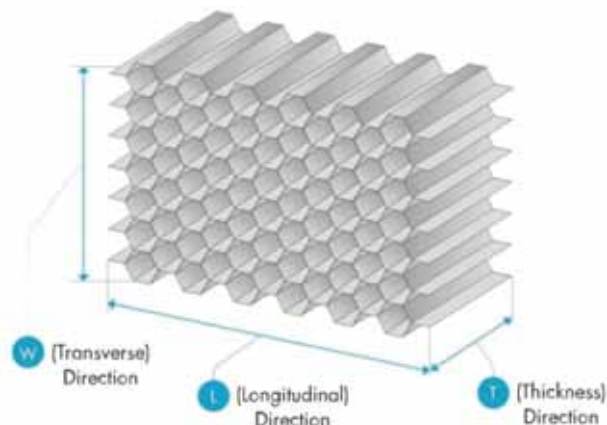


2. ábra A műholdas panelek szerkezete (ultra-nagy merevség és szilárdság egységnyi tömegre vonatkoztatva).

A felső és alsó alumínium ötvözetű héjak a leggyakrabban használt fémanyagok az űrhajók gyártásában. Előnyei a nagy szilárdság/tömeg arány, a nagy alakíthatóság és a könnyű megmunkálás, a hegeszthetőség és az elérhetőség alacsony költség mellett [20]. A műhold felső és alsó oldallapja, a napelem panel alumíniumból (ötvözet 5251 H24) állt. Az **1. táblázat** a panel tipikus homlokzati anyagainak tulajdonságait mutatja.

1. táblázat Tipikus szendvics panel héj mechanikai jellemzői [20].

Az alumínium héj ötvözet (5251 H24)	
Tipikus húzó/nyomó szilárdság [MPa]	150
Rugalmassági modulus húzás/nyomás [GPa]	70
Poisson arány	0.33
Tipikus kikeményedett rétegvastagság [mm]	0.5
Tipikus rétegtömeg [kg/m ²]	1.35



3. ábra Alumínium méhsejtvázás szerkezet.

2. táblázat Az alumínium méhsejt mechanikai jellemzői [20].

		Nyomás		Lemez nyírás			
Sűrűség	Cella méret	Stabilizált		L – irány		W – irány	
		Szilárdság	Modulus	Szilárdság	Modulus	Szilárdság	Modulus
kg/m ³	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
83	6	4.6	1000	2.4	440	1.5	220

3. EGYCÉLFÜGGVÉNYES OPTIMÁLÁS AZ EXCEL SOLVER PROGRAM ÉS A MATLAB PROGRAM HASZNÁLATÁVAL

Az Excel Solver és a Matlab program (fmincon Solver/Interior Point Algorithm) használatával minimalizálták a szendvicspanel teljes tömegét, amely magában foglalja a felső és az alsó alumínium lapok súlyát, valamint a méhsejt magot, elhanyagolva a kötőanyag súlyát.

$$W_t = 2 \rho_f l b t_f + \rho_c l b t_c \quad (1)$$

ahol W_t a szendvicspanel teljes tömege, ρ_f az homlok sűrűsége, l a hossza, b a szendvicspanel szélessége, t_f az homlok lap vastagsága, ρ_c a méhsejt magjának sűrűsége és t_c a méhsejtmag vastagsága.

A szendvicspanel teljes költségét, amely magában foglalja a felső és az alsó alumínium homlok lapok anyagának költségeit, valamint az alumínium méhsejt mag költségét, minimálisra csökkent a Matlab program és az Excel Solver program használatával.

$$C_t = 2 \rho_f l b t_f C_f + \rho_c l b t_c C_c \quad (2)$$

ahol C_t a szendvicspanel teljes költsége euróban, C_f a laplap anyagának költsége egységnyi tömegre (4,61 €/kg) [20]. C_c a méhsejt mag anyagának

térfogategységre vetített költsége (18 mm magmagasság esetén 20 €/m^3) (€/m^3).

A tervezési változók

A méhsejtváz magassága és a héjlemez vastagsága.

$$10 \text{ mm} \leq t_{c,opt} \leq 100 \text{ mm} \quad (3)$$

$$0.1 \text{ mm} \leq t_{f,opt} \leq 5 \text{ mm} \quad (4)$$

A méretezési feltételek

A teljes merevség

Az alumínium szendvicspanelek teljes merevségének korlátozása magában foglalja a hajlítási és nyírómerevségeket.

$$D_{f,x} \geq D_{min} \quad (5)$$

$$D_{f,x} = (E_f t_f h^2 b) / (2(1-\nu_f^2)) \quad (6)$$

$$D_{min} = (EI)_{min} = K_b P_{max} l^3 / \delta_{max} \quad (7)$$

ahol, $K_b = 5/384$, $S = b h G_c$, $G_c = G_w$ és $h = t_c + t_f$.

A szendvicspanel számított merevségének $D_{f,x}$ a globális koordináta rendszerben nagyobbak kell lennie, mint a szendvicsszerkezet minimális merevsége D_{min} ami δ_{max} és P_{max} adatok felhasználásával került kiszámításra. Ahol S a nyírómerevség, K_b a hajlítási alakváltozási együttható, E_f a héj rugalmassági modulusa, ν_f a Poisson arány és h a héj középpontok távolsága [19].

A teljes lehajlás

Az alumínium szendvicspanel teljes lehajlásának korlátozása magában foglalja a hajlítási és a nyírási alakváltozást:

$$\delta = (K_b P l^3 / D_{f,x}) + (K_s P l / S) \leq \delta_{max} \quad (8)$$

ahol $K_b = 5/384$ és $K_s = 1/8$.

A számított összehajlásnak, δ kisebbnek kell lennie, mint a méhsejtváz szendvicspanel δ_{max} (2 mm) értéke, ahol K_s a nyírási lehajlási együttható. A panel szabadon felfekvő mind a négy oldalán.

A héj feszültség

A méhsejtváz szendvicspanel héj feszültségének korlátozása a következő:

$$\sigma_f = M / h t_f b \leq \sigma_{f,y} \quad (9)$$

A számított héj feszültségnek kisebbnek kell lennie, mint a folyáshatár $\sigma_{f,y}$ (150 MPa). Ahol $M = P l^2 / 8$ a maximális hajlítónyomaték [20].

A mag nyírófeszültség számítása

A méhsejt szendvicspanel nyírófeszültségének korlátozása a következő:

$$\tau_c = F / h b \leq \tau_{c,y} \quad (10)$$

ahol $F = P / 2$ a legnagyobb nyíróerő.

A mag számított nyírófeszültségének kisebbnek kell lennie, mint a mag anyagának a nyírófeszültség határa $\tau_{c,y}$ (1,5 MPa) keresztirányban (W).

A héj feszültség számítása

A méhsejt szendvicspanel héj feszültségére vonatkozó feltétel:

$$\sigma_f = P / (2 t_f b) \leq \sigma_{f,y} \quad (11)$$

A számított héj feszültségnek kisebbnek kell lennie, mint a fedőlap folyáshatára $\sigma_{f,y}$ (150 MPa).

A panel kihajlás számítása

A méhsejt szendvicspanel kihajlásának korlátozása:

$$P_{b,cr} = \pi^2 D_{f,x} / (\beta l^2 + \pi^2 D_{f,x} / S) \geq P \quad (12)$$

ahol $\beta = 1$ és $P_{b,cr}$ a kritikus erő terhelés. Az a számított terhelés, amelyenél a kihajlás bekövetkezne P (14 kN).

A nyírási fodrosodás számítása

A méhsejtváz szendvicspanel nyíró terhelésének korlátozása a következő:

$$P_{cr} = t_c G_c b \geq P \quad (13)$$

ahol P_{cr} a kritikus nyírási fodrosodási terhelés, G_c a méhsejt mag nyírási rugalmassági modulusa és E_c a mag rugalmassági modulusa nyomás esetén.

A kiszámított terhelés, amelyenél a nyírási fodrosodás bekövetkezne nagyobb, mint a maximális terhelés P (14 kN).

A héj ráncosodás számítása

A méhsejtváz szendvicspanel héjlemez ráncosodásának korlátozása a következő:

$$\sigma_{f,cr} = 0,5 (E_f E_c G_c)^{1/3} \geq \sigma_{f,y} \quad (14)$$

$$P_{cr,min} = t_f (2t_f E_f E_c / 3t_c (1 - 2)) \geq P / b \quad (15)$$

Az a feszültség szint, amelyenél a fedőréteg ráncosodása jelentkezne, jóval meghaladja a fedőrétegre jellemző (150 MPa) folyáshatárt, amint azt az **1. táblázat** mutatja. A számított terhelés, amelyenél a fedőréteg ráncosodna $P_{cr,min}$ nagyobb, mint az alkalmazott szélességre vonatkoztatott maximális terhelés (P/b) (35 kN/m).

4. AZ EGYCÉLFÜGGVÉNYES OPTIMÁLÁS EREDMÉNYEI

Az Excel Solver program eredményei alapján műholdas alkalmazáshoz a méhsejt szendvicspanel minimális súlya és költsége optimális fedőlemezzel és magvastagságokkal a **3. és 4. táblázatban** látható.

3. táblázat. Minimálja a súly célfüggvényt, és figyelmen kívül hagyja a költség célfüggvényt az Excel Solver és a Matlab [21] program segítségével a méhsejt szendvicspaneljén.

	W_{min}	$t_{f,opt}$	$t_{c,opt}$
	[kg]	[mm]	[mm]
Excel	2.2934	0.487	66.972
Matlab	2,2397	0,505	63,518

4. táblázat. Minimálja a költség célfüggvényt, és figyelmen kívül hagyja a súly célfüggvényt az Excel Solver és a Matlab program segítségével a méhsejt szendvicspaneljén.

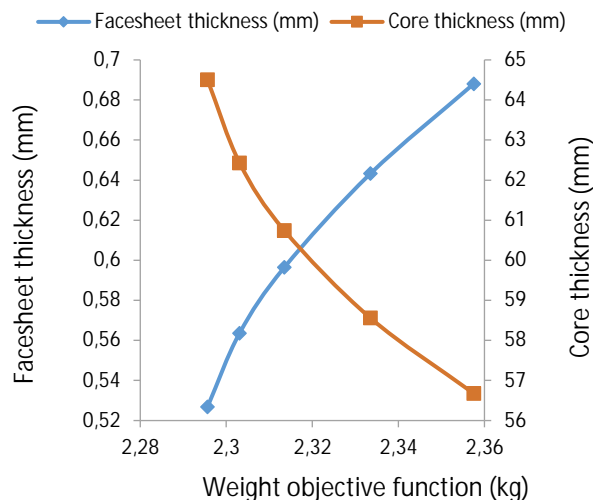
	C_{min}	$t_{f,opt}$	$t_{c,opt}$
	[€]	[mm]	[mm]
Excel	21.65734	1.025124	46.64538
Mathlab	21.6573	1.0251	46.6453

5. táblázat: A súly- és a költség célfüggvény minimálásának eredményei különböző súlyozásokkal.

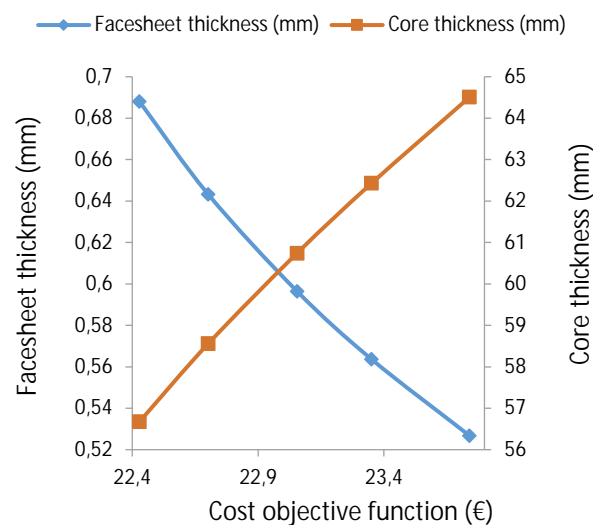
Ty	Alumínium ötvözet (5251 H24)		W_{min}	C_{min}	$t_{f,opt}$	$t_{c,opt}$
No	W_1 (%)	W_2 (%)	[kg]	[€]	[mm]	[mm]
1	50	50	2.357	22.42	0.68	56.67
			5184	8431	8089	5031
2	60	40	2.333	22.70	0.64	58.55
			5075	1801	3268	7914
3	70	30	2.313	23.05	0.59	60.74
			4871	5143	6447	2672
4	80	20	2.303	23.35	0.56	62.43
			0815	1422	3624	0378
5	90	10	2.295	23.74	0.52	64.50
			6145	0916	6742	8660

5. A TÖBBCÉLFÜGGVÉNYES OPTIMÁLÁS EREDMÉNYEI

A többcélfüggvényes optimálás a súlyra és a költségre együtt történt az Excel Solver program (Súlyozott normalizált módszer) segítségével, amint az **5. táblázat** mutatja, ahol W_1 az 1. célfüggvény súlyozott értéke (súly célfüggvény) és W_2 a 2. célfüggvény súlyozott értéke (költségfüggvény).



4. ábra A súly célfüggvény minimális értékei az optimális fedőlemez- és magvastagsággal esetén, ahol a szendvicspanel alumínium méhsejtmagból és alumínium fedőlemezekből áll.



5. ábra A költség célfüggvény minimális értékei az optimális fedőlemez- és magvastagsága esetén, ahol szendvicspanel alumínium méhsejtmagból és alumínium fedőlemezekből áll.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk célja egy könnyű szendvicspanel megtervezése volt, amely felhasználható a műholdas alkalmazásoknál. A szendvicspanel alumínium méhsejtmagból áll, felső és alsó alumínium fedőlemezekkel. Az optimálást a szendvicspanel

számára dolgoztuk ki az Excel Solver program segítségével. A célfüggvények a műhold paneljének összsúlya és/vagy költsége voltak. A tervezési feltételeket a következőkben vettük figyelembe: teljes merevség (hajlítási és nyírómerevség), teljes elhajlás (hajlításból és nyírásból), a héj feszültség (hajlító terhelés), a mag nyírófeszültsége, a héj feszültség (maximális terhelés), a panel teljes deformációja (kritikus hajlítás és nyírási alakváltozás), nyíró fodorosodást okozó terhelés, héjlemez ráncosodása (kritikus feszültség és terhelés) és méhsejten belüli kihajlás, valamint a tervezési változók méretkorlátozása. A szendvicspanel optimális értékeit két különböző program (Excel Solver program és Matlab program) segítségével mutattuk be.

Az Excel Solver program használatával megvalósuló egycélű függvényes optimális alumínium-méhsejtváz szendvicspanel, amely biztosítja a minimális súlyt (2,2934 kg), az optimális vastagságú alumínium fedőlappal és méhsejtmaggal a következő értékű (0,4874 mm, 66,9722 mm). Az optimális alumínium szendvicspanel, amely biztosítja a minimális költséget (21.6573 €), az optimális vastagságú alumínium lap és a méhsejt mag a következő értékű (1.0251 mm, 46.6453 mm).

Az egycélű függvényes Matlab Program (fmincon Solver Constrained Nonlinear Minimization Interior Point Algorithm) alkalmazásával az optimális alumínium-méhsejtváz szendvicspanel, amely biztosítja a minimális súlyt (2,2397 kg), az alumínium fedőlemez és a méhsejt mag optimális vastagságával (0,505) mm, 63,518 mm), valamint az optimális alumínium szendvicspanel, amely biztosítja a minimális költséget (21,6589 €), az optimális vastagságú alumínium lap és a méhsejt mag (1,02568 mm, 46,6377 mm). A két optimális módszerrel kapott eredmény jó egyezést mutat.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 nyilvántartási számú projekt keretében valósult meg.

IRODALOM

- Gasser, F., Nader, A., Ahmed, H.: Finite element analysis for satellite structures. Springer, London (2013).
- Bitzer, T.: Honeycomb technology: materials, design, manufacturing, applications and testing. Chapman and Hall, London (1997).
- Zenkert, D.: An introduction to sandwich construction. Student edition. Chamelton Press, Oxford, London (1995).
- Zenkert, D.: The handbook of sandwich construction. Engineering Materials Advisory Services Ltd. (EMAS), Emass Publishing, London (1997).
- Kollár, L., Springer, G.: Mechanics of composite structures. Cambridge University Press, London (2003).
- Jun, W., Dai, G.: Development of the hybrid insert for composite sandwich satellite structures. Composites: Part A, 42(8), 1040–1048 (2011).
- Craig, L.: Design, analysis, fabrication, and testing of a nanosatellite structure. Faculty of the Virginia

Polytechnic Institute and State University, Virginia (2002).

- Daisuke, S., Noboru, Y., Koji, T.: Thermal design of photovoltaic / microwave conversion hybrid panel for space solar power system. IEEE Journal of Photovoltaics, 7(1), 374 – 382 (2017).
- Byoung, J. K., Dai, G. L.: Development of a satellite structure with the sandwich T-joint. Composite Structures 92(2), 460–468 (2010).
- Boudjemai, A., Bouanane, M.H., Merad, L., Si Mohammed A.M.: Small satellite structural optimisation using genetic algorithm approach. In 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies, Institute of Electrical and Electronics (IEEE), Istanbul, Turkey (2007).
- Cho, H.K., & Rhee, J.: Vibration in a satellite structure with a laminate composite hybrid sandwich panel. Composite Structures 93(10), 2566–2574 (2011).
- Virág, Z., Szirbik, S.: Finite element modal analysis of a hybrid stiffened plate. Annals of the University of Petroșani, Mechanical Engineering, 21, 115-120 (2019).
- Alaa, A., Jármay, K., Kovács, Gy.: Optimum design of honeycomb sandwich plates used for manufacturing of air cargo containers. Editura Politehnica, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 18(2), 116-123 (2020).
- Teng, L., Zheng, X., Jin, H.: Performance optimization and verification of a new type of solar panel for microsatellites. International Journal of Aerospace Engineering, (2), 1–14 (2019).
- Alaa, A., Jármay, K., Kovács, Gy.: Theoretical and numerical comparison study of aluminum foam sandwich structure. Pollack Periodica, An International Journal for Engineering and Information Sciences, 15(2), 1-15 (2020).
- Virág, Z.: Determination of optimum diameter of a welded stiffened cylindrical shell. Pollack Periodica, 4(1), 41-52 (2009).
- Rion, J., Månson, J., Leterrier, Y.: Ultra-light photovoltaic composite sandwich structures. Lausanne, EPFL, France (2008).
- Timár, I; Borbély, T; Horváth, P.: Szendvicselemez optimalizálása, In: XXIV. Nemzetközi Gépész Találkozó, Déva, Románia (2016) pp. 425-430. , 6 p.
- Bode, W.: Evaluation of a Lightweight Composite Bottom Panel for Air Cargo Containers. Master Thesis, Faculty of Aerospace Engineering, Department of Aerospace Structures & Materials, Netherlands (2016).
- Hexcel
Homepage, https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf, last accessed 2020/03/10.
- Achille, M.: Optimization in practice with Matlab for engineering students and professionals. Cambridge University Press, United States of America (2015).

A BACK PROPAGATION MÓDSZER ALKALMAZÁSA A GTN PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSÁBAN

THE APPLICATION OF BACK PROPAGATION APPROACH IN THE DETERMINATION OF GTN PARAMETERS

CHAHBOUB Yassine*, Dr. SZAVAI Szabolcs**

ABSTRACT

The Gurson–Tvergaard–Needleman (GTN) model, is a powerful approach that we use to anticipate the failure of pipelines based on lab samples, To find GTN parameters straightforwardly we need to consume much time. The immediate strategy to find the GTN parameters and anticipate the damage of the materials is finding the right mix between the experimental and Finite Element results.

In this paper, we had the option to discover the GTN parameters for the single edge notched tension (SENT) specimen dependent on the Notch specimen test in a brief timeframe by utilizing the backpropagation approach. The outcomes that we got from this work demonstrate that we can utilize the backpropagation concept as another alternative to determine the GTN parameters and predict the failure of materials.

1. INTRODUCTION

Guaranteeing that the Nuclear plants work perfectly, means that we need to guarantee that all the parts are well maintained and in decent condition; moreover one of these parts is the pipeline, the spillage issue in the pipelines is one of the primary basic issues that is may influence the function of the Nuclear Power Plant, and the ferritic steel is the fundamental kind of material from which the pipelines are built.

The GTN model is an incredible micromechanical model that is utilized in the industry, to foresee the commencement and engendering of the crack, the GTN model is implemented in FEM programming tools as MSC Marc Mentat.

The direct process to find the GTN parameters is the mix between the test and Finite Element Modeling results, but its time consuming [1], so to determine the GTN parameters in a brief timeframe and with great exactness, we will utilize the combination of the backpropagation, Finite Element Modeling and experiment results.

1.1. GTN model

The GTN model was chosen in this research for its simplicity and recognition in the industry field many studies [2]; [3]; [4]; prove that the model is successfully used to describe the ductile deformation behavior of the material with accurate results.

- The GTN model is implemented in MSC MARC Mentat Finite element modeling software and provides the possibility to determine GTN parameters without taking into account the void nucleation parameters. However, no literature was found on the issue related to the time consumed to implement the GTN model and to predict the failure of materials.
- GTN model and its extension have been applied for various industry fields such as Nuclear, Aerospace.
- The implementation of the GTN model requires the determination of different material parameters, and simulation procedures are required.
- The successful implementation of the GTN model during the design phase would be beneficial to the nuclear industry to get more specific and accurate data about material behavior during its service life, and the conditions that might lead to the material failure, which for instance help to boost the final product quality and ensure long time service operation without failure.

The mathematical form of the GTN model can be presented as below :

$$\phi = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_M^2} + 2q_1 f^* \cosh \left[\frac{tr\sigma}{2\sigma_M} \right] - (1 + q_1^2 f^{*2})$$

In which ϕ is the Gurson plastic potential, q_1 is the material constant, $tr\sigma$ is the sum of principal stresses, σ_M is the equivalent flow stress, σ_e is the effective stress. Furthermore, f^* is the ratio of voids effective volume, more details about the model can be found in [2].

To use the GTN model, we have to determine six parameters.

f_0 =Initial void volume fraction

f_n =the new voids nucleation

f_c =the voids volume ratio at the beginning of nucleation

f_f =is the voids volume ratio when a fracture occurs

S_N =the voids nucleation mean quantity

ϵ_n =strain at the time of voids nucleation

* PhD Student University of Miskolc

** Assistant Professor, University of Miskolc

The determination of those parameters it's not an easy task, and it takes a long duration to find the correct set of parameters that could predict the failure of pipes. Few researchers could give initial values of GTN parameters [5]; [6]; [7]; [8]; as listed in Table 1 [1].

Table 1 Gurson parameters according to literature

Reference	E_N	S_N	f_0	f_c	f_n	f_f
Bauvine au et al. (1996)	-	-	0.002	0.004	-	-
Decamp et al. (1997)	-	-	0.002 3	0.004	-	0.22 5
Schmitt et al. (1997)	0.3	0.1	0	0.06	0.002	0.21 2
Skallerud and Zhang. (1997)	0.3	0.1	0.000 3	0.026	0.006	0.15
Bensedd iq and Imad. (2008)	0.3	0.1	0	0.004 -0.06	0.002 -0.02	~0.2

2. METHODS AND RESULTS

The prediction of failure of SENT specimen is done by following the steps below:

- Perform the small scale tests (SENT, NT) To provide the Experimental data.
- Make the Finite Element Simulations to make the database use the backpropagation approach.
- Determination of the GTN parameters by using backpropagation.

2.1. NT sample simulation

To find the GTN parameters for the SENT sample (figure 1), we decided to use the notch tensile test (figure 2) results as a database to train our Neural network.



Figure 1 QUARTER OF THE SENT specimen

By applying the symmetry we make a 2D FEM model just for the quarter of the NT specimen (figure 2).

The mesh size has to be very fine near to the crack tip, and its the most sensitive place in the sample, unlike the upper part of the specimen, which saves a little more computing time the mesh size in the front of the pre-crack tip is $0.125 \text{ mm} \times 0.0625 \text{ mm}$ and the mesh is composed of quadratic axisymmetric elements with 8 nodes.

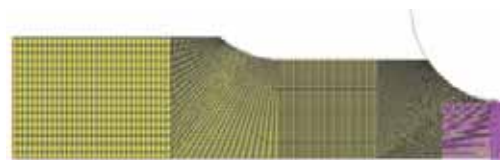


Figure 2 NT specimen

2.1.1 ANN AND DATABASE CREATION

To provide the database necessary to apply the artificial neural network (ANN) approach, eighty simulations were needed for an NT specimen with a different set of GTN parameters.

Backpropagation is among the most popular and forms of artificial neural networks and can deal with non-linear models with high accuracy.

the backpropagation procedure consists of finding the parameters which minimize the difference between a predicted response by the finite element method and the experimental one. The main drawback of this approach is its prohibitive time consuming especially when more than one test is used. [1]

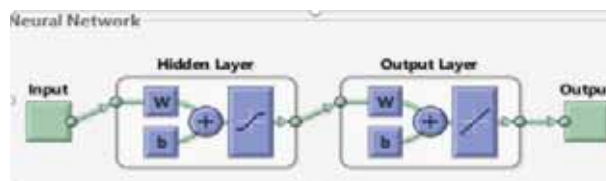


Figure 3 Neural Network architecture

The backpropagation algorithm has been one of the most widely used machine learning algorithms. The gradient of the loss function is calculated by backpropagation concerning the weights of the network. The backpropagation computes gradient by applying chain rule computing gradient one layer at a time starting from the last layer and propagate towards input which is the opposite to the forward feed propagation approach. [9]

The neural network is usually composed of three layers, namely, the input layer, hidden layer, and output layer. For the hidden layer, each neuron receives total outputs from all of the neurons in the input layer.

For the NT test, the trained model consists of one hundred neurons in the input layer (figure 3), eighty neurons in the hidden layer, and six neurons in the output layer (100-80-6).

The neurons of the input layer represent the values of the reaction force F of the NT specimen after simulations, and the neurons of the output layer are the eighty sets of the GTN parameters.

After training the Neural Network as described above, we could determine the six parameters for SENT specimen by using the ANN already trained, but in this time the

input data would be the experimental results of the SENT specimen and the output data are the predicted GTN parameters, the process didn't take a lot of time, it around 3 to 5 minutes then the ANN predicts the GTN parameters.

The GTN parameters determined by using the ANN are $f_0=0.0001$, $f_c=0.0042$, $f_r=0.21$, $S_n=0.034$, $\varepsilon_n=0.34$, $f_n=0.085$.

The GTN parameters found in this study are related to our SENT specimen and it cannot be compared to the Literature (Table 1) as the conditions of the experiments are different and also the type of materials.

2.2 Prediction of Crack propagation for SENT SPECIMEN

To check the validity of the GTN parameters that we found from training the database provided from NT simulations, We are going to predict the failure of the SENT specimen (figure 1).

As we did for the NT simulation, we are going to use the axisymmetry, and make the 3D model just for the quarter of the specimen, the FEM model contains a total of 75,461 nodes and 68,160 elements. The mesh size in front of the pre-crack tip is the same as the NT specimen to avoid the mesh sensitivity effects.

After making just one simulation with the GTN parameters that we got from using the backpropagation approach, the results (figure 4) show that the simulation results of the SENT specimen fits the experimental curve and they are in good agreement, which proves that the GTN model was a great tool to predict failure of SENT specimen, during our simulation, the maximum reaction force found was 45 kN, which almost the same value found during the experiment.

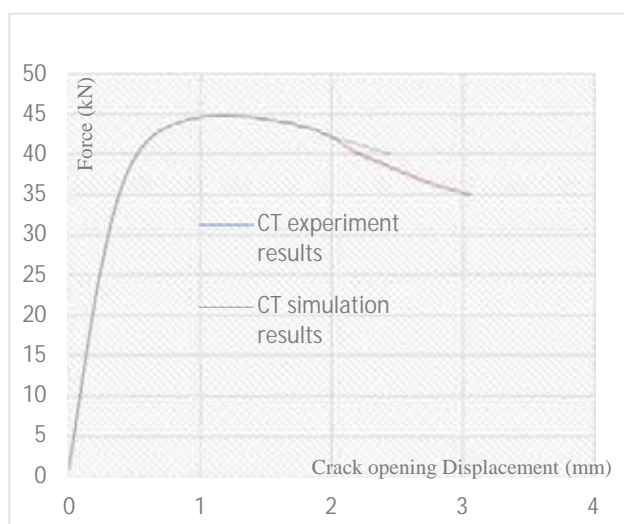


Figure 4 backpropagation and experiment results in fitting curves

3. CONCLUSION

The determination of the correct set of GTN parameters cannot be done in a short time, especially if we want to predict the failure of materials such as pipelines, for this reason, the usage of an approach such as backpropagation, will be an alternative to find an accurate set of GTN parameters.

To close, the backpropagation approach will help us to find a solution to some problems such as transferability, which means we can save a lot of money with the direct prediction of failure of huge material from small lab specimen in a short time.

4. REFERENCES

- [1] Y., Chahboub; Szávai, Szabolcs; H., Aguir *Determination of GTN parameters using artificial neural network for ductile failure* In Szita Tóthné, Klára; Jármay, Károly; Voith, Katalin (eds.) *Solutions for Sustainable Development: Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Solutions for Sustainable Development, (ICSSD 2019)* London, the United Kingdom / England: CRC Press, (2019) pp. 25-32. , 8 p.)
- [2] S. Acharyya, S. Dhar 2008 *A complete GTN model for prediction of ductile failure of pipe* *Journal of Materials Science* 43(6):1897-1909
- [3] Sharlotte L. B. Kramer, et al 2019 *The third Sandia Fracture Challenge: predictions of ductile fracture in additively manufactured metal* *International Journal of Fracture*
- [4] Y.chahboub, S.Szabolcs, 2019 *Determination of GTN parameters for SENT specimen during ductile fracture* *Procedia Structural Integrity* Volume 16, 2019, Pages 81-88
- [5] Bauvineau, L., Burlet, H., Eripret, C., & Pineau, A.L., 1996. *Modeling ductile stable crack growth in a C-Mn steel with local approaches*. *Journal de Physique IV – Proceedings 06 (C6)*, C6-33–C6-42.
- [6] Benseddiq, N., Imad, A., 2008. *A ductile fracture analysis using a local damage model*. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 85 (4), 219–227.
- [7] Decamp, K., Bauvineau, L., Besson, J., Pineau, A., 1997. *Size and geometry effects on ductile rupture of notched bars in a C-Mn steel: experiments and modeling*. *International Journal of Fracture* 88 (1), 1–18
- [8] Skallerud, B., Zhang, Z.L., 1997. *A 3D numerical study of ductile tearing and fatigue crack growth under nominal cyclic plasticity*. *International Journal of Solids and Structures* 34 (24), 3141–3161.
- [9] R. Allavikutty, S. Chukka, R.Jayaganthan 2020 *Prediction of Fatigue Crack Growth Behaviour in Ultrafine Grained Al 2014 Alloy Using Machine Learning* *Open Access Metallurgy Journal*

A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS SORÁN ALKALMAZOTT KAVITÁCIÓS ELJÁRÁSOK ÁTTEKINTÉSE

CAVITATION PROCEDURES IN WASTEWATER TREATMENT: A REVIEW ARTICLE

Bolló Betti*

ABSTRACT

In the past decade, many researchers have tried different methods for the degradation of organic pollutants, among which a new technology called cavitation has drawn significant attention. In this study different cavitation tools are presented. Finally, on the designed Venturi tube, two-dimensional numerical simulations were investigated by the means of CFD computations.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az egyre növekvő szennyvíziszap kezelése és hasznosítása alapvető környezeti probléma. A szennyvíziszap elhelyezése komoly gondot és költséget okoz, de az új és hatékony eljárásoknak köszönhetően akár még bevételi forrást is jelenthet, de ehhez megbízható, igazolt és engedélyezett, biztonságos szennyvíziszap kezelési technológiára van szükség. A szennyvíziszapot nem ártalmatlanítandó hulladéknak, hanem a talajtrágyázás másodlagos alapanyagának vagy megújuló energiaforrásnak kell tekinteni. A Miskolci Egyetemen folyó kutatás fő gondolata ebből indul ki [1].

A szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználásánál nagy figyelmet kell fordítani az előforduló toxikus- és környezetterhelő komponensekre, melyek károsíthatják a talajt, valamint veszélyt jelenthetnek az emberi és állati egészségre, ha bekerül a táplálékláncba, illetve szennyezheti a talaj- és felszíni vizeket is. Mezőgazdasági területre csak aerob-, anaerob-, kémiai kezeléssel stabilizált vagy 3-6 hónapig tárolt iszap helyezhető ki. Számos új kémiai és biológiai módszer dolgoztak ki a kutatók. Az egyik ilyen új, ígéretes fertőtlenítési technológia a kavitáció alkalmazása, amelynek nagy előnye, hogy nem vezet új vegyszereket a szennyvízbe.

A kavitáció során a folyadék nyomása lecsökken a telített vízgőz nyomására, és a folyadékban gőzfázis jelenik meg, ezt nevezzük kavitációs buborékoknak. A kavitációs buborék összeomlásakor energia szabadul fel. A buborék összeomlásakor nagyon magas, több ezer kelvin hőmérséklet lép fel (elméletileg), de ezek nagyon rövid ideig tartanak (~1 μs), és ez idő alatt a

hőmérséklet a környező folyadék hőmérsékletére esik vissza [2].

A kavitációs buborékok összeroppanásakor keletkező lökéshullám nagy nyíróerőket hoz létre a folyadékban, ezzel mechanikailag roncsolva a mikroorganizmusok sejtfalait. A sejtfalak szétszakadása növeli a biológiai lebonthatóságot, és növeli az anaerob emésztést, ami magasabb biogáz-termelést eredményez, valamint kevesebb lesz a retenciós idő, és csökken a szennyvíziszap mennyisége.

A kavitáción alapuló eljárások rendkívül előnye az, hogy nem igényel semmilyen fajta vegyszert és nem termel toxikus anyagokat sem. Az eljárás bármilyen szennyvíziszapra, illetve hígtrágyára alkalmazható, hasznosítható lehet sokféle szerves hulladék kezelésére. Ezenkívül gyorsabb a rothasztás, gyorsabb a szervesanyag-lebomlás.

A kavitációs buborékok összeomlásának azonban vannak káros következményei is. A gázbuborékok összeroppanásakor igen erős zaj keletkezik, valamint kellemetlen rezgést is létrehozhatnak a berendezésben; ezen kívül a környező szilárd testek erózióját okozzák.

Jelen tanulmányban a kavitációt előállító eszközök bemutatásával foglalkozom. Ezután egy általam kiválasztott hidrodinamikai kavitációt előállító eszközön, egy Venturi csövön kétdimenziós numerikus szimuláció eredményeit közlöm.

2. KAVITÁCIÓS ELJÁRÁSOK

A szennyvízkezelés során kétféle kavitációs eljárást különböztetünk meg: az akusztikus (ultrahangos) és a hidrodinamikai kavitációt.

A kavitáció folyamatát leíró alapvető paraméter egy dimenzió nélküli, ún. kavitációs szám:

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\rho \cdot v^2}, \quad (1)$$

ahol ρ a folyadék sűrűsége, p_0 a jellemző nyomás, p_v a telített gőz nyomása (az adott folyadék hőmérsékletén), és a v a folyadék jellemző sebessége. A kavitációs szám csökkenésével nő a kavitáció előfordulásának lehetősége.

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépezeti Intézet

2.1. Akusztikus kavitáció

Az ultrahangos kezelés során az iszapot nagy intenzitású ultrahanggal sugározzák be, ami a közegekben háromdimenziós, longitudinális hullámok formájában terjed. A szennyvízközeg bármely pontjában az azon áthaladó hullámfrontok nyomásnövekedést, a hullám-völgyek pedig nyomáscsökkenést hoznak létre. A nyomásingadozás mértéke a hanghullámok intenzitásától függ, amely a nem összenyomható közegekben olyan nagy is lehet, hogy a nyomáscsökkenés pontjaiban a folyadék folytonosságát megszakítva mikroszkopikus üregeket, buborékokat hoz létre. A gyorsan keletkezett üregek a hanghullámok áthaladásával pulzálnak, majd robbanásszerűen összeomlanak. Ezek a mikrorobbanások igen hatékonyan roncsolják a sejtfalakat. [3-5] Az ipari szennyvizek kezelésére többnyire akusztikus kavitációt alkalmaznak. Az ultrahangos kavitációs eszközökkel kapcsolatos probléma az, hogy a kavitációs hatások csak a vibráló felület közelében fordulnak elő, ami csökkenti az egész iszap kezelésének lehetőségét

2.2. Hidrodinamikai kavitáció

A legszélesebb körben használt hidrodinamikai kavitációs eszközök a többszörös furatlemezek [6] és az egyszerű Venturi-kialakítások [7, 8]. A hidrodinamikai kavitációt létrehozó berendezések, amelyek lényegében szivattyúból, tartályból, Venturi csőből/furatlemezéből és csövekből állnak, olcsóbbak, mint egy adott méretarányú ultrahangos berendezés, különösen ipari méretekben.

Az áramló folyadék, amikor átmegy a furaton vagy a Venturi-cső szűkületén, a sebesség megnő és Bernoulli egyenletnek megfelelően a helyi nyomás lecsökken. Ha a fojtás elegendően nagy, akkor a helyi abszolút nyomás lecsökken a telített gőznyomásra és mikrobuborékok jelennek meg a folyadékban. A Venturi cső diffúzor részén illetve a furat utáni térrészben a sebesség el kezd csökkenni, a nyomás pedig nőni. A nyomás növekedésével az üregek összeomlanak, amik hatékonyan roncsolják a sejtfalakat.

Rudolf et al. [6] az egy- és többfuratú lemezek létrejövő hidrodinamikai kavitációt vizsgálták, amely során különböző hidraulikai jellemzők méréséből meghatározták a kezdeti kavitációs számot és a veszteségi tényezőt. Megállapították, hogy lényegesen hatékonyabb a több furatos lemezek használata, ahol az energia disszipáció sokkal alacsonyabb.

Számos kutató tanulmányozta a kavitáció kialakulását és terjedését különböző Venturi-konstrukciókon nagy sebességű kamerával [8, 9], PIV (Particle Image Velocimetry) technikával [10] és numerikus modellezéssel [7, 8]. Simpson és Ranade [7] két geometriai paramétert, a Venturi torok hosszának és a

diffúzor szögének a kavitáció kezdetére és mértékére gyakorolt hatását vizsgálta. Egy optimális konfigurációt javasoltak, amelynél kicsi a diffúzor szög ($\beta \approx 7,5^\circ$), valamint a torok hosszának és torok átmérőjének aránya 1 körüli érték. Li et al. [8] numerikus számítások során számos geometriai paramétert megvizsgáltak, hogy megtalálják a minél hatékonyabb kavitációt előállító eszközt. A számításait kísérletekkel támasztották alá. Azt találták, hogy két fő geometriai paraméter befolyásolja a kavitációs buborékok mennyiségét:

- a kimeneti szög (diffúzor rész szöge), ami erősen befolyásolja a nyomásprofil;
- az átmérő aránya (d/D : torokátmérő/Venturi cső átmérő), ami az energiafogyasztást befolyásolja.

A Venturi-cső geometriája erőteljesen befolyásolja a helyi nyomást és a kavitációt, ezáltal szabályozva a buborék méretét és az energiahatékonyságot.

A furatlemezes kialakítását csak intenzív kémiai reakciók esetén alkalmazzák, míg enyhébb folyamatokhoz (amely általában 15 és 20 bar közötti nyomást igényelnek) a Venturi-konfiguráció a megfelelőbb és energiatakarékosabb módszer [11].

2.2.1 Forgó berendezések

Forgó eszközök esetén a folyadékot megforgatják a berendezés tengelye körül egy kamrában, a helyi nyomás a központi terület közelében lecsökken; ha a folyadék telített gőznyomás értékére esik, akkor úgynevezett örvénykavitáció alakul ki. Ezt követően, ahogy a folyadék a kamra alsó felülete felé halad, ahol a nyomás gyorsan emelkedik, a kavitációs buborékok összeomlanak. Wang et al. [2] egy forgó kavitációs reaktor alkalmazásával rhodamin B vizes oldatán hajtották végre kísérleteiket. Azt tapasztalták, hogy a működési feltételek, mint például a nyomás, a hőmérséklet, a szennyezőanyag kezdeti koncentrációja jelentősen befolyásolta a lebomlási sebességet.

Petkovšek et al. [12] egy ún. kavitációs generátort vizsgáltak, ami nyíró kavitációt hoz létre. A generátor két egymással szemben lévő rotorból áll, amelyeken speciális sugárirányú hornyok forognak az ellenkező irányba. Az eszköz kiemelkedő jellemzője, hogy nem csak kavitációs generátorként működik, hanem hajtó szivattyúként is, így a szerkezet elkerüli a további nyomásesést. A generátor előnye, hogy nagy a kavitációs térfogat, gyors nyomás-visszanyerés lehetséges, alacsony a nyomásvesztés és a telepítése egyszerű.

Badve et al. [13] egy álló- és egy forgórészből álló hidrodinamikai kavitációs reaktort vizsgáltak, ahol a henger kialakítású forgórészen mélyedések vannak elhelyezve, és a kavitációs buborékok várhatóan a forgó felületen, valamint a bemélyedéseken belül jönnek létre. Azt tapasztalták, hogy a kavitáció intenzitása függ a berendezés fordulatszámától. Egy bizonyos fordulatszám felett csökkenni fog a kavitáció

intenzitása, ezért megkeresték a gép optimális üzemi állapotát, amivel jó eredményeket kaptak.

2.3. Kavitációt befolyásoló tényezők

A hidrodinamikai kavitáció kialakulását és intenzitását több tényező is befolyásolja. Egyrészt a kavitációt létrehozó reaktor geometriai paraméterei (mérete, alakja), másrészt a folyadék fizikai tulajdonságai (viszkozitás, felületi feszültség, sűrűség és az oldott gáztartalom).

Fontos kiemelni a hőmérséklet hatását is, mivel a telített vízgőz nyomása a hőmérséklet növekedésével növekszik. A buborékdinamika vizsgálata azt mutatja, hogy a folyadék hőmérsékletének emelkedésével csökken a folyadék viszkozitása, a felületi feszültség és a gázban való oldhatósága, és így csökken a kavitáció intenzitása és az üregmagok száma. A hőmérséklet emelkedése elősegíti a buborék belsejében a gőznyomás növekedését is, amely a buborék kevésbé erőteljes összeomlását eredményezi. Mivel azonban magasabb hőmérsékleten több kavitációs buborékban is előállnak szabad gyökök, az összehatás néha kiszámíthatatlan. Carpenter et al. [14] a hidrodinamikai kavitáció különböző felhasználási területén – például a szennyvízkezelés, nanoemulziók előállítás, biodízel-szintézis, vízfertőtlenítés és nanorészecske szintézis esetén – részletesen tárgyalták a különféle kavitációs eljárások optimalizálását, többek között az optimális hőmérsékleteket is. A szerves anyagok bomlásának mértéke magasabb hőmérsékleten növekszik, de egy bizonyos hőmérséklet után csökkeni fog. Általában szennyvizek esetén 35-40 °C körüli az optimális hőmérséklet, de például olaj hidrolízisének maximum 30°C és 3 bar nyomás a megengedhető.

A kavitációs folyamat eredményességének alapja az összes fent említett paraméter hatásának figyelembe vétele.

3. KAVITÁCIÓS ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A hidrodinamikai kavitációt (HC) előállító berendezések általában sokkal energiahatékonyabbak, mint az akusztikus berendezések (a különböző HC-berendezések energiahatékonyasága 54 és 60% között változik, míg a különböző váltakozó áramú berendezések energiahatékonyasága 3 és 43%). Például Patil és Gogate [15] a metil-paration peszticid lebomlása során azt találták, hogy a hidrodinamikai kavitáció körülbelül 20-szor energiahatékonyabb, mint az akusztikus kavitáció. Hasonló eredményt kapott Jyoti and Pandit [16], akik összehasonlították az akusztikus kavitációt, a hidrodinamikai kavitációt, a hidrogén-peroxid hatékonyságát és ezek kombinációit. Azt tapasztalták, hogy a hidrodinamikai és az akusztikus

kavitáció kombinációja esetén a szennyvízben elpusztult baktériumok mértéke sokkal nagyobb volt. A baktériumok 99,9%-os eltávolítását az akusztikus-hidrodinamikai kavitáció és hidrogén-peroxid kombinálásával érték el.

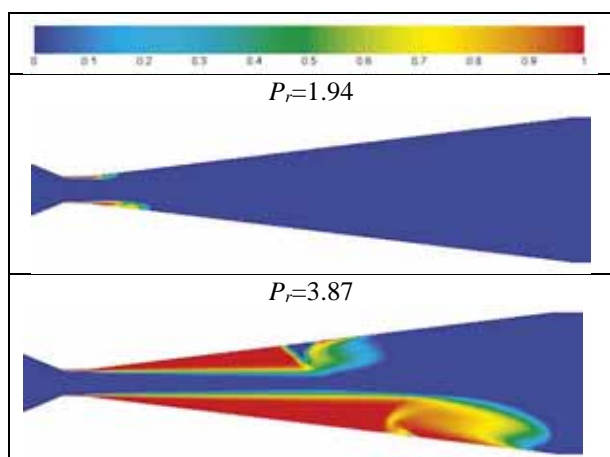
A kavitáció ígéretes technika a szennyvíz fertőtlenítésében. Mivel nem kémiai módszer, ezért alkalmazása nem eredményez semmilyen toxikus mellékterméket, mint például a vízfertőtlenítésnél a klórral végzett kémiai kezelések esetében. Energiahatékony folyamat, és ezért potenciális technikának tekinthető egy nagyszabású vízkezelési rendszer esetében. Érdemes különböző kombinációt alkalmazni (például hidrodinamikai kavitációhoz hidrogén peroxid hozzáadása [16]), hogy minél hatékonyabb legyen a kezelési eljárás.

Az itt leírt kavitációs reaktorok még mindig meglehetősen drágák, összehasonlítva a kémiai fertőtlenítési módszerekkel, ezért ezeknek a módszereknek az alkalmazása lassabban terjed a szennyvízkezelés területén.

4. NUMERIKUS MODELLEZÉS ALKALMAZÁSA A KAVITÁCIÓ JELENSÉGÉRE

A Miskolci Egyetem laboratóriumában [1] létrehoztak egy kísérleti berendezést, amely egy nyitott tartályból, csővezetékéből, egy ürítési pontból áll, valamint egy speciális szivattyúból, amely a folyadék szállításán kívül kavitációs buborékokat állít elő. A szivattyú egy álló és egy forgórészből áll, amelyeken tüskék helyezkednek el. A numerikus modellezés célja volt bebizonyítani, hogy a tüskék közötti térben valóban létrejön gőzfázis. A leghatékonyabb tüskealak és tüskeelrendezés numerikus vizsgálata is feladat volt. Továbbá elemezni kellett a szennyvízösszetétel és a hőmérséklet változása hogyan befolyásolja a kavitáció intenzitását. E bonyolult geometrián való numerikus modellezés előtt célszerű volt egyszerűbb geometriai kialakítás mellett megvizsgálni, hogy a rendelkezésre álló Ansys szoftver alkalmas-e a kavitációs szimuláció elvégzésére. Erre a célra - szakirodalmi ajánlások alapján - a rendszer csővezetékebe egy Venturi kialakítást terveztem. Az elkészült geometrián kétdimenziós numerikus számításokat végeztem [17], aminek segítségével megállapítottam, hogy milyen $P_r = p_{in} / p_{out}$ nyomásviszonynál (a Venturi-cső be- és kilépő keresztmetszetében lévő nyomások arányánál) kezd kialakulni a gőzfázis. Az 1. ábra a Venturi cső torok és diffúzor részén mutatja a gőz/(folyadék + gőz) fázisarányt 0÷1 tartományon (kék_0: 100% folyadék, piros_1: 100% gőz) két nyomásviszonynál ($P_r=1,94$ és $3,87$). A kavitáció hossza a nyomásviszony növekedésével nő. Az ábrán látható, hogy a gőzfázis a torok után a cső falán keletkezik, és az eloszlás a felső és az alsó falon nem szimmetrikus. Abdulaziz [9] kísérletei hasonló eredményeket hoztak, azaz aszimmetrikusan alakultak ki a kavitációs terek.

Megállapította, hogy a kavitáció a torok alsó szélén kezdődik, és a nyomásviszony növelésével a gőzfázis aszimmetrikus eloszlása még szembe tűnőbb.



1. ábra Fáziseloszlás különböző nyomásviszonynál.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Bemutatásra kerültek a szennyvíztisztítás során alkalmazható kavitációs eszközök. Ezek közül egy Venturi-kialakításon numerikus számítások készültek, bebizonyítva, hogy a rendelkezésre álló szoftver megfelelően tudja kezelni a gőzfázis kialakulását. A további lépés a rendelkezésre álló speciális szivattyú modellezése lesz, amely kavitációt képes előállítani.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

The research was carried out within the framework of the GINOP-2.2.1-15-2017-00069 **R&D Project** in the framework of Széchenyi 2020 program, financed by the Hungarian Government.

7. IRODALOM

[1] Establishing products range from bio raw materials with the special regard to a local technological flowsheet. GINOP-2.2.1-15-2017-00069 R&D Project. Project Leader: Dr. Ljudmilla Bokányi.

[2] WANG X. et al.: Chemical effect of swirling jet-induced cavitation: Degradation of rhodamine B in aqueous solution, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 15 (2008) pp.357-363.

[3] BRAEUTIGAM P., FRANKE M., ONDRUSCHKA B.: Effect of ultrasound amplitude and reaction time on the anaerobic fermentation of chicken manure for biogas production, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 63 (2014), pp. 109-113.

[4] HARRISON S.T.L.: Bacterial cell disruption: a key unit operation in the recovery of intracellular products, *Biotechnology Advances*, Vol. 9 (1991), pp. 217-240.

[5] NICKEL K.: Ultrasonic disintegration of biosolids – benefits, consequences and new strategies, *TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering*, Vol. 35 (2002), pp. 189-199.

[6] RUDOLF P., et al.: Experimental investigation of hydrodynamic cavitation through orifices of different geometries, *EPJ Web of Conferences*, Vol. 143, P.02098 (2017).

[7] SIMPSON A., RANADE V.V.: Modeling Hydrodynamic Cavitation in Venturi: Influence of Venturi Configuration on Inception and Extent of Cavitation, *AIChE Journal*, Vol. 65 No.1 (2019), pp. 421-433.

[8] LI M., BUSSONNIÈRE M., BRONSON M., XU Z., LIU Q.: Study of Venturi tube geometry on the hydrodynamic cavitation for the generation of microbubbles, *Minerals Engineering*, Vol. 132 (2019), pp. 268-274.

[9] ABDULAZIZ A.M.: Performance and image analysis of a cavitating process in a small type venturi, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 53 (2014), pp. 40-48.

[10] BERTOLDI D., DALLALBA C., BARBOSA J.: Experimental analysis of flash cavitation of a binary mixture in a Venturi tube, *IV. Journeys in Multiphase Flows (JEM2015)*, PaperID: JEM-2015-0066 (2015).

[11] Gogate P.R., Pandit A.B.: review and assessment of hydrodynamic cavitation as a technology for the future, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 12 (2005), pp. 21-27.

[12] PETKOVŠEK M. et al.: A novel rotation generator of hydrodynamic cavitation for waste-activated sludge disintegration. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 26 (2015), pp. 408-414.

[13] BADVE M., GOGATE P., PANDIT A., CSOKA L.: Hydrodynamic cavitation as a novel approach for wastewater treatment in wood finishing industry, *Separation and Purification Technology*, Vol.106 (2013), pp. 15-21.

[14] CARPENTER J. et al.: Hydrodynamic cavitation: an emerging technology for the intensification of various chemical and physical processes in a chemical process industry, *Reviews in Chemical Engineering*, Vol. 33(5) (2017), pp. 433-468.

[15] PATIL P.N., GOGATE P.: Degradation of methyl parathion using hydrodynamic cavitation: Effect of operating parameters and intensification using additives, *Separation and Purification Technology*, Vol. 95 (2012), pp. 172-179.

[16] JYOTI K.K., PANDIT A.B.: Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 7 (2001), pp. 201-212.

[17] BOLLÓ B.: Modelling of hydrodynamic cavitation for treatment of wastewater in a Venturi tube. *Review of Faculty of Engineering Analecta Szegedinensia*, Vol. 14 No.1 (2020), pp. 61-66.

A TÁMASZ ELMOZDULÁSÁNAK ÉS FORGÁSÁNAK HATÁSA GÖRBE RUDAK STABILITÁSÁRA

THE EFFECT OF MOVEMENT AND ROTATION OF THE SUPPORT ON THE STABILITY OF ARCHES

Kiss László Péter*

ABSTRACT

The paper aims to find how a small imperfection in the support condition can affect the allowable load of circular arches to prevent buckling. The one-dimensional beam model is based on the single-layer Euler-Bernoulli theory. The static equilibrium equations are obtained from the principle of virtual work. Graphical representation of the result is provided.

1. BEVEZETÉS

Gyakori a görbült szerkezeti elemek alkalmazása mérnöki feladatok megoldásakor. Ennek legjelentősebb oka ezek kedvező mechanikai viselkedése a változatos terhelések során.

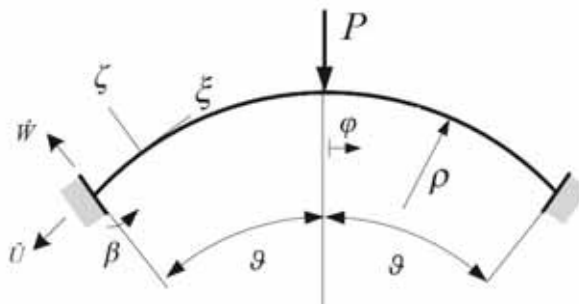
A különféle szerkezeti elemek stabilitásvizsgálata régóta foglalkoztatja a tudományos világot, és napjainkban is aktuális [1-4]. Ami a görbe rudak kihajlását illeti, elérhetők numerikus [5] és analitikus [6-9] megoldások is. Az idézett cikkek igen változatos témaköröket érintenek. Kitérnek többek között funkcionálisan gradiens anyagú, vagy éppen szakaszonként állandó keresztmetszetű rudakra, konstans és megoszló terhelésekre, különféle megtámasztási esetekre, valamint dinamikai vizsgálatokra is.

A jelen tanulmány körívalakú, állandó keresztmetszetű lapos görbe rudak síkbeli stabilitásvizsgálatával foglalkozik. Az anyag homogén, izotrop, lineárisan rugalmas, a terhelés pedig a tetőpontban működő koncentrált sugárirányú nyomóerő. A megtámasztás alapvetően befogás a végeken, ugyanakkor ezt a vázolt, minden szempontból tökéletesen szimmetrikus elrendezést a valóságban nem lehet elérni. Éppen ezért a cikk feltételezi, hogy az egyik támasz (például a nem megfelelő alapozás miatt) kismértékben el tud mozdulni, illetve fordulni. Ezeknek a jelenségeknek (megzavarásoknak) a terhelhetőségre gyakorolt hatását kívánja feltárni a kutatómunka.

2. MECHANIKAI MODELL

2.1. Kinematikai és anyagi egyenletek

Az 1. ábrán látható középvonalhoz van kötve a koordináta-rendszer, melynek ξ ζ tengelypárja jelöli ki a középvonal síkját. Előbbi az érintőirányt, utóbbi a normálirányt azonosítja. A rúd körívalakú, kezdeti görbületi sugara ρ , nyílásszöge pedig $\Theta = 2\vartheta$. Terhelése egy koncentrált P nagyságú erő. Az ívkordinátát s , a szögkoordinátát pedig φ jelöli.



1. ábra Az egydimenziós rúdmodell

A kinematikai modell megalkotásához az Euler-Bernoulli hipotézist felhasználva [9] a fajlagos nyúlás és a keresztmetszetek szögelfordulása a középvonalon az

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} + \frac{w}{\rho} + \frac{1}{2}\psi^2; \quad \psi = -\frac{dw}{ds} \quad (1)$$

módon fejezhetők ki. Itt u az érintőirányú elmozdulás, w a normálirányú elmozdulás. A modell tehát a forgásmezőn keresztül nemlineáris.

Lineárisan rugalmas, izotrop anyagi viselkedést feltételezve a rúderő, illetve a hajlítónyomaték

$$N = AE\varepsilon - \frac{IE}{\rho} \left(\frac{1}{\rho} \frac{du}{ds} - \frac{d^2w}{ds^2} \right), \quad (2)$$

$$M = -IE \left(\frac{d^2w}{ds^2} + \frac{w}{\rho^2} \right), \quad (3)$$

ahol A a keresztmetszet területe, I az η tengelyre vonatkozó másodrendű nyomaték, E pedig a

* adjunktus, Miskolci Egyetem, Műszaki Mechanikai Intézet

rugalmassági modulusz. A fentiekből következik, hogy a középvonal nyúlásához mindkét igénybevétel hozzájárul, hiszen

$$N + \frac{M}{\rho} = AE\varepsilon. \quad (4)$$

2.2. Egyensúlyi egyenletek

A virtuális munka elv segítségével az alábbi egyensúlyi egyenletek vezethetők le:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{ds} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{dM}{ds} - \left(N + \frac{M}{\rho} \right) \psi \right] &= 0, \\ \frac{d}{ds} \left[\frac{dM}{ds} - \left(N + \frac{M}{\rho} \right) \psi \right] - \frac{N}{\rho} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Utóbbi összefüggések átalakíthatók a tömörebb

$$\varepsilon' = 0, \quad W'''' + (\chi^2 + 1)W'' + \chi^2 W = \chi^2 - 1 \quad (6)$$

formába, ahol

$$\frac{d(\cdot)}{ds} = (\cdot)'; \quad W = \frac{w}{\rho}; \quad \chi^2 = 1 - \mu\varepsilon; \quad \mu = \frac{A\rho^2}{I}. \quad (7)$$

3. AZ EGYENSÚLYI EGYENLETEK MEGOLDÁSA

A (6)₂ egyenlet zárt alakban megoldható:

$$\begin{aligned} W(\varphi) = \frac{\chi^2 - 1}{\chi^2} + B_1 \cos \varphi + B_2 \sin \varphi - \\ - \frac{B_3}{\chi^2} \cos \chi\varphi - \frac{B_4}{\chi^2} \sin \chi\varphi. \end{aligned} \quad (8)$$

Ezt az elmozdulásra vonatkozó megoldást külön keressük a rúd bal- és jobb oldalán, mivel a külső terhelés miatt nem minden mező folytonos. Emiatt a négy-négy, összesen tehát nyolc integrációs állandó kifejezéséhez ugyanennyi perem- és illesztési feltétel előírása szükséges. A jobb oldali, ideális befogásnál zérus az elmozdulás és a forgás, míg a bal oldali támasznál megengedettek ezek a jellemzők, vagyis ott

$$W(-\vartheta) = \dot{W}; \quad U(-\vartheta) = \dot{U}; \quad \psi(-\vartheta) = \dot{\psi}. \quad (9)$$

Megjegyzendő, hogy az érintő- és normálirányú mozgások alkalmas lineáris kombinációjaként megadható tetszőleges irányú elmozdulás. Az elmozdulás nagyságát d , irányát pedig a β szög azonosítja a továbbiakban. Utóbbi függőlegesen lefelé

történő elmozdulásnál zérus, értéke pedig az óramutató járásával ellentétes irányban nő.

A további feltételek az erő támadáspontjára vonatkoznak, ahol folytonosak az elmozdulások, a forgások és a nyomaték, viszont

$$-W'''(-0) + W'''(+0) = -2Q/\vartheta \quad (10)$$

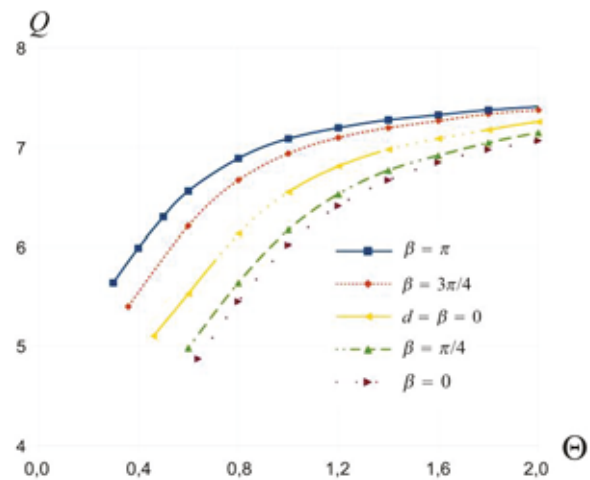
nagyságú szakadás következik be a nyíróerőben, ami az elmozdulásmező harmadik deriváltjával arányos. A képletben $Q = P\rho^2\vartheta/2IE$ a dimenziótlán terhelés.

A fentiek ismeretében, s mivel (6)₁ szerint a középvonalon állandó a fajlagos nyúlás, írhatjuk, hogy

$$\varepsilon = \frac{1}{2\vartheta} \int_{-\vartheta}^{\vartheta} \varepsilon(\varphi) d\varphi = C_0 + C_1 Q + C_2 Q^2. \quad (11)$$

A C_i állandók zárt alakban felírhatók a kinematikai egyenletek segítségével. A (11) összefüggés valójában a nemlineáris kapcsolat a terhelés és az alakváltozás között. Ennek analitikus, vagy numerikus kiértékelése után közvetlenül megkereshetők a rúd elsődleges egyensúlyi útjának határpontjai, vagyis kideríthető, hogy várhatóan mikor, milyen terhelésnél következik be a stabilitásvesztés.

4. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK



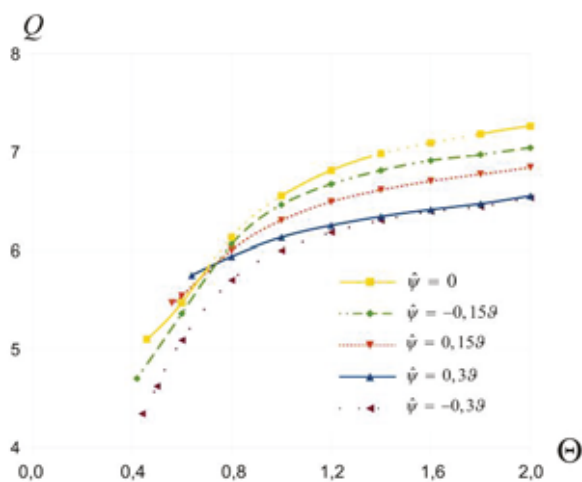
2. ábra A kritikus erő a rúd nyílásszögének függvényében különböző irányú elmozdulásokra

Arra keressük a választ, hogyan befolyásolja a megengedhető (kritikus) terhelést az egyik támasz kismértékű elmozdulása/forgása. Mivel a modell lapos rudakra lett kitalálva, ez a nyílásszögre ad egy alkalmazhatósági korlátot. Feltételezzük, hogy a továbbiakban $S/r=100$ – ez a középvonal hosszának és a keresztmetszet inerciasugarának viszonyszáma.

A 2. ábra görbéinél a támasz d elmozdulása a rúd hosszának 250-ed része (kivéve persze a befalazás esetét),

amikor $d=0$). Megfigyelhető, hogy az elmozdulásnak lehet előnyös és hátrányos hatása is a befogáshoz képest. Kisebb nyílásszögek esetében ezek a tulajdonságok jelentősebbek. Az is észrevehető, hogy az elmozdulás irányának függvényében változik a kihajlás alsó geometriai határa is, azaz a görbék kezdőpontja. Összességében megállapítható, hogy terhelhetőség szempontjából nem a befalazás a legkedvezőbb.

A 3. ábra esetében a bal oldali támasznál csak a forgások voltak megengedve, a legnagyobb vizsgált érték a félnyílásszög 30%-a. Jól látszik, hogy az egyes eredmények közötti eltérések annál nagyobbak, minél nagyobb a rúd nyílásszöge. Az is szembetűnő, hogy az ideális, befogott megtámasztás a legelőnyösebb, amennyiben $\Theta > 0.7$. Ezen határ alatt viszont akkor a legkedvezőbb egy adott geometriájú rúd viselkedése, ha $\psi = 0.3\vartheta$, hiszen egy kis szögtartományban ide tartozik a legnagyobb terhelhetőség, ez alatt pedig nem várható stabilitásvesztés. A teljes vizsgálati intervallumban a legkedvezőtlenebb eredmények a $\psi = -0.3\vartheta$ értéknél tapasztalhatók.



3. ábra A kritikus erő a nyílásszög függvényében különböző forgások esetén

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ismertettem egy új, geometriailag nemlineáris egydimenziós rúdmodell, amelynek segítségével elvégezhető körívalakú lapos rudak síkbeli statikus stabilitásvizsgálata. A terhelés koncentrált erő, az egyik megtámasztás ideális befogás, a másikon pedig a valós körülmények modellezése érdekében előfordulhatnak elmozdulások és forgások. Az eredmények tanúsága szerint ezeknek a hatásoknak külön-külön is jelentős befolyása van a megengedhető terhelésre. Adott esetben a teherbíró képességre számottevően pozitív hatással is lehetnek.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH, K115701 projekt támogatásával valósult meg

7. IRODALOM

- [1] ZHANG J., ZHANG M., TANG W., WANG W., WANG M.: Buckling of spherical shells subjected to external pressure: A comparison of experimental and theoretical data, *Thin-Walled Structures*, Vol. 111, (2017), pp. 58-64, doi:10.1016/j.tws.2016.11.012
- [2] PLAUT R. H.: Snap-through of arches and buckled beams under unilateral displacement control, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 63, (2015), pp. 109–113, doi:10.1016/j.ijsolstr.2015.02.044
- [3] LALIN V., DMITRIEV A., DIAKOV S.: Nonlinear deformation and stability of geometrically exact elastic arches, *Magazine of Civil Engineering*, Vol. 89, No. 4, (2019), pp. 39-51, doi:10.18720/MCE.89.4
- [4] GÖNCZI D.: Finite element investigation in the forming process of aluminium aerosol cans, *Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering*, Vol. 13, No. 4, (2020), pp. 19-22
- [5] BABAEI H., KIANI Y., ESLAMI M. R.: Thermomechanical nonlinear in-plane analysis of fix-ended FGM shallow arches on nonlinear elastic foundation using two-step perturbation technique. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, Vol. 15, No. 2, (2019), pp. 225-244, doi:10.1007/s10999-018-9420-y
- [6] YAN S.-t., SHEN X., CHEN Z., JIN Z.: On collapse of non-uniform shallow arch under uniform radial pressure. *Engineering Structures*, Vol. 160, (2018), pp. 419–438, doi:10.1016/j.engstruct.2018.01.027
- [7] BATENI M. ESLAMI M. R.: Non-linear in-plane stability analysis of FG circular shallow arches under uniform radial pressure. *Thin-Walled Structures*, Vol. 94, (2015), pp. 302–313, doi:10.1016/j.tws.2015.04.019
- [8] PI Y.-L., BRADFORD M. A.: Dynamic buckling of shallow pin ended arches under a sudden central concentrated load. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 317, (2008), pp. 898–917, doi:10.1016/j.jsv.2008.03.037
- [9] LU H., LIU L., PI Y.-L., BRADFORD M. A. HUANG Y.: Effects of movement and rotation of supports on nonlinear instability of fixed shallow arches, *Thin-Walled Structures*, Vol. 155, (2020), doi:10.1016/j.tws.2020.106909
- [10] KISS L. P.: Stability of fixed-fixed shallow arches under arbitrary radial and vertical forces. *Magazine of Civil Engineering*, Vol. 95, No. 3, (2020), pp. 31-41, doi:10.18720/MCE.95.3

NAPELEM, MINT A JÖVŐ ÚTTÖRŐJE

PHOTOVOLTAIC AS A FUTURE PIONEER

Fiák Lilla*, Dr. Bencs Péter**

ABSTRACT

The market for solar panels was inaccessible to private individuals until the mid-1970s, but today it is now widespread and accessible to virtually anyone. We know of many applications for solar panels today, yet they can only cover a few percent of the world's energy supply. Will they be able to spread more widely on the world market in the future and play a greater role in meeting energy needs? The article highlights the key topics needed to answer this question, such as the issue of recyclability or price.

1. BEVEZETÉS

Napjainkra bebizonyosodott, hogy a fosszilis tüzelőanyagok nem képesek az örökkévalóságig kielégíteni a világ energiaigényét, illetve a magas CO₂ kibocsátás szempontjából sem ideálisak. A megoldáskeresés kétségtelenül a megújuló energiaforrások irányába indult el. Ezt bizonyítja az Európai Unió energiapolitikája is, mely a jövőben főként a napenergiát hasznosító rendszerek széles körű fejlesztésére, elterjesztésére törekszik (1. ábra).

A felismerés, mely szerint érdemes a napenergiával foglalkozni, a 19. századra tehető. 1839-ben a francia fizikus, Alexandre Edmond Becquerel először demonstrálta sikeresen a fotovoltikus hatást. Ezt követően létrehozta a világ első fotovoltikus elemét, amely a napban rejlő lehetőségek kihasználásának egyik fontos kezdeti lépéseként rögzíthető.

Az első napelem megépítése Charles Fritts nevéhez fűződik (1883). Az eszköz akkoriban körülbelül 1%-os



1. ábra Megújuló energiát hasznosító villamosenergia-termelő kapacitások alakulásának elvárásai

hatékonysággal tudott működni. Az első valóban hatékony, szilícium alkalmazásával készült napelemet a Bell laboratórium hozta létre 1954-ben. Az ezt követő két évtizedben a fejlesztések leginkább az űrtechnológia területén folytak, így a napelemek ára sokáig magas maradt. Az olcsóbb, átlagemberek számára is elérhető termékek 1973-ban – épp a nagy olajválság idején – kezdtek megjelenni a piacon. [1]

2. A NAPELEMEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI NAPJAINKBAN

A ma használatos napelemeknek számos fajtáját különböztethetjük meg. Az egyik legelterjedtebb típus az ún. kristályos napelem. Az elnevezés onnan ered, hogy szilícium panelek felhasználásával készülnek. Átlagos élettartamuk körülbelül 30 év. A kristályos napelemek két típusa létezik: a monokristályos és polikristályos verzió.

Monokristályos napelem:

Ahogy a nevéből is kikövetkeztethető, a napelemet egy szilícium tömb alkotja, amit egyenlő részekre osztanak fel. Hatásfoka kb. 16-19%, felhős, illetve túl forró időben ez a mutató azonban romlik [2, 3].

Polikristályos napelem:

A típus jellegzetessége, hogy több szilícium tömb alkotja, amelyek ónszalaggal vannak összeforrasztva. Felhős időben hatékonyabb, mint a monokristályos napelem, azonban összegezve az időjárás viszonyokat, a hatékonysági mutatója kb. 13-18% körülire tehető [2].

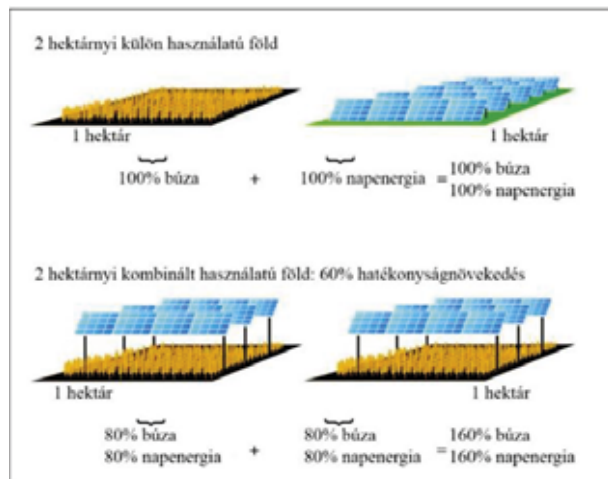


2. ábra Napelemes tetőcserepek [4]

* hallgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

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

Manapság a napelemek leginkább elterjedt alkalmazása a háztetőkön való telepítés (2. ábra). Itt két módot különböztethetünk meg. Az egyik, amikor hagyományosan a tetőre szerelünk napelem táblákat. Megjelent azonban a tetőcserépbe integrált napelem technológiája is [5]. Ezzel az addig passzív cserepek aktív szerepet kapnak, illetve ez a verzió esztétikai szempontból is előnyösebb, mint az előbbi megoldás.



3. ábra A mezőgazdasági területek hatékonyabb kihasználása [6]

Napjainkban nagy problémát jelent a különböző napelemparkok méretes helyigénye. Ennek kiküszöbölésére találták ki a mezőgazdasági területeken történő napelem telepítéseket. Az eredmény magáért beszél: a mezőgazdasági területek kettős felhasználása 60 százalékkal növeli a földhasználat hatékonyságát [6].

Kérdés azonban, hogy hogyan valósíthatóak meg hatékonyan és biztonságosan ezeken a területeken az ott zajló mezőgazdasági munkálatok.

Szintén nagy problémát jelent a nagyobb városokban fellelhető nagyméretű passzív betonfelületek kérdése. Kínában az ilyen felületek előnyös kihasználására elkezdtek napelemes bicikliutakat és járdákat létrehozni [7]. A rendszer jelenleg tesztelési fázisban van, ami magával hozza azt a kérdést, hogy vajon merre halad a jövő?

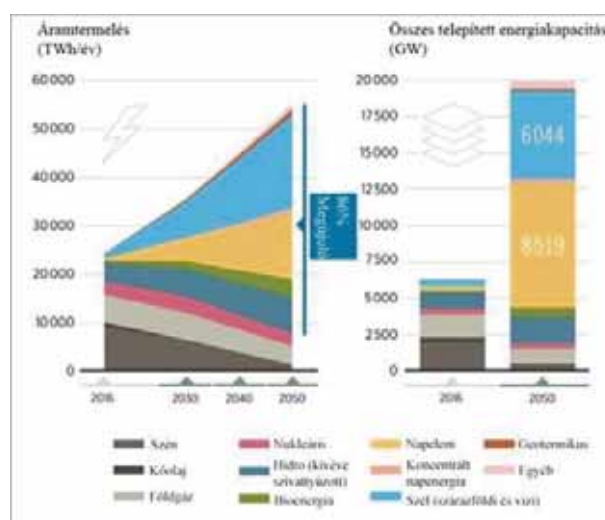
3. JÖVŐBENI KILÁTÁSOK

A tény vitathatatlan, hogy jelenleg a napenergia a világ leggyorsabban növekvő megújuló energiaforrása. Kérdés azonban, hogy bekerülhet-e jelentősebben a közeljövő energiatermelésébe? Az IRENA (International Renewable Energy Agency) szerint a válasz: igen. Becsléseik szerint 2050-re az energiatermelésben a megújuló energiaforrások 86%-os részesedéssel vesznek majd részt [8]. A kutatás szerint a második legnagyobb villamosenergiatermelő kapacitást a napelemes rendszerek érhetik el, amelyek így a világ teljes energiaigényének 25%-os kielégítésére lesznek képesek [8,9]. Mindemellett a becslés szerint 2050-re a

napelemes rendszerek esnének át a legnagyobb mértékű kapacitásbővítésen (4. ábra).

Az EPIA (European Photovoltaic Industry Association) szintén fényes jövőt jósol a napelemek számára, bár az általuk megalkotott egyik tanulmány leszögezi, hogy ehhez a hálózati rendszer jelentős fejlesztésére van szükség [10].

Ahhoz, hogy megítéljük, hogy a napelemek a jövőben tényleg jelentősebb szerepet kaphatnak-e, számos kérdéskört kell megvitatni, amik a következők: ár, időjárásfüggőség, esti órák, tárolás, hatékonyság és hulladékkezelés.



4. ábra Az áramtermelés és energiakapacitások várható alakulása [8]



5. ábra A napenergiával előállított villamosenergia költségének becslése [7]

3.1. Ár

Az IRENA előrejelzései szerint világszinten a napelemes projektek telepítési költségei a közeljövőben továbbra is drámai csökkenésen mennek majd keresztül. Ezen felül a napelemmel nyert villamos energia ára is az egyik legversenyképesebbé válhat a piacon, nem csak a megújuló energiák, hanem a fosszilis tüzelőanyagokat figyelembe véve is. A kutatás szerint a napenergiával előállított villamosenergia költsége 2050-ben 0,014 és 0,05 USD / kWh között alakulhat [8]. Az 5. ábrán megfigyelhető azonban, hogy 2018 és 2050 között a

költségek csökkenése közel sem olyan jelentős, mint például a 2010 és 2018 közötti időszakban.

Az árazás kapcsán meg kell említeni a különböző – átlagemberek számára is igénybevehető – támogatási lehetőségeket. Vajon mi történik majd akkor, ha az államok nem nyújtanak akkora ösztönző finanszírozási segítséget a napelemek telepítéséhez, mint manapság? A választ előre sajnos nem lehet tudni, a kérdés ellenben mindenképp elgondolkodtató.

3.2. Hatékonyságnövelés, újrahasznosíthatóság kérdése

Napjainkban egyre több kutatás, fejlesztés irányul a napelemek hatékonyabbá tételére, hiszen a jelenlegi, körülbelül 20%-os eredmény nem mondható igazán effektívnek. A hagyományos táblák egyik nagy problémája, hogy a látható fény hasznosítását csak kis tartományban tudják megvalósítani. A helyzet javítására az amerikai Rice Egyetem tudósai megalkottak egy rendkívül ígéretes elméletet. Ennek kiküszöbölését teheti lehetővé az amerikai kutatók új felfedezése, mellyel a napelemek hatékonysága a mostani 20%-ról akár 80%-ra nőhet [11]. Az elmélet lényege a napelemek által felvett hőenergia fénné alakítása, majd az azzal történő energiatermelés. Habár a fejlesztés még kezdetleges és főként elméleti síkú, a megoldás nagyon ígéretes lehet.

Hatékonyságnövelés kapcsán azonban felmerül a kérdés, hogy vajon mit tehetünk a jövőben a régi, elhasznált darabokkal? Már jelenleg sem tekinthető elhanyagolhatónak a probléma, hogy egyre több használt napelem végzi a szemétkosárba. A fotovoltaikus (PV) panel hulladékának exponenciális növekedése várhatóan a 2016. évi 100 ezer tonnáról 2050-re 60–70 millió tonnára nő majd [12, 13]. A problémával tehát mindenképp foglalkozni kell.

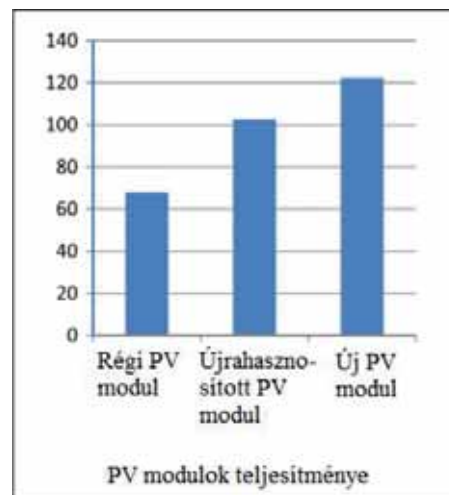
Napjainkban több módszer is létezik a napelemek újrahasznosítására. Az egyik ilyen az ún. FRELP újrafeldolgozási folyamat, amelyet a világ egyik legfejlettebb technológiájának tekintik a napelem újrahasznosítás területén [12]. A folyamat lényege, hogy szállítás után a PV modulokat egy automatizált rendszerbe helyezik a bontáshoz, ahol különválogatják a kereteket, kábeleket és műanyagokat. A hulladékpanelek ezután egy üvegszétválasztási folyamaton mennek keresztül. Ezt követően egy égetőműben folytatódik az eljárás. Az égetés során keletkezett hamut szitálják és savmosással kezelik. Ezután a savas oldatból szűréssel kinyerik a szilíciumot, majd elektrolízissal az ezüstöt és a rezt. A folyamat becsült újrahasznosítási aránya 83% [12].

Egy ígéretes kutatás során a King Saud Egyetem hallgatói egy szimuláción keresztül vizsgálták a régi napelemek újrahasznosításával elérhető hatékonyságot. Kutatásuk szerint a napelemekből kinyert anyagok körülbelül 90%-a újrafeldolgozható, a műveletet

követően pedig újabb 25-30 évig működőképes lehet a korábban már elhasznált napelem [14]. A szimuláció során kinyert teljesítménybeli eredményeket a 6. ábra mutatja be. Az eljárás jelenleg csak szimuláció szintjén valósult meg.

3.3. Időjárás

A napelemek ugyancsak nagy problémája az időjárásfüggőség. Kezdeti megoldások viszont már ma



6. ábra A PV modulok teljesítménye (W) [14]

is léteznek. Kínai kutatók grafén réteggel vontak be paneleket, amik így az esőcseppek segítségével képesek az áramtermelésre. Az elmélet lényege, hogy a vízben lévő sók pozitív ionjait a grafén elektronjai megkötik. A kialakuló két réteg között fellépő energiakülönbség termeli az áramot. A módszer segít, hogy a napelem nem csak napos, hanem esős időben is kihasználható legyen. Igaz, laboratóriumi körülmények között jelenleg mindössze 6-7% körüli hatékonyságot tudnak elérni a módszerrel [15].

3.4. Esti órák kihasználása

Az időjárás mellett másik nagy kérdés az esti energiatermelés biztosíthatósága. Manapság elkezdtek megjelenni az éjszaka is áramot termelő napelemek. A Kaliforniai Egyetem egyik kutatójának sikerült kifejlesztenie egy olyan prototípust, amely képes akár 50 W/m² energia előállítására az éjszaka folyamán [16]. Az eszközt fordított napelemnek nevezte el, mivel a hagyományos napelemmel szemben – amik a fotonok által generált feszültséget hasznosítják – a prototípus a felhevült tárgyak éjszakai hőleadását használja ki. A módszer képes megteremteni a napszakok közötti hálózati energiaellátás egyensúlyát, így a fejlesztés mindenképp a napenergiahasznosítás egyik újabb mérföldkövéként könyvelhető el.

3.5. Tárolás

Számos kutató dolgozik a napsütéses órákban megtermelt felesleges energia hasznosíthatóságának

módszerén. A svédek úgy tűnik sikeres megoldást fejlesztettek ki a probléma megoldására [17]. Az elmélet szerint a napenergiát hő formájában akár több évtizeddel később is hasznosítani tudják. Kutatásuk alapja, hogy egy szénből, nitrogénből és hidrogénből álló molekula segítségével valósul meg a tárolás. A megoldás ma még kezdeti szinten áll, a fejlesztésekhez, illetve a technológia széles körűvé válásához ugyanis sok pénzre van szükség. Az ötletgazdák tervei szerint az általuk megálmodott burkolat három éven belül, míg a tárolóegység hat éven belül jelenhet meg a piacon.

A túlermelt energiamennyiség felhasználásának egyik módja napjainkban a visszatáplálás. Kezdetben ez a módszer Németországban például nagyon hatékonyan működött, manapság azonban az állam próbálja arra ösztönözni a felhasználókat, hogy saját maguk használják el a megtermelt energiájukat. Az átvételi ár a háztartási méretű napelemes rendszerek esetében szinte folyamatosan csökkent az évek során (7. ábra).



7. ábra Az áramszolgáltató által biztosított energiaátvételi árak évenkénti bontásban [18]

4. A NAPELEMEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI NAPJAINKBAN

Ami leginkább megkülönbözteti a napelemet más megújuló energiaforrásoktól, az a sokoldalúsága. A vízenergia például kifejezetten rugalmatlan, hiszen alkalmazása a helyi erőforrásokra korlátozódik. A szélenergia nagy hátránya pedig, hogy szélerőművek telepítése csak olyan helyen hatékony, ahol a szél viszonylag egyenletesen fúj. Ezekkel szemben a nap gyakorlatilag szinte bárhol elérhető. A napelemek nagy előnye, hogy önálló áramforrásként már meglévő szerkezetekbe, anyagokba integrálhatók, ezzel is bizonyítva sokoldalúságukat. Persze mint mindennek, a napelemnek is vannak hátrányai. Ilyen például a méretes helyigénye. Ennek kapcsán felmerülhet a kérdés, vajon mi lesz a tényleges sorsa annak a rengeteg területnek, ahová napelemtáblákat telepítenek – mert bizony nagy problémát jelent az is, hogy a rengeteg támogatás miatt szinte mindenhol próbálnak napelemparkokat építeni. [19]

A jelenlegi formában a napelem nem biztos, hogy helytálló tud lenni, helyette inkább más megújulókkal

szükséges összekapcsolni. Ilyen reményteli megoldás például a hőszivattyúval történő párosítás. Jelenleg nem létezik olyan technológia, mellyel hatékonyabban lehetne felhasználni az elektromos áramot az épületek fűtésére, mint a talajkollektoros hőszivattyú és napelem párosítása. Az összekapcsolt rendszer előnye a hagyományos, levegőt hasznosító, napelem nélküli hőszivattyús rendszer alkalmazásához képest, hogy nagyobb hatékonyságot lehet elérni, alacsonyabb áron [20]. A megoldás passzívházaknál is kitűnően alkalmazható. Szintén ígéretes az ún. hibrid napelem, amely gyakorlatilag a napelem és a napkollektor kombinációja. A rendszer lényege, hogy az elektromos áram termelése és a melegvíz létrehozása egyaránt biztosított. A napelem hatékonysága így akár 30%-kal is megnőhet [21].

Véleményünk szerint a kérdésekre adott válaszok igazolják, hogy a napelemek elindultak egy nagymértékű, sokrétű fejlődés útján. Látszik azonban, hogy a fejlesztések, törekvések – habár rendkívül ígéretesek – még elméleti sikokon mozognak, amik önmagukban kevesek. Éppen ezért, azt biztosra megjósolni, hogy a napelemek hosszú távon, hatékonyan fognak-e tudni részt venni a világ energiaellátásában, ma még nem igazán lehet. Úgy gondoljuk, hogy a hibrid rendszerek hozhatják el a várt nagy sikereket, például a fent említett hőszivattyú + napelemes kombináció. Ezek elterjedéséhez véleményünk szerint azonban főként ilyen irányú pályázatokra van szükség, amik sajnos napjainkban még aligha jelentek meg az állampolgárok számára.

5. ÖSSZEZGÉS

A napelemek jelenleg a világon a leggyorsabb ütemben növekedő megújuló energiaforrások. Ennek fényében nem is meglepő, hogy sokan nagy reménységgel teli szerepet könyvelnek el számukra a jövő energiaellátásában. Sajnos azonban kevesen látják a világban kevésbé kihangsúlyozott árnyoldalakat. Vajon mennyire fogja bími hosszú távon a jelenleg kiépített hálózati rendszer a nagymértékű terhelést? Vajon képesek lesznek-e – a jelenleg még csak elméleti szinteken megvalósuló – kutatások, fejlesztések olyan jelentős mértékű áttöréseket elérni, amelyek tényleg biztosíthatják a napelem számára a hosszútávú, életképes jövőt? Nehéz megmondani, hogy hogyan alakul majd a jövő energiatermelésének összetétele, az azonban biztos, hogy habár az irány, ami elindult a fejlődés felé, az mindenképp kedvező, a jelenlegi törekvéseknél nagyobb áttörés elérésére van szükség.

Úgy gondoljuk, a jövő megoldását a megújuló energiaforrások összekapcsolt rendszerei hozhatják el számunkra, ehhez azonban manapság sajnos még sok feltétel nem biztosított. Véleményünk szerint ahhoz, hogy ily módon jelentős előrelépéseket érthessünk el, illetve, hogy esetlegesen elindulhasson a megoldás

népszerűsítése, szakemberek képzésére, technológiai fejlesztésekre és támogatások létrehozására lenne szükség.

6. IRODALOM

- [1]. A napelem történetének áttekintése. (2016. February 17.) Alternatív Energia. <https://alternativenergia.hu/a-napelem-tortenetenek-attekintese/74541>
- [2] Napelemek fajtái – Mi a különbség köztük? (2020. February 13.) Magyar Napelem Napkollektor Szövetség. <https://www.mnnsz.hu/napelemek-fajtai/>
- [3] WINGERT H. The future of Solar Power. (2021. January 28) Lufft Blog. <https://www.lufft.com/blog/en/the-future-of-solar-power/>
- [4] The future of solar energy – a look at future solar technology: Landmark dividend. (2019. September 12). Retrieved February 18, 2021, from <https://www.landmarkdividend.com/the-future-of-solar-energy>
- [5] SZABÓ M.I.: A Teslát előzheti a magyar napelemes tetőcserep. (2019. April 24) Napi.Hu. https://www.napi.hu/magyar_vallalatok/napelemes-tetocserep-tesla-terran-generon.682938.html
- [6] Harvesting the sun for power and produce – agrophotovoltaics increases the land use efficiency by over 60 percent - fraunhofer ise. (2021, January 13). Retrieved February 18, 2021, from <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2017/harvesting-the-sun-for-power-and-produce-agrophotovoltaics-increases-the-land-use-efficiency-by-over-60-percent.html>
- [7] Kínai napelemes járda. EU-Solar Zrt. (2020b, August 18). <https://www.eu-solar.hu/blog/kinai-napelemes-jarda/>
- [8] IRENA. (2019, November). Future of Solar Photovoltaic. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf
- [9] Napenergia: most jöhet csak az igazi boom, tízszeresedhet a hazai kapacitás. (2019, April 4). Magyar Napelem Napkollektor Szövetség. <https://www.mnnsz.hu/napenergia-most-johet-csak-az-igazi-boom-tizszerezodhet-a-hazai-kapacitas/>
- [10] SCHEPP .P. (2020). Napelemek jövője Európa energiaellátásában. Magyar Atomfórum Egyesület. http://www.atomforum.hu/enstat/napelemek_jovoje.htm
- [11] 80%-ra növekedhet a napelemek hatékonysága. (2020, January 16) Alternatív Energia. <https://alternativenergia.hu/80-ra-novekedhet-a-napelemek-hatekonysaga/88730>
- [12] ARDENTE, F., LATUNUSSA, C.E., BLENGINI, G. A.: Resource efficient recovery of critical and precious metals from waste silicon PV panel recycling. *Waste Management*, Vol. 91(2019), pp. 156-167.
- [13] Portfolio.hu. (2020, August 21). Súlyos következményei lesznek, ha nem oldjuk meg a használt napelemek újrahasznosítását. <https://www.portfolio.hu/uzlet/20200821/sulyos-kovetkezmenyei-lesznek-ha-nem-oldjuk-meg-a-hasznalt-napelemek-ujrahasznositasat-445544>
- [14] ASHFAQ H., HUSSAIN I., GIRI A.: Comparative analysis of old, recycled and new PV modules. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, Vol. 29 No.1 (2017), pp. 22-28.
- [15] A megújuló energiaforrások jövője? Ezért jelenti a napelem a jövőt. (2017, July 27). Retrieved February 18, 2021, from <https://www.napelemek-napkollektorok.hu/magazin/napenergia/ezert-jelenti-napelem-jovot/>
- [16] alternativenergia.hu. Éjszaka is munkára foghatjuk a napelemet. (2020. June 17). Élő Bolygónk. https://www.elobolygonk.hu/Innovativ_trendek/Energia/2020_06_17/ejszaka_is_munkara_foghatjuk_a_napelemet
- [17] mnnsz.hu. A svédek megtalálták a megoldást a napenergia tárolására. (2019. November 6). Élő Bolygónk. https://www.elobolygonk.hu/Innovativ_trendek/Energia/2019_11_06/a_svedek_megtalaltak_a_megoldast_a_napenergia_tarolasara
- [18] PAPP L.: Így támogatják a napelemeket Németországban. (2020. May 22) Villanyautósok. <https://villanyautosok.hu/2020/05/23/igy-tamogatjak-a-napelemeket-nemetorszagban/>
- [19] GEEK M. E.: Comparing The 3 Most Promising Renewable Energy Sources. (2017. January 18) My Energy Geek. <https://myenergygeek.com/comparing-the-3-most-promising-renewable-energy-sources/>
- [20] Keiner D., Ram M., Noel L., Bogdanov D., Breyer C.: Cost optimal self-consumption of PV prosumers with stationary batteries, heat pumps, thermal energy storage and electric vehicles across the world up to 2050. *Solar Energy*, Vol. 185(2019), pp. 406-423.
- [21] Kft., P. S. S. (2020). Hibrid napelem. Pentele Solar System Kft. <https://innovativnapelem.hu/hibrid-napelem.html>

CONTENTS

1. Bassel Alsalamah, Dr. László Kuzsella,
Dr. Zsolt Lukács: 7
PHYSICAL SIMULATION AND
MATHEMATICAL MODELIZATION WITH
HARDNESS DISTRIBUTION MAPPING OF
SICO TEST
Hot cracks occur when thermal shrinkage, along with restraint-induced deformation, cannot be accommodated by plastic deformation. This procedure can be performed on a thermal-mechanical simulator using GLEEBLE 3500; It involves the tensile testing and determination of the hot strength and ductility of many cylindrical samples at temperatures below solidus. The Strain- Induced Crack Opening (SICO) test is an alternative to the hot tensile test during the simulated welding period.
2. Lucas Alexandre de Carvalho,
Jemal Ebrahim, Dr. Zsolt Lukács: 11
THE IMPORTANCE OF PRESSURE AND
VELOCITY DEPENDENT FRICTION
COEFFICIENT IN THE METAL FORMING
NUMERICAL SIMULATION
The AutoForm is among the most widely used FEM packages in sheet metal forming. Accurate simulations of the sheet metal forming are needed for developing cost effective production processes. The incorporation of advanced friction models provide improved accuracy in sheet metal forming finite element simulations. This study analyses the pressure and velocity dependent friction models applied to the simulation of sheet metal forming by the software AutoForm.
3. Ahmad Yasser Dakhel, János Lukács: 15
FAILURE STATISTICS OF TRANSPORTING
PIPELINES AND THEIR CONSEQUENCES
The findings of the study of long-distance oil and gas pipeline failures are essential for the industry. They can be the basis for pipeline operators' risk analysis, integrity evaluation, and management improvement. Analysis and evaluation of Europe's statistical findings on pipeline failure rates, causes, effects, similarities, and discrepancies in pipeline management were used to define management's focal points and effectiveness. Suggestions on technologies and management for long-distance pipeline protection are proposed.
4. Ecsedi István, Baksa Attila,
Lengyel Ákos József, Gönczi Dávid: 19
A STATIC PROBLEM OF AN
INHOMOGENEOUS AND ANISOTROPIC
PIEZOELECTRIC BEAM
The authors published several works concerning with inhomogeneous and/or anisotropic structural elements in last years. The definition and the solution of these problems there was the main point that we used the special theory of mathematical linear elasticity which takes into account the material non-homogeneity and anisotropy. This work describes an analytical solution for a Saint-Venant torsion problem of an inhomogeneous, orthotropic, piezoelectric beam with elliptical cross section.
5. Kállai Viktória, Szepesi L. Gábor: 22
DETERMINATION OF DRY PRESSURE
LOSS OF A SIEVE TRAYED COLUMN
In this study dry pressure drop of a sieve tray was determined with calculation (three types of correlations) and CFD simulation. During the investigation three types of gas velocity was used: 1, 1,5 and 2 m/s. Our goal was to investigate the correlation between the results of the calculations and simulation. It could be determined that the calculations in each cases overestimated (approximately with 31%, and 19%) the dry pressure drop, than the simulation.
6. Mikáczó Viktória, Siménfalvi Zoltán,
Szepesi L. Gábor: 26
EFFECT OF VENT DUCTS ON THE
REDUCED EXPLOSION OVERPRESSURE –
THEORETICAL MODELS
In this paper, the authors summarize the major computational contexts reported in the scientific literature that has already been published, as a guide for further use. Values of relative errors mentioned at the end of each method were determined by Lautkaski based on experiments performed over a wide range of tests.
7. Kriston J. Balázs, Dr. Jálics Károly: 31
LOCALIZATION OF FAILURES WITH
VIBRO-ACOUSTICAL METHODS
IN CASE OF MECHANICAL STRUCTURES
The main purpose of this study is to summarize and review the state-of-the art monitoring procedures and diagnostic techniques based on vibrational and acoustical signals by the help of literature sources. The paper seeks to illustrate the application of each method through practical examples, so it may be useful for those who wish to understand which types of fault can be diagnosed by using vibro-acoustic diagnostic systems.

8. Soltész László, Berényi László,
Kamondi László: 36
PRODUCT DEVELOPMENT PROJECTS:
STAKEHOLDER PRIORITIES WHEN
APPROVING A PROJECT

The analysis is based on the responses of 112 experts on product development by a voluntary online survey. The results show that there is a remarkable difference in prioritization. Most of the development engineers stated that corporate management and project managers are time- and cost-centric. The main implication of the research is that the priorities are to explore within an organization that can support a suitable regulatory and communication system that minimizes the conflicts against the project success.

9. Kalmár László, Hegedűs György,
Fáy Árpád: 41
AUTOMATED DESIGN OF AXIAL FLOW
PUMP IMPELLER

The main purpose of compiling this article is to present the developed computer program package AXPFD V2.0 in general, describing the characteristic features of the available program modules, summarizing the results obtained and considered more important during the design of the axial flow prototype pump with adjustable blades.

10. Fodor Béla: 46
DESCRIPTION METHODS FOR NUMERICAL
ANALYSIS OF ROTARY FLOW MACHINERY
This article presents general aspects closely related to the numerical testing of rotating flow engineering equipment, where the most important tasks are briefly summarized. I place emphasis on the structure of the study method and then on the possibilities of each computational model.

11. Török Tamás István: 50
CORROSION MUST ALSO BE PROTECTED,
EUROCORR IS COMING TO BUDAPEST
AGAIN

The outdoor steel structures can be effectively prevented from corrosion by appropriate organic surface coatings which can provide some physical barrier against the aggressive environment, while for steel components and the steel reinforced concrete constructions, which occasionally are coming or being in contact with aqueous electrolyte solutions, the corrosion attack can also be effectively mitigated by admixing corrosion inhibitors to such technological waters or to the concrete. This paper presents some case studies to timely illustrate this important issue.

12. Petrik Máté, Dr. Jármai Károly,
Dr. Szepesi L. Gábor: 53
NUMERICAL AND ANALYTICAL
CALCULATION POSSIBILITIES OF
TRANSIENT HEAT TRANSFER

The heat transfer processes can be divided into two parts, first to the transient state and then the temperature profile has formed to the steady state. This type of transient heat transfer phenomena occurs for example in heat treatments, when heating industrial equipment to operating temperature, or even cooking can be mentioned. The goal of this study is to present these heat transfer processes in general and to report empirical relationships that can be used to predetermine temperature values as a function of time.

13. Szűcs Renáta, Dr. Jármai, Károly: 58
COST-OPTIMIZED MECHANICAL DESIGN
METHODS

Cost-optimized design is becoming more and more important among the design requirements. The competitiveness of companies highly depends on their cost-optimized design. The cost of a product can be reduced significantly in the design phase, cc. 70% of the expenses decided in the design phase. In the present study, the authors deal with presenting the available cost optimization design tools that can be used in the planning phase and the possible development of these tools.

14. Szűcs Renáta, Galambos József,
Dr. Jármai, Károly: 63
COST-OPTIMAL DESIGN OF SCISSOR
LIFTING TABLE

During the design process, special attention should be paid to the production costs incurred. In the present study, the authors analyze a scissor lifting table's structure from a cost-optimal design perspective. Through this analysis, general cost-optimal design rules are also determined. Based on the presented technique, the determination of a parametric model for cost optimization design could be elaborated.

15. Jemal Ebrahim Dessie, Lucas Alexandre de
Carvalho, Dr. Zsolt Lukács: 67
NUMERICAL SIMULATION OF IMPACT
EXTRUSION FOR PURE ALUMINUM
AEROSOL CAN MANUFACTURING

Impact extrusion is a supreme manufacturing process for seamless aerosol can. Reducing can thickness and eliminating of decrease in mechanical properties after the internal coating is critical problems of current aerosol can industries. Through selecting highly strength aluminum alloy, there is a possibility of extrusion inhomogeneous wall thickness to manufacture thinner and strengthen aerosol can. Deform 2D is optimistic FEM software to model and simulate inhomogeneous wall thickness, as a result, it can acquire defect-free can shoulder at the necking stage.

16. Hazim Nasir Ghafil,
Dr. Jármai Károly: 71
OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR
INVERSE KINEMATICS OF ROBOTS
WITH MATLAB SOURCE CODE

This paper presents a methodology to solve the inverse kinematic problem for any kind of robot arm using optimization algorithms. Forward kinematic is usually a straightforward analysis for any robot while inverse kinematic is hard to be solved for many cases. A particle example of 5DOF revolute joint arm was used to present this methodology with source code written in MATLAB for the objective function. Dynamic differential optimization algorithm DDAO was used to minimize the objective.

17. Alaa Al-Fatlawi, Dr. Jármai Károly,
Dr. Kovács György: 75
OPTIMUM DESIGN OF SOLAR SANDWICH
PANELS FOR SATELLITES APPLICATIONS

The aim of the article was to verify the optimum design of solar sandwich panels for microsatellites applications. The sandwich panel consists of aluminium honeycomb core and aluminium materials facesheets. In this study, a methodology for a combined weight and/or cost optimization for sandwich panel with aluminium facesheets and honeycomb core is presented.

18. Chahboub Yassine, Dr. Szávai Szabolcs: 80
THE APPLICATION OF BACK PROPAGATION
APPROACH IN THE DETERMINATION OF
GTN PARAMETERS

The Gurson–Tvergaard–Needleman (GTN) model, is a powerful approach that we use to anticipate the failure of pipelines based on lab samples, To find GTN parameters straightforwardly we need to consume much time. The immediate strategy to find the GTN parameters and anticipate the damage of the materials is finding the right mix between the experimental and Finite Element results.

19. Bolló Betti: 83
CAVITATION PROCEDURES IN
WASTEWATER TREATMENT: A REVIEW
ARTICLE

In this study different cavitation tools are presented. Finally, on the designed Venturi tube, two-dimensional numerical simulations were investigated by the means of CFD computations.

20. Kiss László Péter: 87
THE EFFECT OF MOVEMENT AND
ROTATION OF THE SUPPORT ON THE
STABILITY OF ARCHES

The paper aims to find how a small imperfection in the support condition can affect the allowable load of circular arches to prevent buckling. The one-dimensional beam model is based on the single-layer Euler-Bernoulli theory. The static equilibrium equations are obtained from the principle of virtual work. Graphical representation of the result is provided.

21. Fiák Lilla, Dr. Bencs Péter: 90
PHOTOVOLTAIC AS A FUTURE PIONEER

The market for solar panels was inaccessible to private individuals until the mid-1970s, but today it is now widespread and accessible to virtually anyone. We know of many applications for solar panels today, yet they can only cover a few percent of the world's energy supply. Will they be able to spread more widely on the world market in the future and play a greater role in meeting energy needs? The article highlights the key topics needed to answer this question, such as the issue of recyclability or price.

We would like to thank all the reviewers who contributed to the professional review of the current articles in the journal.

Bolló Betti, Bencs Péter, Czégé Levente, Cservenák Ákos, Demjén Ferenc, Dömötör Ferenc, Fortuna László, Gáspár Marcell, Jármai Károly, Joó Gyula, Kalmár László, Kántor Péter, Kiss László, Kovács György, Kovács Péter Zoltán, Kozsely Gábor, Kullmann László, Lukács Zsolt, Madácsi Attila, Mankovics Tamás, Marosné Berkes Mária, Nagy Szilárd, Orbán Ferenc, Spisák Bernadett, Szabó J. Ferenc, Szabó Szilárd, Szamosi Zoltán, Szilágyi Attila, Takács Ágnes, Telegdi Judit, Tímár Imre, Váradi Károly, Venczel Gábor, Virág Zoltán

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

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

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bercsey Tibor

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Kármán Antal

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálinkás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

DEAR READER,

The general goal of the University of Miskolc (ME) entitled *“Rejuvenating and Renewing University - Innovative City of Knowledge, Institutional Development of the University of Miskolc for Intelligent Specialization”* is to build its activities on strong innovation and cooperation, and increasing its visibility, with a focus on R & D & I. Building on this, the strategic and overall goal of the project is: to effectively involve the UM in the implementation of the National Intelligent Specialization Strategy, to increase the research conditions and capacities.

Research at the University of Miskolc at the 4th Center for Excellence is under the heading *Innovative Vehicle Engineering, Power Engineering and Mechanical Engineering and Technologies*. The Center’s objective is to develop research potential through research that innovates modelling, design and technological processes, in line with the European Union’s drive to foster innovation, and the application and development of the most efficient environmental technologies. The Center for Excellence wants to improve the results achieved with new ones.

In 2016 at the University of Miskolc, a car engineer training course started and created new challenges. The new PhD students who came to Stipendium Hungaricum to us also gave impetus to certain areas. We intend to introduce these new directions and results with this issue.

Most of the articles are the result of the Scientific Groups of 4th Center for Excellence, the topics of which are the Innovative Vehicle Engineering, Power Engineering and Mechanical Engineering and Technologies. All articles are linked to the institutes of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics.

The described articles mostly were carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 “Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

*Prof. Dr. Károly Jármái
leader of the Center of Excellence,
professional leader of the project*

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

Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

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

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

Publisher: Dr. Igaz Jenő, Managing Director

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

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

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

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

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

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

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

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

The published articles have been reviewed.

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary



**Az ExNB Tanúsító Intézet
és
a Miskolci Egyetem együttműködésével:**

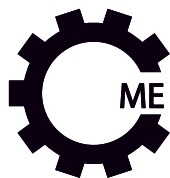


www.dustlab.eu

Kutató- és vizsgáló laboratórium porok,
gázok, gőzök, hibrid keverékek potenciális
robbanási tulajdonságainak vizsgálatára



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC



GEIK.UNI-MISKOLC.HU
GEIK@UNI-MISKOLC.HU

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR **ME-GÉIK**

A Gépészmérnöki és Informatikai Kar országosan elismert, vezető szerepet tölt be a műszaki- és informatikai képzési területen.

A kar kiemelt célja, hogy gyakorlatorientált képzést és versenyképes tudást biztosítson hallgatóinak. Mind a műszaki, mind az informatikai képzéseket magas szakmai színvonal jellemzi.

A kar majd minden alap- és mesterképzési szakján lehetőség van duális képzésben történő részvételre is, melynek nagy előnye, hogy a hallgatók párhuzamosan részesülnek egyetemi oktatásban és tesznek szert komoly szakmai gyakorlatra.

KÖZEL 3000 HALLGATÓ | **TÖBB MINT 90 DUÁLIS PARTNER** | **65 LABORATÓRIUM** | **38 SPECIALIZÁCIÓ** | **12 ALAPSZAK** | **11 INTÉZET** | **7 SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK** | **6 MESTERSZAK** | **2 DOKTORI ISKOLA**

