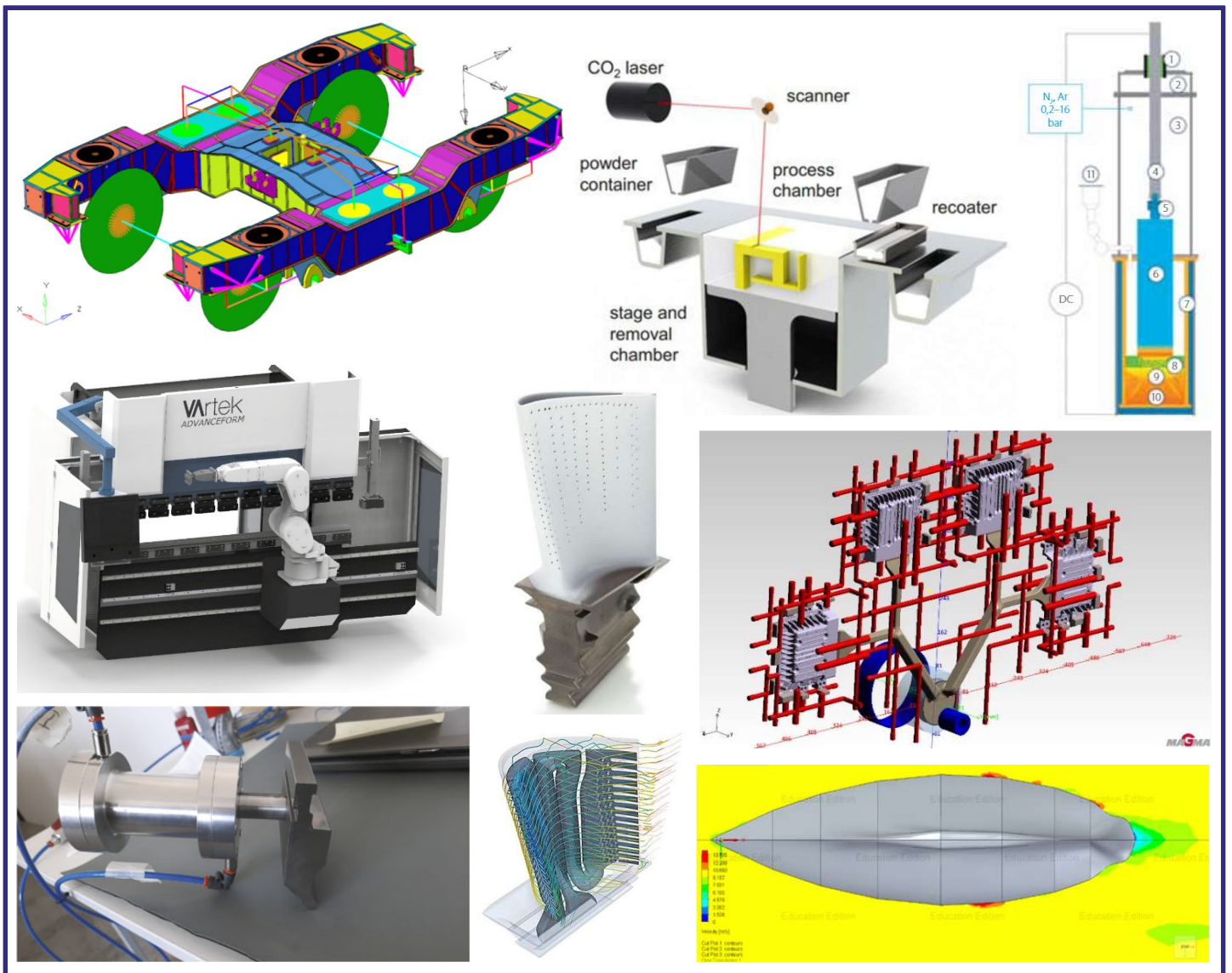


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



Gépipari Tudományos Egyesület

Küldetésünk: elősegíteni és erősíteni a tagok és az egyesület szolgáltatását igénylők műszaki kompetenciáját, szakmai hivatástudatát és elkötelezettségét a gép- és a feldolgozóiparban, a jövő gyártóiparának megfelelően. Kiemelten fontos, hogy a szervezet saját hazai és nemzetközi szakmai tudásbázisára alapozva – egyetemekkel, tudásközpontokkal, kutató-fejlesztő intézetekkel és az üzleti szférával együttműködve – a gazdaság élénkítésének, valamint az ipari átalakulás felgyorsításának katalizátora legyen.

A GTE több mint 70 éves múltja szinte egyedülálló a szakmai szervezetek között. Az Egyesület tagjai és vezetői között tudhatott olyan neves műszaki szakembereket a teljesség igénye nélkül, mint Pattantyús Ábrahám Géza, Terplán Zénó, Gillemot László, Rubik Ernő, Zorkóczy Béla. A GTE 28 különböző szakterülethez kapcsolódó szakosztálya, 12 városi és 7 megyei szervezete fogja össze az ország műszaki társadalmát.

A gépipar területén teljes országos lefedettséggel, műszaki szakértelemmel, kiterjedt vállalati kapcsolatokkal rendelkezünk, és a gyártástechnológia jövőjében európai szinten meghatározó szerepet betöltő ManuFuture Nemzetközi Platform kizárólagos hazai képviselőjét is ellátjuk. 2020 óta a GTE ügyvezetői szinten is képviselteti magát a ManuFuture High Level Group-jában, ami a legfőbb döntéshozó szervezet. Az ország összes, műszaki felsőoktatásában jártas egyetemmel folyamatos a szakmai kapcsolata, mind szakosztályi, mind tagi szinten, akiknek szakértelme és infrastruktúrája mozgósítható szakmai feladatok elvégzése során. A GTE az EIT Manufacturing Hungary Hub társult partnere.

Több, nagy sikerű, esetenként nemzetközi konferencia megszervezésével járul/járult hozzá az információ cseréhez, kapcsolatteremtéshez. Hagyományos, évente megrendezett konferenciáink: Balatoni Anket, Autóbusz Szakértői Tanácskozás, Gépészeti Szakmakultúra Konferencia, Gyártás Konferencia, Géptervezők és Termékfejlesztők Szemináriuma.

2021-ben a GTE a Chemplex Kft. társszervezésében meghirdette az 1. Magyar Ipari Célgép Nagydíj versenyt azzal a céllal, hogy felhívja a figyelmet a célgépek szerepére a termelési folyamatok bármely területén. A felhívásra 74 pályamű érkezett, közülük a 11 fős szakmai zsűri választotta ki a legjobb célgépeket 5 különböző kategóriában. A nagy sikerre való tekintettel 2022-ben is meghirdetjük a versenyt. A rendezvényt 14 szervezet, cég és vállalat támogatta, többek között az Innovációs és Technológiai Minisztérium, a Külgazdasági és Külügyminisztérium, a Knorr-Bremse, a Festo és még sokan.

A GTE struktúraváltáson megy keresztül új vezetéssel. A GTE elnöke, főtájkára és országos szakértői gárdája, akik akadémiai intézeti vagy egyéb, műszaki egyetemeken oktató, kutató szakértők, illetve a szervezet ManuFuture High Level Group-jába delegált közgazdász-szakértő, korábban hazai, átfogó, kiemelt ipar- és gazdaság fejlesztési programok irányítója.

A jövő kihívása elsősorban a digitalizáció, hiszen a digitalizáció és a robotizáció minden iparágat érint, így a gépipart is. Új típusú feladatok jelennek meg, olyanok, amik eddig nem voltak, ezekre fel kell készíteni az embereket. A legnehezebb dolog a szemléletváltás a digitalizációval kapcsolatban. Úgy kell formálni a szakmai szereplők, hallgatók, oktatók tudáséhségét, hogy folyamatosan meg kell újítani a tudásukat, értesülniük kell a technológiai fejlesztésekről. Ebből a feladatból a GTE is kiveszi a részét.

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

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

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Dr. Döbröczeni Ádám

elnök

Vesza József

főszerkesztő

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

főszerkesztő-helyettesek

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czitán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

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 Nagy örömmel számolhatok be, hogy a pandémia ellenére 2021 szeptemberében a Budapesti Műszaki Egyetemen meg tudtuk rendezni a GTE Konstruktív Szakosztály kiemelt eseményét, a VI. Gépészeti Szakmakultúra konferenciát.

Kiemelkedő sikernek könyvelhető el, hogy minden eddigi konferenciánknál több előadó és résztvevő regisztrált, összesen 38 előadást tudott figyelemmel kíséreni a hallgatóság.

A plenáris ülésen először Dr. Bárdos Krisztina, a GTE stratégiai igazgatója vázolta a GTE új irányait, majd több érdekfeszítő előadás hangzott el újdonságnak számító témakörökben: a kiterjesztett valóság és a mesterséges intelligencia alkalmazása a gépészetben. A jövő tudománya már a tervezőasztalon van és mi beszámolhatunk róla!

Az ezt követő párhuzamosan futó üléseken a következő témakörökben halhatunk előadásokat:

- 1A szekció: Értékelemzés
- 1B szekció: Konstruktív és technológia
- 2A szekció: Célgépek
- 2B szekció: Additív gyártás
- 3A szekció: Szimuláció és modellezés
- 3B szekció: Mérés és tesztelés

A GÉP folyóirat ezen kiadása kilenc előadás írásos anyagát tartalmazza.

A sikerre alapozva tervezzük, hogy 2022 szeptemberében a VII. Gépészeti Szakmakultúra Konferenciát ismét megszervezzük.

Köszönetet szeretnék mondani konferenciánk támogatóinak:

- MTA Műszaki Tudományok Osztálya, Gépszerkezettani Tudományos Bizottság
- BME Gépészmérnöki Kar Gép- és Terméktervezés Tanszék
- Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Kft.
- SZTAKI Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

Üdvözlettel a Szervezőbizottság nevében:

Metál Attila

GTE Konstruktív Szakosztály titkára

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: mail@gteportal.eu, internet: www.gteportal.eu

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

Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Bárdos Krisztina ügyvezető igazgató.

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

<i>1. Babicsné Horváth Mária, Bór Dorina, Balla Bianka, Hercegfő Károly: ERGONÓMIAI KOCKÁZATÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEGYŰJTÉSE ÉS RENDSZEREZÉSE</i>	<i>5</i>	<i>6. Oláh Zoltán, Gaják Gellért: NYOMÁSOS ALUMÍNIUM ÖNTÉSI TECHNOLÓGIA FEJLESZTÉSE A SZERSZÁM ÉLETTARTAM NÖVELESÉVEL</i>	<i>31</i>
<i>2. Dr. Borbás Lajos, Temesi Tamás, Dr. Csiszér Tamás: SZERKEZETI ACÉL ÉS SZÁLERŐSÍTETT POLIMER ÖSSZEKÖTÉSE LÉZERSUGARAS TECHNOLÓGIÁVAL</i>	<i>15</i>	<i>7. Pekárik János: ROBOTOS AUTOMATIZÁLT ÉLHAJLÍTÓ CELLA FEJLESZTÉSE A PMT SZERSZÁMGÉP KERESKEDELMI ÉS SZERVIZ KFT-NÉL</i>	<i>35</i>
<i>3. Kimpán Gergő, Dr. Gróza Márton: VASÚTI FORGÓVÁZ VÉGESELEMES SZILÁRDSÁGI ELLENŐRZÉSE ÉS NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEGES VIZSGÁLATA</i>	<i>19</i>	<i>8. Seregi Bálint Leon, Ficzer Péter: ADDITÍV ÉS SZUBTRAKTÍV GYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA SZÁMÍTÁSI MODELLEL</i>	<i>39</i>
<i>4. Lévai Emese, Dr. Ficzer Péter: HAJTÁSLÁNC CSERE HATÁSAINAK VIZSGÁLATA CFD SZIMULÁCIÓK SEGÍTSÉGÉVEL</i>	<i>23</i>	<i>9. Szépligeti András: 3D LÉZERES MEGMUNKÁLÓ GÉP TERVEZÉSE, ÖTLETTŐL A KIVITELEZÉSIG</i>	<i>45</i>
<i>5. Málics Marcell, Dr. Körtélyesi Gábor: ADDITÍV TECHNOLÓGIÁVAL GYÁRTOTT FÉM ALKATRÉSZ TERVEZÉSÉNEK AUTOMATIZÁLÁSA</i>	<i>27</i>		

ERGONÓMIAI KOCKÁZATÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEGYŰJTÉSE ÉS RENDSZEREZÉSE

COLLECTION AND CATEGORISATION OF ERGONOMIC RISK ASSESSMENT METHODS

Babicsné Horváth Mária babicsne.horvath.maria@gtk.bme.hu, Bór Dorina, Balla Bianka, Hercegfői Károly

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ergonómiai kockázatértékelés és a munkavállalók védelme sokkal fontosabbak napjainkban, mint valaha. Több gyűjtés és összefoglalás is megtalálható a szakirodalomban az ergonómiai kockázatértékelési módszerekről, azonban ezek többsége nem teljeskörű vagy területre specializálódott. Jelen munkánkban az ergonómiai kockázatértékelési módszerek felkutatására és azok rendszerezésére, kategorizálására fókuszáltunk.

ABSTRACT

Ergonomic risk assessment and worker protection are more important today than ever before. Several collections and summaries of ergonomic risk assessment methods can be found in the literature, but most of these are not comprehensive or field-specific. In the present work, we have focused on the search for ergonomic risk assessment methods and their systematisation and categorisation.

1. BEVEZETÉS

Az ergonómiai kockázatértékelés manapság elengedhetetlen a magyar vállalatok számára, hiszen a Munkavédelmi törvény írja elő, azaz kötelező jelleggel kell teljesíteniük a cégeknek. Napjainkban a sok munkahelyi intézkedés és az egyre finomodó szabályozás ellenére még mindig történik több munkahelyi sérülés. Azt gondolhatnánk, hogy az OECD (Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) országokban már nem léteznek nagyon veszélyes munkahelyek az ipari forradalom és a digitalizáció miatt, de sokan dolgoznak veszélyes munkakörben, vagy veszélyesnek nem tűnő munkakörben, ami valójában sok veszélyt hordozhat. Ezeknek gyakran hosszú

távú hatásai vannak, pl. hátfájás, ízületi gyulladás, sérv stb.

Fontos, hogy feltárjuk és elkerüljük ezeket a sérüléseket. Nyilvánvaló, hogy a munkavállalók szeretnék megőrizni jó egészségi állapotukat, de a munkáltatónak is érdeke fűződik ehhez. A fejlett országokban a munkáltatónak kártérítést és betegszabadságot kell fizetnie baleset vagy megbetegedés esetén, aminek csak egy részét vállalja át a biztosító. Másrészt a kiesett dolgozó pótlása mindenképpen többletköltséggel jár (új dolgozó betanítása vagy régi dolgozó túlórája, esetleges időkiesés stb.). Továbbá a kockázat következtében létrejövő baleset vagy megbetegedés megtörténte előtti fázisban gyakran teljesítménycsökkenés és/vagy a munkavállalók elégedettségének csökkenése figyelhető meg (pl. a kellemtelenségérzet következtében), így az ergonómiai kockázatok csökkentését célzó módszerek alkalmazása a balesetekből és betegségekkel adódó károkon túli előnyökkel is jár.

Ergonómiai kockázat esetén annak a valószínűségéről beszélünk, hogy az Ember – Gép – Környezet rendszer valamelyik tényleges eleme a gép és a felhasználó interakciója során sérül meg. Az ergonómiai kockázat értékelése során pedig ennek a kockázatnak az értékét kapjuk meg valamilyen módszer segítségével. Elsősorban a munkavállaló testtartását, mozdulatait és erőfeszítését vesszük figyelembe, és ezek alapján határozható meg egy kockázati szint, általában a potenciális vázizomrendszeri megbetegedésekhez köthetően.

Mindezek alapján látható, hogy az ergonómiai kockázatértékelési módszerek nagyon fontosak. Nehéz azonban egy adott munkakörhöz vagy környezethez megfelelő módszert találni, és nagy gyakorlatra vagy sok kutatásra van szükség ahhoz, hogy megértsük a módszerek

közötti különbségeket. Ezzel a tanulmánnyal ebben szeretnénk segíteni, áttekintést nyújtva a megfigyelésen alapuló módszerekről. Azért választottuk a megfigyelésen alapuló módszereket, mert kis eszközigényűek. Igyekszünk bemutatni azokat a módszereket, amelyek széles körben elérhetőek és könnyen megvalósíthatók, ugyanakkor objektív eredményt nyújtanak.

Mivel az ipari munkahelyeken a balesetek gyakoribbak és súlyosabbak, mint az irodai munkáknál, és az ipari munkafolyamatok változatosabb mozgásokat és pozíciókat, munkakörnyezetet és eszközöket igényelnek, az értékelési módszerek is túlnyomórészt az ipari munkahelyek értékelésére összpontosítanak.

A szakirodalomban több cikk található az ergonómiai kockázatértékelési módszerek összehasonlítása témakörben. Legtöbbjük egy adott ipari munkafolyamat példáján keresztül tette ezt (pl. erdészeti faiskola [1][2], bútorgyártás [3], raktározás [4], autóipar, gyógyszeripar [5], építőipar [6] stb.). Ez nagyon hasznos, ha a munkafolyamat jellegzetes mozdulatokat tartalmaz, azonban a módszerek alkalmazhatósága korlátozott.

A terüleetspecifikus cikkek mellett néhány cikk általánosabb módszereket is bemutatnak, például a papír-ceruza módszereket [7], vagy tágabb értelemben véve mind az önbevalláson alapuló, mind a megfigyelésen alapuló, mind a közvetlen mérésen alapuló módszerek általános áttekintését és leírását. [8]

Áttekintésünkben 40 megfigyelésen alapuló ergonómiai kockázatelemzési módszerről adunk képet. Ezt nem terüleetspecifikusan és nem konkrét munkafolyamatokra tesszük, hanem osztályozzuk, hogy melyik módszer melyik testrészt, milyen terhelést, erő kifejtést, emelést stb. vesz figyelembe. Így egy vállalatban belül több különböző munkafolyamatra is kiválaszthatjuk a legmegfelelőbb értékelési módszereket.

2. MÓDSZER

A kockázatértékelési módszerek keresésére tíz hetet fordítottunk. A keresés elsősorban a Web of Science, Scopus, Google Scholar, Research Gate, PubMed, Taylor & Francis Online és SpringerLink oldalakon keresztül történt.

A felvételi kritériumok a következők voltak: a cikkeknek angol nyelvűnek kellett lenniük, és megfigyelésen alapuló ergonómiai kockázatértékelési módszereket kellett bemutatniuk. A találatok maximalizálása

érdekében különböző kulcsszavakat alkalmaztunk, pl.: ergonomic risk analysis, ergonomic risk assessment, ergonomic assessment, ergonomic evaluation methods.

A keresési fázis után összehasonlítottuk a talált módszereket, és kizártuk a duplikátumokat, majd felosztottuk a talált 59 különböző módszert. A következő hónapokban összegyűjtöttük az információkat ezekről a módszerekről. Ez további kutatást igényelt a módszerekkel kapcsolatban, ezért több forrást használtunk fel ezek bemutatásakor.

A következő szempontokra összpontosítottunk:

- Rövidítés jelentése
- Kidolgozás helye, ideje
- Alkalmazás helye
- Alkalmazási terület
- Használati körülményei
- Főbb jellemzők
- Bemenetek
- Kimenetek
- Használat módja, lépései
- Figyelembe vett testtartások/testrészek
- A módszer korlátai
- Szabványt vagy egyéb módszert felhasznál

Végül az összegyűjtött adatok alapján a módszereket különböző szempontok mentén kategorizálni lehetett.

3. EREDMÉNYEK

Metaanalízisünk eredményei tartalmazzák az ergonómiai kockázatértékelési módszerek kategorizálását, előzetesen feldolgozott listáját, valamint az ergonómiai kockázatértékelés taxonómiai helyzetének szakmai kidolgozását.

3.1. Az összegyűjtött módszerek történeti sorrendje

Az összegyűjtött módszerek keletkezési adatait tekintve az 1. táblázatban szereplő módszerek közül az elsők (OWAS [9], WISHA) az 1970-es években születtek az USA-ban és Finnországban. [9][10] A publikálási évtizedek szerinti bemutatás csalóka: a vizsgált adatbázisok az '50-es, '60-as, '70-es évekből jóval kevesebb publikációt tartalmaznak, mint a későbbi évtizedekből; másrészt az ergonómia tudomány és szakma, így egyes módszereknél a keletkezés és az ipari felhasználás jóval megelőzhetette a tudományos alaposságú bemutatást és validálást.

1. táblázat. A gyűjtött módszerek száma publikálási évtizedenként szerint

Évtized	Módszerek száma	Országok
1970-1979	2	Finnország, USA
1980-1989	2	Finnország, USA
1990-1999	15	USA, Egyesült Királyság, Svédország, Olaszország, Németország
2000-2009	11	USA, Egyesült Királyság, Dél-Korea, Németország
2010 óta	13	Spanyolország, Svédország, Olaszország, Kanada, Magyarország, Egyesült Királyság, USA, Hollandia

A fejlettebb országokban az '50-es években kezdett széles körben elterjedni az ergonómia, majd a '90-es években volt egyfajta reneszánsza. Beépült a tudományba, az innovációs folyamatokba és a fogyasztói társadalomba. [11] Így nem csoda, hogy a legtöbb általunk talált publikáció ebben az utóbbi időszakban született, főként az USA-ban (Snook táblázatok [12], RMFA [13], BRIEF [14], a Keyserlings-féle Halmazódó Sérülések Ellenőrzőlistájának kéz-alkar része [15], JSI [16], RSI, PATH [17]), az Egyesült Királyságban (RULA [18], QEC [19], PLIBEL [20]), Németországban (KIM I. (KIM-LHC), KIM II. (KIM-PP) és Olaszországban (OCRA [21], MAPO [22]).

Még a 2000-es években is az USA dominált az új módszerek létrehozásában (ACGIH TLV/HAL [23], OHIO BWC emelési irányelvek [24], ULA-UC & LBA-UC [25], a Deréktáji Nyomóerő Modell [26], TDA[27]), de az Egyesült Királyság (REBA [28], MAC [29], Kéz-Kar Rezgésszámítás [30]), Németország (KIM III. (KIM MHO) [31]) is hozzájárult, és Dél-Korea (USA együttműködés a LUBA-val [32]) is új módszert hozott létre.

A 2010 óta eltelt években azonban számos módszert fejlesztettek ki az eddig is domináns USA-n (Utah-i Vállmozgás-becslés [33], OHIO BWC tolás-húzás irányelvek [34], Washington állam-beli Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlista [35]) és az Egyesült Királyságon (RAPP [36], ART [37]) kívül is, mint például Koreában (AWBA [38]), Olaszországban (Járműipari Testhelyzet-értékelés, PRASAD [39]), Magyarországon (CERA [40], CERA Office [41]), Spanyolországban (NERPA [42]), Kanadában (ROSA [43]), Svédországban (RAMP [44]) és Hollandiában (HARM [23]).

2. táblázat. A gyűjtött módszerek száma országonként: (az amerikai-koreai koprodukción mindkét helyen beleszámítva)

Ország	Módszerek száma
USA	18
Egyesült Királyság	8
Olaszország	4
Németország	3
Svédország	2
Finnország	2
Dél-Korea	2
Magyarország	2
Hollandia	1
Spanyolország	1
Kanada	1

A 2. táblázatban összefoglaltuk a módszerek számát országokra lebontva. Látható, hogy a talált módszerek közül a legtöbbet az Egyesült Államokban (vagy ottani közreműködéssel) fejlesztették ki és publikálták, amit követ az Egyesült Királyság és Olaszország. Fontos megjegyezni, hogy keresésünk során angol nyelvű forrásokból dolgoztunk, ezért érthető, hogy az angol nyelvterületek kerültek itt is előtérbe.

3.2. Az ergonómiai kockázatértékelés fő kategorizálása

Tanulmányunk eredményeként a vizsgált, megfigyelésen alapuló kockázatértékelési módszereket négy fő kategóriába soroltuk, nevezetesen az általános módszerek, az emelési módszerek, a tolás-húzással foglalkozó módszerek és a speciális módszerek közé.

A legtágabb kategória az általános módszerek, ahova 27 módszer tartozik. Ezek a módszerek általában áttekintést adnak a megfigyelt feladatokban és munkafolyamatokban jelen lévő többféle ergonómiai kockázatról. Az általános módszerek kategóriába tartozó módszerek a következők: Washington állam-beli Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlista, REBA, RULA, JSI, OWAS, CERA, ART, QEC, NERPA, RSI, az ACGIH TLV/HAL, OCRA, Utah -i Vállmozgás-becslés, RMFA, ULA-UC és LBA-UC, HARM, a Keyserlings-féle Halmazódó Sérülések Ellenőrzőlistája, KIM-MHO, LUBA, PATH, BRIEF és a Járműipari Testhelyzet-értékelés.

A következő kategóriák mélyebbre fűrő módszereket tartalmaznak, amelyek az általános módszerekkel ellentétben az ergonómiai kockázatértékelés egy adott szempontjára összpontosítanak. A második és harmadik

kategória, nevezetesen az emelési és a tolás-húzásműveletekkel foglalkozó módszerek olyan módszereket tartalmaznak, amelyek a kézi anyagmozgatási feladatokra összpontosítanak. Nyolc módszer az emelési módszerekre összpontosít, nevezetesen a MAC, a NIOSH RLE, az OHIO BWC emelési irányelvek, a RAMP megfelelő kérdéscsoportja, a WISHA Emelészámítás, a Liberty MMMH táblázatok megfelelő szakaszai, a Deréktáji Nyomóerő Modell és a KIM-LHC. Mindegyik módszer más-más megközelítést alkalmaz az emelési munkafolyamatok értékelésére. A tolás-húzással foglalkozó módszerek kategóriájába hat módszert soroltunk, nevezetesen a RAMP kérdéseinek megfelelő részalmazát, a Liberty MMMH táblázatok tolás-húzás táblázatait, a RAPP módszert, az OHIO BWC tolás-húzás irányelveket, a Utah-i Vállmozgás-becslés) módszert és a KIM-PP módszert. A teheremelés és tolás-húzás műveletekkel foglalkozó módszerekkel kapcsolatos részleteket a kézi tehermozgatással kapcsolatos kockázatértékelési módszerekről szóló alfejezetben tárgyaljuk.

Az utolsó fő kategória, amelyet azonosítottunk, a specifikus módszerek. Eznégymódszert, az AWBA, a ROSA, a MAPO és a Kéz-Kar Rezgésszámítás módszert tartalmazza. Olyan módszereket soroltunk ebbe a kategóriába, amelyek vagy egy adott területen értékelik a munkafolyamatokat, mint a mezőgazdasági munkafolyamatokat az AWBA esetében, a számítógépes munkahelyeknél a ROSA esetében, kórházi munkánál a MAPO esetében, vagy az ergonómiai kockázatok egy speciális típusát vizsgálják, például a rezgésnek való kitettség kockázatát a Kéz-Kar Rezgésszámítás esetében.

3.3. Általános kockázatértékelési módszerek

Az általános módszerek kategóriája a legnagyobb és legvegyesebb az összes közül. A kategóriába tartozó módszerek célja az ergonómiai kockázatok átfogó, általános értékelése különböző kontextusokban. A munkahelyek és folyamatok e kezdeti, szűrő jellegű értékelése az egyes testrészek mozgásához és megterheléséhez kapcsolódó ergonómiai kockázatokat értékelik. A következő táblázatban bemutatunk egy keretrendszert, és ez alapján elemezzük az általunk kiválasztott általános módszereket. A keretrendszer a felső és alsó testrészek megkülönböztetésére épül. Ezeket az

alkategóriákat aztán tovább részletezzük a mozgó testrészek alapján, ízületek szerint csoportosítva, mint például a felkar és az alkar (könyöknél felosztva) vagy a törzs és a láb (csípőnél felosztva). Az adott ízületeket akkor vesszük figyelembe, ha az egyes mozgások ergonómiai kockázat szempontjából jelentősek. A 3. táblázat a vizsgált módszerek keretrendszer szerinti besorolását mutatja. Az értékelt általános módszerek többsége nagyon átfogó és az egész testet figyelembe veszi (REBA, RULA, CERA, NERPA, RSI, RMFA, PATH, BRIEF és a Járműipari Testhelyzet-értékelés).

3. táblázat Általános kockázatértékelési módszerek által vizsgált testtájak összevetése

Módszer	Felsőtest						Alsótest			
	Nyak/fej	Váll	Felkar	Alkar	Kéz/csuikló	Ujjak	Törzs/hát	Csípő	Láb	Lábfej
REBA	x	x	x	x	x		x		x	
RULA	x	x	x	x	x		x		x	
JSI				x	x					
OWAS			x				x		x	
CERA	x		x	x			x		x	
ART	x		x		x	x	x			
Washington állam Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlista	x	x	x	x	x					
QEC	x		x	x	x		x			
NERPA	x	x	x	x	x		x		x	
OCRA			x	x	x					
ACGIH TLV/HAL					x					
Utah-i Vállmozgás- becslés			x	x						
RSI	x		x	x		x	x		x	
RMFA	x	x	x	x	x	x	x		x	x
ULA-UC & LBA- UC	x	x	x	x	x		x		x	
HARM			x	x	x					
KC				x	x	x				
LUBA	x		x	x	x		x			
PATH	x		x	x			x		x	
BRIEF	x	x	x	x	x	x	x		x	
Járműipari Testhelyzet- értékelés	x		x	x	x		x	x	x	

Ezen túlmenően a felső és alsó test értékelésének megkülönböztetése néhány általános módszer szerkezetében is megjelenik (ULA-UC és LBA-UC). Érdekes módon a

kiválasztott módszerekben jelen volt a kizárólag a felsőtest értékelése (ART, QEC, LUBA), de egyik sem értékelte kizárólag az alsótestet.

Vannak olyan általános módszerek is a gyűjtésünkben, amelyek kifejezetten egy testtájakra összpontosítottak, mint például a JSI, az OCRA, az ACGIH TLV/HAL, a HARM, a Utah-i Vállmozgás-becslés és a Keyserlings-féle Halmazódó Sérülések Ellenőrzőlistája, amelyek a felső végtagok értékelésére koncentrálnak. A talált módszerek között a legtöbb a felső végtagokra fókuszál, ami azzal is magyarázható, hogy a munkafolyamatok többségéhez a felsőtest használata szükséges.

Fontos megjegyezni, hogy nem minden módszer illik a fent említett kategóriákba. Egyes általános módszerek csak érintőlegesen tartalmaznak testrészeket, ami megnehezíti a besorolásukat (OWAS, Washington állam Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlistája, KIM III.). Egy másik megjegyzésünk, hogy a módszerek leírásában az ízület és a testrészfogalmakat felváltva használják, ami megnehezíti az összehasonlításukat.

Összességében elmondható erről a kategóriáról, hogy minél több testrészt vesz figyelembe az adott módszer, annál általánosabb képet kapunk a munkafolyamat kockázatáról. Azok a módszerek, amik csak néhány testrészt fókuszálnak, az adott testrésztől sokkal részletesebb kockázati eredményt adnak.

3.4. Kézi tehermozgatással kapcsolatos kockázatértékelési módszerek

Az emelés, leengedés, cipelés és tolás-húzás ergonómiai kockázatértékelésének különböző típusai különböző módon csoportosíthatók. Az egyik legnagyobb különbség az általános kockázatértékelések és a kézi tehermozgatások kockázatértékelései között a fókuszban van: az utóbbiak nem foglalják magába a testrészek részletes mozgásának és a testtartások értékelését. Ezért az összehasonlító bemutatásukhoz két további táblázatra van szükség. Az egyik az emelés, leengedés és cipelés műveletek kockázatértékelési módszereihez (4. táblázat), a másik pedig a tolás-húzás műveletek módszereihez (5. táblázat). A táblázatokban észrevehető duplikációk az adott módszerek külön-külön részei miatt fordulnak elő, például az Ohio BWC vagy a Snook táblázatok módszerek esetében külön modul létezik a teheremelésre és a tolás-húzás műveletekre is.

A 4. táblázatban láthatjuk, hogy az összes felsorolt értékelés tartalmazza az emelendő teher tömege és a függőleges emelési zónák szempontjait. E két szempont elengedhetetlen a kockázatértékeléshez, azonban több módszer is figyelembe veszi a vízszintes emelési zónákat és a teheremelés gyakoriságát is. A további szempontok kisebb számban jelennek meg. A legtöbb szempontot figyelembe vevő módszerek a RAMP és a KIM I., amiket követ a NIOSH, a WISHA, majd a Snook táblázatok és a MAC.

4. táblázat. Teheremelésre vonatkozó kockázatértékelési módszerek által figyelembe vett szempontok összevetése

Módszer	Tömeg	Megfogás minősége	Vízszintes emelési zónák	Függőleges emelési zónák	Környezeti tényezők	Emelés gyakorisága	Emelés időtartama	Több emberes emelés	Egykezes emelés	Kétkézes emelés	Csavarás (törzs)	Emelő neme
MAC	x	x	x	x	x							
NIOSH=RL E	x	x	x	x		x	x					
Washington állam Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlistája	x			x		x						
OHIO BWC emelési irányelvek	x		x	x		x			x	x		
QEC	x			x		x						
RAMP	x	x	x	x	x	x		x	x	x		
WISHA Emelésszámítás	x		x	x		x	x				x	
Snook táblázatok	x		x	x		x						x
Deréktáji Nyomóerő Modell	x		x	x							x	
KIM I. (KIM-LHC)	x		x	x	x	x	x				x	x

A 4. és 5. táblázat összevetéséből megállapítható, hogy egyes teheremelési vizsgáló módszerek előfordulnak tolás-húzással foglalkozó része, de a legtöbb módszer vagy teheremeléssel, vagy tolás-húzás műveletekkel foglalkozik. A 4. táblázattal ellentétben az 5. táblázatban a teher tömegén kívül látható olyan szempont, amit kiemelkedően sok módszer vesz figyelembe. Ez azzal is magyarázható, hogy a

módszerek különböző elvek szerint működnek. Vannak olyan módszerek, mint például az OHIO BWC tolás-húzás irányelvek vagy a Snook táblázatok, amik a munkavállaló magasságát is figyelembe veszik, megállapítva, hogy az adott testmagasság a populáció hány mely percentilisének. Emellett vannak egyszerűbb módszerek, mint a RAPP, ahol a testmagasság nem jelenik meg, azonban a környezeti tényezők és a megtett távolság igen. A legtöbb szempontot figyelembevevő módszer a RAMP és az OHIO BWC húzás-tolás irányelvek.

5. táblázat. Tolás-húzás műveletekrevonatkozó kockázatértékelési módszerek által figyelembe vett szempontok összevetése

Módszer	Kezdeti erőfejlesztés (N)	Folyamatos erőfejlesztés (N)	Megfogás minősége	Teher tömege	Környezeti tényezők	Gyakoriság	Időtartam/Távolság	Több emeres tolás/húzás	Egykezes tolás-húzás	Kétkeszes tolás-húzás	Kéz magassága
RAMP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Snook tables	x	x		x		x					x
RAPP	x		x	x	x		x				
OHIO BWC push-pull guidelines		x	x	x					x	x	x
KIM II. (KIM-PP)				x	x	x	x				

Összességében – hasonlóan, mint ahogy az általános módszereknél megállapítottuk, hogy minél több testrészt vesz figyelembe, annál általánosabb képet adnak – a tolás-húzás műveletekre és a teheremelésre koncentrázó módszerek részletessége a minél több szempont figyelembevételében rejlik.

3.5. Specifikus módszerek

Keretrendszerünkben négy módszert soroltunk a specifikus módszerek közé. Az AWBA, a ROSA és a MAPO az alkalmazási területükre vonatkozó sajátosságaik, valamint a környezeti szempontok hangsúlyos jelenléte miatt tartoznak ide. Az AWBA módszert a mezőgazdasági testtartás értékelésére

fejlesztették ki, a ROSA pedig az irodai munkahelyeket értékeli. A MAPO egy kifejezetten kórházi kockázatértékelésre kifejlesztett módszer, ezért speciális szabványokra épül, és így a kifejezetten kórházakban zajló egészségügyi ellátásra jellemző helyzeteket is magában foglalja. A Kéz-Kar Rezgésszámítást egy másik okból minősítettük különlegesnek. Olyan feladatokat értékel, amelyeknél a rezgések kifejezetten negatív egészségügyi hatással lehetnek a munkavállalókra.

3.6. Alkalmazási terület

A téma korábbi metaanalíziseiben az ergonómiai kockázatértékelési módszerek alkalmazási területének meghatározása többféleképpen történt. Tanulmányunkban mi is ilyen típusú adatokat kutattunk, azonban számos nehézséget és ellentmondást azonosítottunk, amiket érdekes lenne tovább vizsgálni. Először is öt területet azonosítottunk: ipari, mezőgazdasági, irodai (elsősorban számítógép képernyője előtt), orvosi és egyéb. Sok publikációban azonban az ajánlott alkalmazási terület vagy hiányzott, vagy csak általánosan volt megfogalmazva (pl. fizikai munka). Azt is tapasztaljuk, hogy ennek a pontosításnak a hiánya veszélyes és zavaró lehet, mivel az egyes területeken jelentősen eltérő szabványok és előírások érvényesek. Következésképpen úgy véljük, hogy az ajánlott alkalmazási terület feltüntetésének a jövőben mindenképpen hozzá kellene járulnia az ergonómiai kockázatértékelési módszerek fejlesztéséhez, és a már létező módszereket is újra kellene értékelni ebből a szempontból. Amennyiben a módszer több helyen is alkalmazható, úgy erről is lehet tájékoztatást adni.

3.7. A kockázatértékelési módszerek eredményének típusai

Az ergonómiai kockázatértékelési módszerek leggyakoribb kimeneti értéke a pontozásos és/vagy szín-alapú kategorizálás. Ezek mindegyikéhez a kategória magyarázatát adják meg, jellemzően a kockázat szintjének (alacsony, közepes, magas) besorolásával, vagy esetleg az intézkedés szintjének (pl. nem szükséges intézkedés, szükséges intézkedés, azonnali intézkedés szükséges) megadásával. A kategóriák száma módszerenként változik. Ahol csak pontszámok szerepelnek, ott a kategóriák száma kettő (ROSA), három (WISHA)

Emelésszámítás, BRIEF), négy (RULA, OWAS), vagy öt (REBA). A pontszámok az egyes módszerek esetében 1 és 15 között vannak. A színskálák esetében a leggyakoribb a három kategória (zöld, sárga, piros), beleértve a CERA, ART, OHIO BWC emelési irányelvek, RAMP, ACGIH TLV/HAL, OHIO BWC toláshúzás irányelvek, Járműipari Testhelyzet-értékelés. De van, ahol négy kategória jelenik meg (zöld, sárga, narancssárga és piros vagy zöld, sárga, piros és sötétvörös vagy lila), mint a MAC, AWBA, és RMFA esetében, vagy öt (fehér, halványsárga, sárga, narancssárga, sötétvörös) a QEC esetében. Ahol vannak pontszám-kategóriák és színosztályozások is, ott hasonló osztályozással és hozzárendelt színekkel dolgoznak. Az RSI és a HARM esetében három kategória, a KIM I-III. esetében négy kategória, az OCRA esetében pedig öt kategória létezik.

Egyes kategóriákhoz nem tartozik szín, de van külön elnevezésük, mint például a Keyserlings-féle Halmozódó Sérülések Ellenőrzőlistája (nullás, pipa és csillag kategóriák) és a LUBA (I-IV. kategória).

Vannak azonban teljesen különböző kimenettípusok is, pl. az adott helyzetben és körülmények között felemelhető terhelés maximális értéke (NIOSH), vagy az adott tevékenységet elvégezni képes férfiak és nők jellemző százalékos arányának meghatározása (Snook táblázatok). És vannak olyanok is, amelyek egyszerűen azt határozzák meg, hogy a vizsgált munkafolyamatban van-e veszélyes tevékenység vagy nincs (Washington állam Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlistája).

Fontos még megemlíteni, hogy az általános módszerek esetében gyakrabban figyelhető meg az összesítés, míg a kézi anyagmozgatással foglalkozó módszereknél a végső pontszám általában csak egyfajta rangsorolást ad, hogy melyik munkafolyamatot szükséges hamarabb áttervezni.

3.8. A kutatás korlátai

A tanulmányunkban bemutatott kutatás korlátai közé sorolható, hogy bár hosszasan, több kulcsszó-variáció használatával kerestük a módszereket, nem mondható ki, hogy az összes módszert megtaláltuk, így azok rendszerezése sem lehet teljeskörű. Szakértőként úgy látjuk, hogy a kategóriák meghatározásának nagyon sok lehetséges módja van. A kulcsszavakból

eredően több képernyős munkahelyre alkalmazható módszer nem került előtérbe, valószínűsíthetően azért, mert ott főként a környezeti tényezők kerülnek előtérbe. A módszerek jelen kategorizálása mellett fontos lehet a részletesség elemzése is, amit mi csak részben említettünk. Például a testtájak alapján összevetett módszereknél nem mindegy, hogy a törzs terhelésének meghatározása kettő vagy négy fokú skálán történik.

4. KONKLÚZIÓ

Összességében a kutatás sikeresnek tekinthető, mert számos módszert gyűjtöttünk össze több szempontból rendszereztük azokat.

A terület azonban sok helyen elágazik, ezért nagy szakmai összefogásra lesz szükség, hogy átfogó iránymutatást lehessen adni. A módszerek azon belül, hogy megfigyelés-alapúak, különböző szerkezetűek. A gyakran előforduló cselekvéselemzés mellett a módszerekben előfordulnak kérdőív-elemek is (pl. Washington állam Elővigyázatossági és Veszélyességi Ellenőrzőlistája, QEC). A különbözőségek miatt nehezen összehasonlíthatók. A kutatást tehát érdemes tovább folytatni.

Határozottan úgy véljük, hogy az ergonómiai kockázatértékelési módszerek tudományos alaposságú taxonómiájának létrehozása jelentős segítséget jelentene az iparnak.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Új Nemzeti Kiválóság Program kutatói ösztöndíj keretében valósult meg az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával.

6. IRODALOM

- [1] S. Unver-Okan, H. H. Acar, and A. Kaya, "Determination of work postures with different ergonomic risk assessment methods in forest nurseries," *Fresenius Environ. Bull.*, vol. 26, no. 12, pp. 7362–7371, 2017.
- [2] M. ève Chiasson, D. Imbeau, K. Aubry, and A. Delisle, "Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 42, no. 5, pp. 478–488, 2012, doi: 10.1016/j.ergon.2012.07.003.
- [3] H. Amjad, C. Keith, M. Russell, and S. Steve, "Using Ergonomic Risk

- Assessment Methods for Designing Inclusive Work Practices: A Case Study,” *Hum. Factors Ergon. Manuf.*, vol. 16, no. 1, pp. 337–355, 2006, doi: 10.1002/hfm.
- [4] T. R. Waters, V. Putz-Anderson, and S. Baron, “Methods for assessing the physical demands of manual lifting: A review and case study from warehousing,” *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 59, no. 12, pp. 871–881, 1998, doi: 10.1080/15428119891011045.
- [5] S. Mishra, S. Kannan, C. Manager, A. Statistics, R. Comments, and E. Alert, “Comparing the Effectiveness of Three Ergonomic Risk Assessment Methods—RULA, LUBA, and NERPA—to Predict the Upper Extremity Musculoskeletal Disorders,” *Indian J. Occup. Int. Med.*, vol. 23, no. 1, pp. 8–13, 2019, doi: 10.4103/ijoem.IJOEM.
- [6] N. Inyang, M. Al-Hussein, M. El-Rich, and S. Al-Jibouri, “Ergonomic Analysis and the Need for Its Integration for Planning and Assessing Construction Tasks,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 12, pp. 1370–1376, 2012, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000556.
- [7] M. Nasrull Abdol Rahman and N. Syafiq Abd Razak, “Review on Pen and Paper Based Observational Methods for Assessing Work-related Upper Limb Disorders,” *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. S1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.17485/ijst/2016/v9is1/106822.
- [8] W. J. A. Grooten and E. Johansson, “Observational Methods for Assessing Ergonomic Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders. A Scoping Review,” *Rev. Ciencias la Salud*, vol. 16, no. SPE, p. 8, 2018, [Online]. Available: <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/revsalud/article/view/6840>.
- [9] O. Karhu, P. Kansil, and I. Kuorinka, “Correcting working postures in industry: A practical method for analysis,” *Appl. Ergon.*, vol. 8, no. 4, pp. 199–201, 1977, doi: 10.1016/0003-6870(77)90164-8.
- [10] J. Date, N. Analyst, L. Back, and K. Note, “Washington State WISHA Screening Tool (Modified),” pp. 1–7.
- [11] K. Hercegfı and L. Izsó, *Ergonomía*. 2010.
- [12] V. M. Ciriello and S. H. Snook, “A study of size, distance, height, and frequency effects on manual handling tasks,” *Hum. Factors*, vol. 25, no. 5, 1983, doi: 10.1177/001872088302500502.
- [13] S. H. Rodgers, “Rodgers Muscle Fatigue Analysis,” *Consultant*, vol. 7, no. 1992, pp. 5–7, 2006.
- [14] Humantech Inc, “Applied Ergonomic Training Manual,” *South Padre Island, Texas*, 1993.
- [15] W. M. Keyserling, D. S. Stetson, B. A. Silverstein, and M. L. Brouwer, “A checklist for evaluating ergonomic risk factors associated with upper extremity cumulative trauma disorders,” *Ergonomics*, vol. 36, no. 7, pp. 807–831, 1993, doi: 10.1080/00140139308967945.
- [16] J. S. Moore and A. Garg, “The Strain Index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders,” *Am Ind Hyg Assoc J*, 1995, doi: 10.1080/15428119591016863.
- [17] B. Buchholz, V. Paquet, L. Punnett, D. Lee, and S. Moir, “PATH: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work,” *Appl. Ergon.*, vol. 27, no. 3, pp. 177–187, 1996, doi: 10.1016/0003-6870(95)00078-X.
- [18] L. McAtamney and E. Nigel Corlett, “RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders,” *Appl. Ergon.*, 1993, doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-S.
- [19] G. Li and P. Buckle, “Practical method for the assessment of work-related musculoskeletal risks - Quick Exposure Check (QEC),” *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 2, pp. 1351–1355, 1998, doi: 10.1177/154193129804201905.
- [20] K. Kemmlert, “A method assigned for the identification of ergonomic hazards - PLIBEL,” *Appl. Ergon.*, vol. 26, no. 3, pp. 199–211, 1995, doi: 10.1016/0003-6870(95)00022-5.
- [21] M. Savino, A. Mazza, and D. Battini, “New easy to use postural assessment method through visual management,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 53, pp. 48–58, 2016, doi: 10.1016/j.ergon.2015.09.014.
- [22] N. Battevi, O. Menoni, M. G. Ricci, and

- S. Cairoli, "MAPO index for risk assessment of patient manual handling in hospital wards: A validation study," *Ergonomics*, vol. 49, no. 7, pp. 671–687, 2006, doi: 10.1080/00140130600581041.
- [23] A. Garg *et al.*, "The Strain Index (SI) and Threshold Limit Value (TLV) for Hand Activity Level (HAL): Risk of carpal tunnel syndrome (CTS) in a prospective cohort," *Ergonomics*, vol. 55, no. 4, pp. 396–414, 2012, doi: 10.1080/00140139.2011.644328.
- [24] I. Wireman, "The process of identifying and implementing ergonomic controls in the packaging of motors," in *Advances in Human Factors, Ergonomics, and Safety in Manufacturing and Service Industries*, 2010.
- [25] I. L. Janowitz *et al.*, "Measuring the physical demands of work in hospital settings: Design and implementation of an ergonomics assessment," *Appl. Ergon.*, vol. 37, no. 5, pp. 641–658, 2006, doi: 10.1016/j.apergo.2005.08.004.
- [26] A. S. Merryweather, M. C. Loertscher, and D. S. Bloswick, "A revised back compressive force estimation model for ergonomic evaluation of lifting tasks," *Work*, vol. 34, no. 3, pp. 263–272, 2009, doi: 10.3233/WOR-2009-0924.
- [27] P. Mitropoulos and M. Namboodiri, "The task demands assessment methodology," *Proc. Inst. Civ. Eng. Manag. Procure. Law*, vol. 164, no. 1, pp. 9–17, 2011, doi: 10.1680/mpal900087.
- [28] S. Hignett and L. McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *Applied Ergonomics*. 2000, doi: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.
- [29] P. T. McCabe, "DEVELOPMENT OF MANUAL HANDLING ASSESSMENT CHARTS (MAC) FOR HEALTH AND SAFETY INSPECTORS," in *Contemporary Ergonomics 2003*, 2020.
- [30] M. Douwes and H. de Kraker, "Development of a non-expert risk assessment method for hand-arm related tasks (HARM)," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 44, no. 2, pp. 316–327, 2014, doi: 10.1016/j.ergon.2013.09.002.
- [31] A. Klußmann, H. Gebhardt, M. Rieger, F. Liebers, and U. Steinberg, "Evaluation of objectivity, reliability and criterion validity of the Key Indicator Method for Manual Handling Operations (KIM-MHO), draft 2007," *Work*, vol. 41, no. SUPPL.1, pp. 3997–4003, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0699-3997.
- [32] D. Kee and W. Karwowski, "LUBA: An assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time," *Appl. Ergon.*, vol. 32, no. 4, pp. 357–366, 2001, doi: 10.1016/S0003-6870(01)00006-0.
- [33] T. Steele, A. Merryweather, C. R. Dickerson, and D. Bloswick, "A computational study of shoulder muscle forces during pushing tasks," *Int. J. Hum. Factors Model. Simul.*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2013, doi: 10.1504/ijhfm.2013.055781.
- [34] E. B. Weston, A. Aurand, J. S. Dufour, G. G. Knapik, and W. S. Marras, "Biomechanically determined hand force limits protecting the low back during occupational pushing and pulling tasks," *Ergonomics*, vol. 61, no. 6, pp. 853–865, 2018, doi: 10.1080/00140139.2017.1417643.
- [35] J. McGaha *et al.*, "Exploring physical exposures and identifying high-risk work tasks within the floor layer trade," *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 4, pp. 857–864, 2014, doi: 10.1016/j.apergo.2013.11.002.
- [36] S. Diana, "Risks and Hazards at Rotary Screen Printing (Part 4/6): Manual Materials-Handling," *J. Ind. Eng. Lett.*, vol. 7, no. 6, pp. 49–70, 2017, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320808895_Risks_and_Hazards_at_Rotary_Screen_Printing_Part_46_Manual_Materials-Handling.
- [37] 2010, "Assessment of Repetitive Tasks of the upper limbs (the ART tool)," *Screen*, pp. 1–16, 2010.
- [38] Y. K. Kong, S. J. Lee, K. S. Lee, G. R. Kim, and D. M. Kim, "Development of an ergonomics checklist for investigation of work-related whole-body disorders in farming - AWBA: Agricultural whole-body assessment," *J. Agric. Saf. Health*, vol. 21, no. 4, pp.

- 207–215, 2015, doi: 10.13031/jash.21.10647.
- [39] G. J. L. Micheli and L. M. Marzorati, “Beyond OCRA: Predictive UL-WMSD risk assessment for safe assembly design,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 65, pp. 74–83, 2018, doi: 10.1016/j.ergon.2017.07.005.
- [40] G. Szabó and G. Mischinger, “Just an other ergonomic tool: the ‘Composite Ergonomic Risk Assessment,’” in *Ergonomics 2013 : 5th International Ergonomics Conference*, 2013, pp. 169–174.
- [41] G. Szabó and E. Németh, “Development an Office Ergonomic Risk Checklist: Composite Office Ergonomic Risk Assessment (CERA Office),” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 819, pp. 590–597, doi: 10.1007/978-3-319-96089-0_64.
- [42] A. Sanchez-Lite, M. Garcia, R. Domingo, and M. Angel Sebastian, “Novel Ergonomic Postural Assessment Method (NERPA) Using Product-Process Computer Aided Engineering for Ergonomic Workplace Design,” *PLoS One*, vol. 8, no. 8, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0072703.
- [43] M. Sonne, D. L. Villalta, and D. M. Andrews, “Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA - Rapid office strain assessment,” *Appl. Ergon.*, vol. 43, no. 1, pp. 98–108, 2012, doi: 10.1016/j.apergo.2011.03.008.
- [44] C. M. Lind, *Pushing and pulling: An assessment tool for occupational health and safety practitioners*, vol. 24, no. 1. Taylor & Francis, 2018.

SZERKEZETI ACÉL ÉS SZÁLERŐSÍTETT POLIMER ÖSSZEKÖTÉSE LÉZERSUGARAS TECHNOLÓGIÁVAL

LASER JOINING OF STRUCTURAL STEEL AND FIBER-REINFORCED POLYMER

Dr. Borbás Lajos^{*}, Temesi Tamás^{**}, Dr. Csiszér Tamás^{***}

ABSTRACT

In this article, we briefly describe how joints can be formed between metals and polymers using laser beam joining technology, and we examine how the power of the laser beam used to create the bond, the amount of natural reinforcing fibre (cellulose fibre) added to the polymer and the type of polymer material affect the strength of the joints that can be formed.

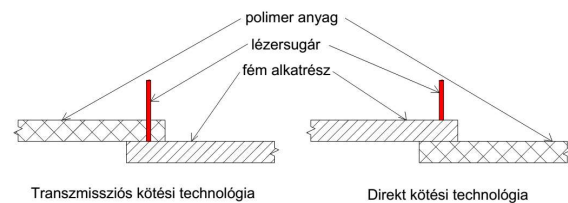
1. BEVEZETÉS

A mérnöki szerkezetek kialakításában, és kiemelten a járműiparban a teherviselő szerkezetek szilárdsági tulajdonságainak – úgy statikus, mint dinamikus terhelési körülmények közötti határállapot jellemzőinek – növelésével párhuzamosan fokozott igény mutatkozik a tömegcsökkentésre is. Egy lehetséges módszer ezek elérésére a lézersugaras kötéstechnológia alkalmazása, amellyel járulékos kötőelemek (pl. szegecs, csavar), valamint kötőanyagok (pl. ragasztó) alkalmazása nélkül állítható elő nagy szilárdságú kötés szerkezeti anyagok között. Tömegcsökkentés mellett elérhető a fémeknél kisebb sűrűségű anyagok, így például polimerek, és különösen az erősítőanyagot is tartalmazó, a fémötvezetek szilárdsági tulajdonságait megközelítő paraméterekkel bíró polimer kompozitok alkalmazásával is.

A lézersugaras kötéstechnológiával akár fémek és polimerek összekötésére is van lehetőség az ún. *Laser Assisted Metal-Polymer Joining Technology*, avagy *LAMP* módszerrel [1-3]. Ennek során a termoplasztikus polimer anyagot először megömlesztett állapotba hozzák, amely aztán a lehűlése során a fém alkatrész felületére, és a felületen található árkokba befolyva dermed meg. Ezáltal alakkal és anyaggal (másodlagos

kölcsönhatásokon keresztül) záró, nagy szilárdságú kötés alakítható ki. Fontos azonban kiemelni, hogy a fémek és polimerek molekuláris felépítése a közvetlen kapcsolat (elegy, egybeolvasztás, hegesztett kötés) kialakítását nem teszi lehetővé [4].

A fém és polimer anyagok között kialakítható, ún. hibridkötés kialakítása során a lézersugár minden esetben a fém alkatrészben nyelődik el, amely így felmelegszik, majd a hőjét átadja a polimer anyagnak, amely megömlesztett állapotba kerül. A fém felmelegítéséhez használt lézersugár a kötési folyamat során akár áthaladhat a polimer anyagon is (ez az ún. transzmissziós kötési módszer, 1. ábra), amennyiben ezt a polimer optikai tulajdonságai (áteresztőképesség – „átlátszóság”, törésmutató) lehetővé teszik.



1. ábra. Fém – polimer lézersugaras egyesítésének elvi elrendezési lehetősége: transzmissziós és direkt kötési eljárás [4]

Alapvető ökölszabályként kijelenthető, hogy azok a polimerek, amelyek a szemünk számára (a látható fény tartományában) átlátszók, azok a lézersugaras kötés kialakításához leggyakrabban használt, 900-1064 nm hullámhosszú lézersugárzás számára is nagymértékben átlátszók, áteresztők. A polimerben haladó lézersugár viselkedését, veszteségét (törés, szóródás, elhajlás) azonban jelentősen befolyásolja a szerkezeti felépítése is, amelyet gyártástechnológiai

* Professor Emeritus, Edutus Egyetem, Műszaki Intézet

** PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Polimertechnika Tanszék

*** Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar, Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet

módszerek, valamint az erősítő- és adalékanyagok jelenléte és mennyisége is befolyásolhatnak. A transzmissziós módszer akkor alkalmazható jó hatásfokkal, ha a polimer anyag nagymértékben átlátszó, azaz a lézersugár energiájának nagy részét veszteség nélkül átengedi [5].

A polimer anyagok mechanikai tulajdonságai befolyásolhatók (például megnövelhető a szakítószilárdság és a húzó rugalmassági modulus) szálal erősítőanyagok polimer mátrixanyaghoz történő adalékolásával. Ez elősegíti a polimer anyagok ipari alkalmazhatóságát, szerkezeti anyagként történő térhódítását is.

A bioalapú, megújuló erőforrásból származó erősítőanyagok használatával az elterjedten alkalmazott üveg- és kevlar-szálakhoz hasonló, vagy azonos mechanikai erősítőhatás érhető el. A bio-erősítőanyagok előállítása emellett kisebb energiabefektetéssel valósítható meg, emiatt kevésbé terheli a környezetet. Megfelelő polimer mátrixanyag (pl. politejsav (PLA)) használatával akár biológiailag teljes mértékben lebontható, hulladékmentes termékek is előállíthatók. Ennek jelentősége a termék életciklusának végén, újrahasznosításkor, vagy termelési láncba visszaforgatáskor jelenik meg.

Az EFOP-3.6.1.-16-2016-00009 pályázat keretében kutatást végeztünk annak feltárására, hogy milyen teherbírási kötés alakítható ki szerkezeti acél és természetes szálakkal erősített polimer (polimetil-metakrilát, PMMA) között lézersugaras technológia alkalmazásával. Kísérleteink során megvizsgáltuk az ún. direkt lézersugaras technológia (a lézer közvetlenül a fém alkatrészt sugározza be), és az ún. transzmissziós kötési eljárás (a lézersugár először áthalad a polimer anyagon, majd elnyelődik a fém alkatrészben) hatását a kötések tulajdonságaira. Kísérleteinket teljes faktoriális kötési terv (DoE) alkalmazásával hajtottuk végre, az eredményeket statisztikai módszerrel értékeltük ki.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. Fém és polimer anyagok és vizsgálatuk

Kísérleteink során a kötések két típusú, a járműiparban is széles körben alkalmazott polimetil-metakrilát (PMMA) anyag és S235JR jelzésű szerkezeti acél között hoztuk létre lézersugaras technológiával. Az első kiválasztott PMMA az Altuglas International SAS vállalat AltuGlas VS-UVT típusú, a látható fény és a közeli infravörös frekvencia-tartományban nagymértékben átlátszó alapanyaga volt. Ehhez a Sitraplas GmbH Sitramac HW55-UV típusú,

PMMA-polisztirol (PMMA-PS) kopolimer blend alapanyagát választottunk referenciának, mivel ennek alapszíne kicsit sötétebb, de nagymértékben átlátszó volt, amíg mechanikai tulajdonságai közelítőleg megegyeztek az Altuglas alapanyagával (2. ábra).



2. ábra – Sitramac PMMA alapanyag (a), 1 tömegszázalék cellulózszálat tartalmazó, Sitramac alapú kompozit (b), Altuglas PMMA alapanyag (c), 1 tömegszázalék cellulózszálat tartalmazó, Altuglas alapú kompozit (d)

Mindkét PMMA alapanyaghoz 1 tömegszázalék bioalapú erősítőanyagot, rövid cellulózszálat is adagoltunk. Ilyen mennyiségben a szálak erősítőhatása ugyan minimális, azonban meg kívántuk vizsgálni, hogy hatással vannak-e a cellulózszálok az acél-PMMA kötések kialakíthatóságára, valamint a létrejött kötések teherbíráására.

A polimer próbatestek mindkét polimer anyag esetén töltés nélküli, valamint 1 tömegszázalék töltőanyag kivételben ikercsigás extruderen (LTE 26-44, Labtech Engineering Company Ltd., Thaiföld) történő kompaundálással, majd Arburg Allrounder 270S 400-170-típusú fröccsöntő berendezésen történő fröccsöntéssel készültek. Az elkészült, 2 mm vastagságú polimer lemezekből lézersugaras vágással 80×10 (hossz \times szélesség) mm-es próbatesteket készítettünk. Az acél próbatesteket 0,8 mm vastagságú acéllemez táblából, lézersugaras vágással alakítottuk ki, 30×10 mm-es méretben.

2.2. Kötések kialakítása lézersugaras technológiával

A 3.1. fejezetben bemutatott transzmissziós méréseink alapján mindkét PMMA alapanyag (erősítőanyaggal történő adalékos nélkül) nagy mértékben átlátszó az alkalmazott lézersugárzás hullámhosszán. Emiatt mindkét (transzmissziós és direkt) kötési módszerrel (1. ábra) végeztünk kísérleteket annak feltárására, hogy a kötési módszer milyen mértékben befolyásolja a kialakítható kötésszilárdságot.

Méréseink alapján a cellulózszállakkal erősített PMMA transzmissziós tényezője 40 százaléknál kisebb. Erre alapozva az erősítő szálal tartalmazó próbatestek esetén azt a megoldást

választottuk, hogy a direkt kötési módszer használatával, az acél közvetlen besugárzásával hozzuk létre a kötéseket. Ebben a kötési elrendezésben a lézersugár-nyaláb nem haladt át a polimer (PMMA) anyagon, ezért el tudtuk kerülni a polimer anyag szerkezetének módosulását, degradációját (bomlását), így ez nem befolyásolta a kialakított kötések teherbírását.

A kötések átlapolt kivitelben, egyenes vonalmenti kötési pálya alkalmazásával, valamint kétféle elven működő lézersugaras berendezéssel (folyamatos működésű, valamint impulzus üzemi lézersugárforrás) alakítottuk ki. A folyamatos lézersugarat előállító berendezés egy Trumpf TruDiode 151 típusú lézersugárforrás (hullámhossz tartomány: 930-970 nm) volt, amellyel 110 W, 130 W, valamint 150 W teljesítményértékekkel hoztuk létre a kötéseket. A szakaszos üzemi lézerberendezés egy Trumpf TruDisk 4001 Yb:YAG disc laser volt (hullámhossz: 1030 nm), amelynek alkalmazásakor 210 W, 230 W, valamint 250 W teljesítmény értéket állítottunk be a kötés kialakításához.

Az egyes beállítási paraméterekkel három-három ismétléssel, minden esetben 1 m/s kötési sebességgel hoztuk létre a próbatesteket.

2.3. Kísérletterv és a próbatetek vizsgálata

A próbatetek számának megállapításához a teljes faktoros kísérlettervezés módszerét (Design of Experiment, DoE) alkalmaztuk. A próbatetek teherbírását – a kialakult varrat szilárdságát – célkészülékben vizsgáltuk, amelyben az összekötött próbatesteket nyomó-nyíróvizsgálattal terheltük (Zwick Z005 univerzális anyagvizsgáló berendezésen, 2 mm/perc sebességgel), így a kötések nyírószilárdságát (1) tudtuk meghatározni a maximális nyomóerő és a kötési felület (A) ismeretében.

$$\tau = F_{\max} / A \quad (1)$$

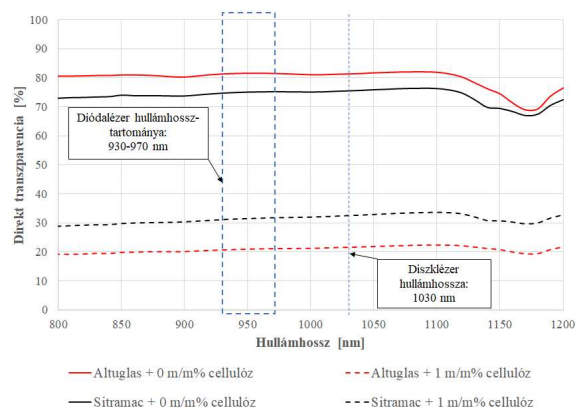
A létrehozott kötési felületek (A) méretét egy Keyence VHX-5000 típusú optikai mikroszkóp beépített szoftverével határoztuk meg.

3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. Transzmissziós mérések

Már a PMMA próbatetek gyártása megfigyeltük, hogy a cellulózsálak befolyásolják az alapanyag átlátszóságát, ezért vizsgálatainkat ún. transzmissziós mérésekkel kezdtük. Ezzel meg-

tudtuk határozni, hogy a vizsgált alapanyag felületére beeső, adott hullámhosszú fényből mennyi jut át az alapanyagon. A 3. ábrán bemutatott diagramon látható, hogy a közeli infravörös frekvenciatartományban (a diagramon ez a 800 és 1200 nanométer közötti tartomány) mindkét PMMA alapanyag nagymértékben átlátszó, és még az alapvetően sötétszürke színű Sitramac PMMA anyag is átengedi a felületére beeső fény mintegy 75 százalékát. Ez alól kivételt képez az 1150 ± 50 nm frekvenciatartomány, ahol lecsökken az átlátszóság (a transzmissziós tényező), a PMMA szerkezeti felépítése miatt.



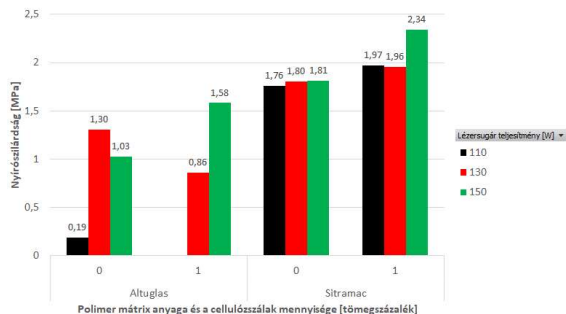
3. ábra. PMMA próbatetek (erősítősál nélküli és erősítősálás) fényáteresztő képessége

A 3. ábrán jól látható, hogy már 1 tömegszázalék cellulózsál adagolásával is igen jelentősen csökken mindkét PMMA anyag átlátszósága. A diagramba berajoltuk azokat a hullámhossz tartományokat, amelyeken a kutatásunkban a kötések létrehozásához alkalmazott lézersugaras berendezések sugároznak (930-970 nanométer a diódalézer, 1030 nanométer az Nd:YAG diszklézer esetén).

3.2. A kötések teherbírásának vizsgálata

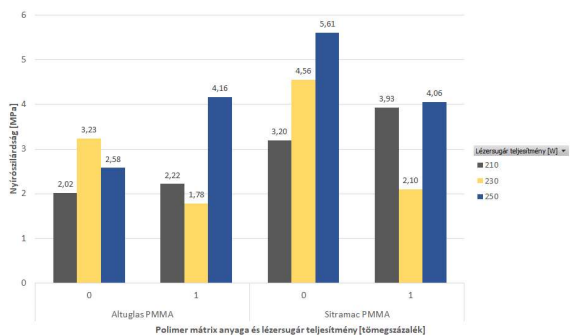
Vizsgálataink során elvégeztük mind az alapanyagok, mind a kötési paraméterek teljes faktoriális ellenőrzését. A transzmissziós kötési módszerrel létrehozott próbatetek vizsgálata során arra a következtetésre jutottunk, hogy a kötések szilárdságára csak a polimer anyagnak van számottevő hatása: a transzmissziós vizsgálatok alapján kevésbé átlátszó Sitramac anyaggal tudunk nagyobb szilárdságú kötések létrehozni (4. ábra). Véleményünk szerint ennek oka, hogy a Sitramac anyag (ami egy PMMA mellett polisztirolt is tartalmazó kopolimer) nagyobb mértékű adhéziót (másodlagos kölcsönhatást) alakított ki az acél felületén található oxidréteggel. A

kötés létrehozása során alkalmazott lézerteljesítménynek, valamint az erősítőanyag mennyiségének statisztikai szempontból ki nem mutatható, minimális hatása volt a kötés szilárdságára: nagyobb lézerteljesítmény nagyobb kötészilárdsághoz vezetett.



4. ábra – Transzmissziós kötési módszerrel létrehozott acél-PMMA kötések szilárdsága a PMMA típusának, az erősítőanyag mennyiségének és a lézersugárzás teljesítményének függvényében

A direkt lézersugaras kötések vizsgálata alapján kijelenthető, hogy a nagyobb lézerteljesítmény ezen módszer esetén is nagyobb szilárdságú kötések kialakulásához vezetett, azonban az ANOVA vizsgálat alapján egyik vizsgált paraméter és paraméter-kombináció sem volt jelentős hatással a kötések szilárdságára (95 százalékos szignifikancia szint mellett) (5. ábra).



5. ábra. Direkt lézersugaras technológiával készített kötések szilárdsága az alkalmazott PMMA típusának, az erősítőanyag mennyiségének, valamint a lézersugárzás teljesítményének függvényében

4. KONKLÚZIÓK

Már 130 W lézerteljesítménnyel is létrehozható tartós kötés, azonban a 250 W lézerteljesítménnyel, direkt lézersugaras kötési eljárással készített próbatestek nyírószilárdságát mértük a legnagyobb értékűnek.

A cellulózszálak – mint erősítésként alkalmazott anyagok - már 1 tömegszázalék mennyiségben jelentősen rontják a kompozit átlátszóságát, amely a lézersugárforrás hatékonyságát alapvetően befolyásolja (a sugárnyaláb szóródást szenved, vagy akár elnyelődik az anyagban).

1 tömegszázalék cellulózszál nem befolyásolja szignifikánsan a kötések szilárdságának mértékét egyik hegesztési eljárás esetén sem.

A kötések rideg viselkedést mutattak, amely fontos szempont a tervezési eljárás során a határállapot jellemzők meghatározásakor (a megengedett deformációk, feszültségek szempontjából).

A direkt lézersugaras kötési technológia során a lézersugár nyomot hagyott a fém felületén, amelyre az esztétikai igények esetén figyelmet kell fordítani (látható területek esetén).

Nagy lézersugár teljesítmény (210-250 W) a transzmissziós hegesztés esetén a polimer anyag – esetünkben PMMA – jelentős degradációját okozta.

Méréseink alapján az acél-Sitramac PMMA párosítás biztosítja a nagyobb kötészilárdsági (nyírószilárdság) értékeket. Ez nagy valószínűséggel a Sitramac anyagösszetételével (polisztirollal kopolimerizált PMMA anyag) van összefüggésben.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Temesi T., Czigány T.: Integrated structures from dissimilar materials: the future belongs to aluminum-polymer joints. *Advanced Engineering Materials*, paper ID: 2000007, 2020. <https://doi.org/10.1002/adem.202000007>
- [2] Amancio-Filho S. T., Blaga L.: *Joining of polymer-metal hybrid structures - principles and applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States of America, 2018.
- [3] Borrisutthekul R., Saengsai A., Mitsomwang P.: Dissimilar materials laser welding between stainless steel 304 and thermoplastics. *Key Engineering Materials*, 719, 142-148, 2016.
- [4] Temesi T., Kiss Z., Csiszér T.: Korszerű technológiák fém és polimer anyagok közötti kötések kialakítására. *Acta Periodica*, 15. kötet; Felkészülés az új évtizedre: a technológia és a gazdaság új kihívásai, 115-125, 2018.
- [5] Csiszér T., Temesi T., Borbás L., Molnár L.: Laser assisted joining of steel and cellulose fiber-reinforced PMMA. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(2), 237-253, 2021.

VASÚTI FORGÓVÁZ VÉGESELEMES SZILÁRDSÁGI ELLENŐRZÉSE ÉS NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEGES VIZSGÁLATA

STRENGTH ASSESSMENT OF RAILWAY BOGIE FRAME WITH FINITE ELEMENT METHOD AND EXAMINATION WITH STRAIN GAUGE MEASUREMENT

Kimpan Gergő, gépészmérnök, Karman Mechanics Kft. gergo.kimpan@karman-mechanics.hu, Dr. Gróza Márton, egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék, groza.marton@gt3.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti forgóvázak tervezését alapvetően a statikus és dinamikus szilárdsági szempontok határozzák meg, melyek minősítésének általános elveit és a vizsgálandó terhelési eseteket vasúti szabványok rögzítik.

Elsősorban a teljes forgóváz statikus ill. fárasztó tesztjei alkalmasak a szabványos megfelelésig biztosítására, azonban egyre elfogadottabb ezek részben ill. akár teljes egészében megfelelően validált szimulációval történő kiváltása.

Egy esettanulmány példáján keresztül olyan vegyes számítási és mérési módszert mutatunk be, amelynek segítségével megbízhatóan sikerült alátámasztanunk egy vasúti forgóváz szabványos megfelelését. A normál üzemi (fárasztó jellegű) és rendkívüli terhelések (egyszer előforduló) hatását figyelembe vevő szimulációs modell pontosságát nyúlásmérő bélyeges méréssel ellenőriztük.

ABSTRACT

The design of railway bogie frames is fundamentally determined by their static and dynamic strength, for which the general principles and load cases are standardised.

Full scale bogie static and fatigue tests are suitable for assessing standard compliance; however, it is increasingly accepted to replace them in part or even completely by simulation.

With the example of the current case study, we present a mixed calculation and measurement methodology that can be used to reliably assess the standard compliance of a railway bogie frame. The accuracy of the

simulation model, which considers the effect of normal operating (fatigue) and extraordinary loads (static), was validated by strain gauge measurement.

1. BEVEZETÉS

A vasúti forgóvázak teherbíró szerkezete jellemzően három fő részből épül fel, a két hossztartóból és az azokat összekötő keresztartóból. Az elsődleges (primer) felfüggesztés összekapcsolja a csapágyazott tengelyeket a keresztartókkal, míg a másodlagos (szekunder) felfüggesztésen keresztül kapcsolódik a vasúti kocsi a forgóvázhoz. A forgóvázakhoz kapcsolódnak általában további vasúti rendszerek, úgymint a fékegység, homokoló láda, ill. adott esetben a motor és a hajtómű.

A numerikus szimulációval támogatott szilárdsági ellenőrzéshez első lépésben olyan mechanikai modellt szükséges építeni, amely a modell határait képező feltételek (vasúti kocsi és pálya) hatását egyszerűsítések mellett a vizsgálati esetekben jól helyettesíti.

2. FORGÓVÁZAKKAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

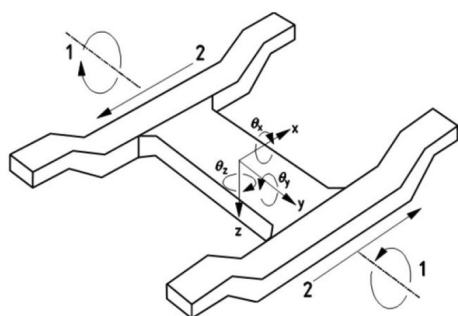
A forgóvázak tervezését és annak szilárdsági megfelelését elsősorban az EN 13749 [1] és az EN 15827 [2] előírások szabályozzák, amelyek tartalmazzák az egyes forgóváz típusokhoz a tervezési irányelveket és követelményeket. Az előírás betartásával biztosított, hogy a forgóváz üzemi élettartama során nem fog előfordulni katasztrofális tönkremenetel vagy maradó alakváltozás, továbbá ellenáll a fárasztó terheléseknek. A használati körülmények,

tervezett futási teljesítmény, az alkalmazás típusa és részben a tömegeloszlásból [3] származtatott terhelés alapján, a szabvány előírja a megfelelőség igazolásának lépését.

Amennyiben egy teljesen új forgóváz konstrukcióról van szó, a szabvány szerint mind a négy alapvető ellenőrzési módszert el kell végezni (szilárdsági analízis, statikus és fárasztásos laboratóriumi teszt, teszt tényleges üzemi körülmények között). Egy módosított tervezési kialakítás esetében elegendő egy egyszerűsített minősítési program felállítása, mint a jelen esettanulmány esetében.

2.1 Forgóváz terheléseinek meghatározása

A terhelési esetek egyértelmű meghatározáshoz szükség van egy koordináta rendszerre, amiben a különböző irányú erőket és gyorsulásokat a szabvány megadja. A forgóváz szabványos koordináta rendszert az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A terhelések meghatározásához használt koordináta rendszer az EN 1379 [1]-nek megfelelően.

A terhelések két csoportba oszthatók; egyrészt lehetnek külső terhelések, amelyek szállított teher tömegéből, a pálya ívéből és egyenletlenségből, a vonat gyorsulásából és lassításából, a hasznos teher tömegéből, valamint a forgóváz emeléséből származhatnak, másrészt ún. belső terhelések lépnek fel a forgóvázra szerelt egységek tehetetlensége miatt.

A terhelések, egy másik felosztás szerint, két csoportba sorolhatók előfordulási valószínűségük alapján. A rendkívüli terhelések elviselése az egyszeri, statikus teherbírás tervezési kritériuma. A normál üzemi terheléseknek a teljes tervezési élettartam alatt, ismétlődő jelleggel is ellen kell állnia a konstrukciónak. A terhelések meghatározásához

szükséges paramétereket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A szabványos terhelés meghatározásához szükséges adatok.

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
M_t	Tengelyterhelés	kg
M_v	Kocsi telj. tömege	kg
m^+	Forgóváz tömege	kg
c_1	Vezető tömege	kg
n_a	Tengelyek száma	db
n_b	Forgóvázak száma	db
μ	Súrlódási tényező	-
L	Tengelytávolság	mm
g	Nehézségi gyorsulás	mm/s ²

2.2. Rendkívüli terhelések

A forgóvázak által felvett függőleges irányú erő ($F_{z,max}$) a két hossztartót terheli egyenlő nagyságban:

$$F_{z_1,max} = F_{z_2,max} = \frac{F_{z,max}}{2} = \frac{1.4g \cdot (M_v - 2m^+)}{4}. \quad (1)$$

Az oldalirányú terhelések maximuma ($F_{y,max}$) a következő összefüggéssel határozható meg:

$$F_{y_1,max} = F_{y_2,max} = \frac{F_{y,max}}{2} = 10^4 + \frac{(M_v - c_1)g}{3 \cdot n_a \cdot n_b}. \quad (2)$$

A forgóvázon ébredő maximális hosszirányú erő egy tehetetlenségi erőként kerül modellezhető:

$$F_{x,max} = 5g \cdot m^+. \quad (3)$$

A jármű indulása során a tehetetlenségből származó vonóerő a következőképpen vehető figyelembe:

$$F_{x,d} = 1.3 \cdot \mu \cdot n_a \cdot \frac{M_v}{n_a \cdot n_b} \cdot g. \quad (4)$$

A két sín egymáshoz képesti egyenletlensége a vázszerkezet szempontjából egyfajta csavaró hatásként jelenik meg. A forgóvázra szerelt külső egységek (fékegység, homokláda) tehetetlenségét a szabvány a különböző irányokban az egységekre ható gyorsulással veszi figyelembe.

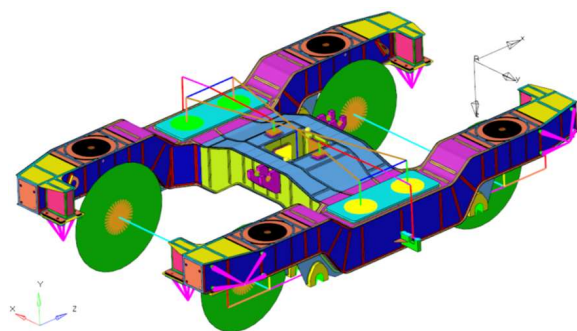
2.3. Normál üzemi terhelések

A normál üzemi terhelések meghatározása – pár kivétellel – a rendkívüli terhelésekkel analóg

módon történik azzal a különbséggel, hogy a kiadódó terhelések jelentősen kisebb mértékűek.
 3. A VÉGESELEMES MODELL

A szerkezet nagy része hegesztett lemezekből épül fel, amelyek esetében általánosan elfogadott egyszerűsítés a lemezek középfelületének héj (shell) elemekkel való diskretizációja. A falvastagság menti hajlítófeszültségek így kevesebb számítási igény mellett, megbízható módon számíthatók. Érdekes ennek a típusú modellezésnek a hátrányát is kiemelni, a görbületek és feszültségkoncentrációs zónák közelében a héj modell az általános ún. „solid” hálózathoz képest magasabb, nem feltétlenül valós, feszültségek megjelenéséhez vezethet. A szimulációs modellt a 2. ábra mutatja be.

A mérnöki gyakorlatban sok esetben a lineárisan rugalmas feszültségállapot közvetlenül kapcsoljuk hozzá a különböző tönkremeneteli állapothoz (pl.: statikus vagy fáradásos törés) a feszültségkoncentrációs helyeken lokálisan fellépő tényleges ciklikus rugalmas-képlékeny feszültségállapot számításától eltekintve. Az FKM 2012 [4] kiértékelési módszertan is ezt a módszertant alkalmazza, így az anyagi nemlinearitás figyelembevétele nem volt indokolt a számítási modellben. A felfüggesztés alapvetően geometriailag nemlineáris viselkedését praktikus modellezési beállításokkal egyszerűsítetten helyettesítve (változó peremfeltételek és geometriai konfiguráció) biztosítható volt, hogy a számítási modell lineáris maradjon.



2. ábra. Végeselemes modell felépítése.

4. KIÉRTÉKELÉSI MÓDSZER

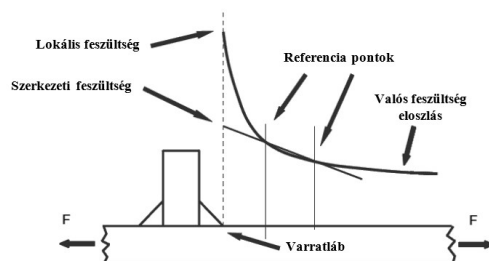
Ismétlődő terheléseknek kitett hegesztett lemez és keretszerkezetek esetében jellemzően a hegesztési varratok lábából kiinduló fáradásos repedések korlátozzák az üzemi élettartamot.

A számított feszültségeloszlás eredmények ezt a gyakorlati tapasztalatot megerősítik, a kritikus helyek szinte kivétel nélkül a varratok környezetében jelentkeztek, hiszen itt a magasabb feszültségek alacsonyabb megengedhető értékekkel találkoznak mind a rendkívüli (statikus) mind a kifáradási kockázatát hordozó normál üzemi terhelések esetében.

4.1. Hegesztett kötések kiértékelése

Hegesztett kötések ismétlődő terhelésekkel szembeni ellenállásának meghatározására az egyik leggyakrabban használt módszer a feszültségállapot vizsgálata, amely történhet normál, szerkezeti vagy effektív helyi feszültség alapján.

A névleges feszültség a varratlábától távolabbi keresztmetszetben számított átlagos feszültség, ami nem veszi figyelembe a hegesztett kötés körül, annak hatására kialakuló feszültségállapotot. A szerkezeti feszültség tartalmazza a kötés kialakításából eredő feszültségállapot hatását, azonban a varrat helyi feszültségkoncentrációs hatását nem. A szerkezeti feszültség értelmezését a 3. ábra szemlélteti.

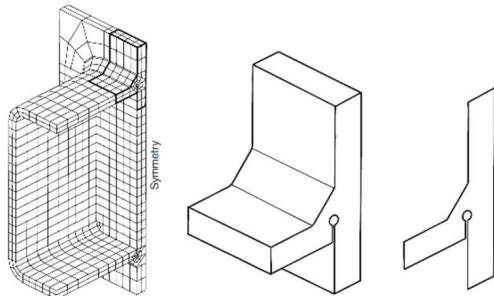


3. ábra. Szerkezeti feszültség értelmezése.

A szerkezeti feszültség meghatározása történhet végeselemes számítás vagy mérés segítségével. Amennyiben a pontokból kinyert értékek végeselemes szimulációból származnak, a feszültség varratlábhoz történő extrapolációhoz a referencia pontok távolsága függ a háló típusától (shell, solid), méretétől és a kapcsolódó lemezek vastagságától [5]. A szerkezeti feszültségállapot a referencia pontokba helyezett nyúlásmérő bélyegekkel is meghatározható.

Az effektív helyi feszültség a varratláb tövében ébredő numerikusan számítható lineárisan-rugalmas feszültség, amely számítása a varrat geometriáját is figyelembe veszi. Síkalakváltozási feszültségállapot és szerkezeti

acélok esetében ez a mikroszerkezeti jellemzőkből származtatott feszültségátlagolási technika egy 1 mm sugarú lekerekítés modellezését igényli meghatározott hálózasi követelmények mellett. Egy zártszelvény-alaplemez kapcsolat példáján mutatja be a 4. ábra a modellezési technika alkalmazását.



4. ábra. Effektív helyi feszültség számítása sicalakváltozási feszültségállapotban.

4.2. Szerkezeti feszültségen alapuló hegesztett kötések kiértékelése FKM 2012 alapján

A feszültségállapot mellett azonban az egyes hegesztett kötések kihasználtságát több tényező is befolyásolja. Az FKM 2012 [4] szerinti kiértékelés alapvetően egy egyenértékű feszültségamplitúdó összehasonlításán alapul a megengedett amplitúdóval. A megengedett szerkezeti feszültségamplitúdót a kötés típusa egy úgy nevezett FAT osztály [MPa] –ként adja meg. A FAT osztályt a 2. táblázat tényezőivel korrigálva a megengedett feszültség amplitúdó (σ_{AK}) a következőként számítható:

$$\sigma_{AK} = FAT \cdot K_{E,\sigma} \cdot K_{AK} \cdot f_{\sigma} \cdot f_t \cdot K_V \quad (5)$$

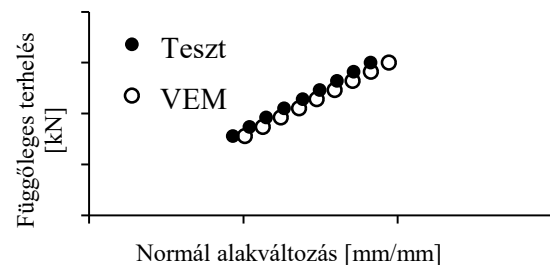
2. táblázat. Az FKM 2012 mérnöki irányelv [4] szerint megengedhető egyenértékű feszültségamplitúdó.

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
FAT	FAT osztály	MPa
$K_{E,\sigma}$	Maradó fesz. tényező	-
K_{AK}	Közép fesz. tényező	-
f_{σ}	FAT osztály konverziós tényező	-
f_t	Lemezvastagság tényező	-
K_V	Felületkezelés tényező	-

5. NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEGES MÉRÉS ÉS VEM MODELL ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A véges elemes modell ellenőrzése céljából a teljes hegesztett forgóvázon egy erre a célra épített tesztpadon nyúlásmérő bélyeges vizsgálatot végeztünk.

Az egyes pontokban a deformációt egytengelyű nyúlásmérő bélyeggel vizsgáltuk, ezért a bélyegeket az első főfeszültség irányában ragasztottuk fel az előkészített felületre. Fontos szempont volt a kiválasztott mérési pontok megállapításában, hogy az egyes helyi feszültségkoncentrációs helyektől távol mérjünk, de mégis kellően magas feszültségű zónákban, ezzel is csökkentve a lehetséges hiba mértékét. Az 5. ábrához hasonló összehasonlításokon keresztül megállapítható volt a numerikus számítás relatív hibája.



5. ábra. Numerikusan számított és mért normál irányú alakváltozás összehasonlítása a terhelés függvényében.

6. IRODALOM

- [1] MSZ EN 13749:2011 – Vasúti alkalmazások. Kerékpárok és futóművek. A forgóvázkeretek szilárdsági követelményeinek előírásmódjai.
- [2] MSZ EN 15827:2011 – Vasúti alkalmazások. Forgóvázak és futóművek követelményei.
- [3] MSZ EN 15663:2018 – Vasúti alkalmazások. A jármű referenciatömege.
- [4] FKM Guideline, Analytical Strength Assessment of Components, Hatodik kiadás, VDMA Verlag, 2012. ISBN: 9783816306498
- [5] A.F. Hobbacher, Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, Második kiadás, Springer International Publishing, 2016. ISBN: 9783319237572.

HAJTÁSLÁNC CSERE HATÁSAINAK VIZSGÁLATA CFD SZIMULÁCIÓK SEGÍTSÉGÉVEL

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DRIVETRAIN REPLACEMENT USING CFD SIMULATIONS

Lévai Emese, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, BSc hajómérnök, levai.emese@edu.bme.hu.

Dr. Ficzer Péter, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék adjunktus, ficzer.peter@kjk.bme.hu.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunkban egy konkrét hajó példáján keresztül végeztünk számításokat arra az esetre, amikor a hajtásláncot érintő módosítást végeztek a járművön. A jelen vizsgálatban egy belsőégésű motoros hajtást elektromos hajtásra cserélve vizsgáltuk a módosítás hatásait. Ezen eredményeket felhasználva figyeltük meg, a hajó veszt-e várhatóan a sebességéből, vagy okoz-e stabilitásbeli problémákat a merülésváltozás mértéke.

ABSTRACT

For pleasure craft, the rules for inland waterway use have been stricter in recent years for environmental reasons. In many cases, these restrictions affect the propulsion chain, so that the process of modifying it has become a common practice. In this case, the information on the changes in draught and speed of the vessel after the modification is of great importance to the skipper, and numerical CFD simulation is an excellent tool for this purpose.

1. BEVEZETÉS

A tavi hajózás fellendülésével a kis vízijárművek technikai felszereltsége is fontos részletekkel bővült. Az eredetileg kizárólag a szél által hajtott vitorlás hajók száma egyre nőtt a kikötőkben, így a fennakadások elkerülése végett, valamint a vészeseti manőverezést megkönnyítendő ezek az eszközök másodlagos hajtásként túlnyomó részt már motort is hordoznak [1]. Mindemellett a tisztán motoros üzemű kishajók is elérhetővé váltak a magánszemélyek részére. Összességében ez a motor mennyiség az olyan sekélyvízű tavi élővilágot, mint például amilyen

a Balatoné, több szempontból is terhelte, ráadásul a kibocsátás is jelentősen nőtt [2]. Erre válaszul született a szabályozás, miszerint kedvtelési célú (tehát nem vészüzemi, kikötői manőverezési, stb.) menetben csak elektromos motorral lehet haladni a tavon. Ennek fényében sok hajótulajdonosnak át kellett alakítania az addigi belsőégésű motorban végződő hajtási rendszerét elektromos kivitelűre [3]. Ennek hatása a merülésre és a majdani haladási sebességre hajónként eltérő, de az adatok ismerete fontos a hajótulajdonos számára [4]. Munkánk egy konkrét hajó esetében mutatja be a számítás módszerét.

2. MÓDSZERTAN

2.1. Súly-és merülésszámítás

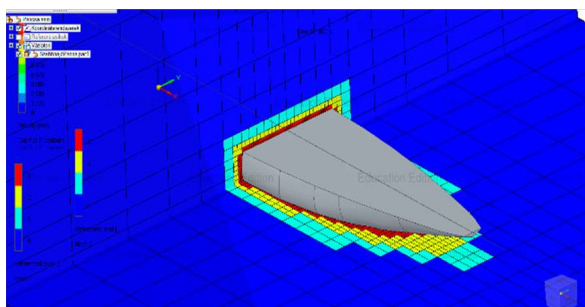
A vizsgált hajó egy 50 m²-es cirkáló, túra kivitelű, tókesúlyos vitorlás. Hossza 13,2 m, tömege 6,8 t. A tervrajzokon és a valós hajón végzett súlysúlyszámítás eredményeit összehasonlítva adódó különbségek, valamint az elektromos és a Diesel motoros hajtáslánc elemeinek tömegének ismerete elegendő volt ahhoz, hogy meghatározzuk, hogy a hajó merülése a Diesel motoros hajtásláncát elektromos kivitelre cserélve 1,68 m-ről 1,7 m-re változik. A számítás Maxsurf Hydromax programmal készült.

2.2. Áramlástan szimuláció

A számítás célja ebben az esetben kettős. Ennek során határozzuk meg a hajótestre haladás közben ható ellenállás-erőt ('x' irányú komponens), illetve a felhajtóerő összetevőt ('z' irányú komponens). A vizsgálatokkal a gyakorlati cél, hogy realizáljuk, azonos motorteljesítmény esetén két különböző

merülési esetben a hajóra mekkora ellenállásérő hat, hiszen ez nagyban befolyásolja a haladási sebességet (hiszen ha a hajó '-x' irányba halad, az ellenállás erő mindig 'x' irányú lesz). A vizsgálatokat a Siemens Solid Edge program FloEFD bővítményével végeztük. Beállításként felvettük a merülést (a súlyszámításból adódó 1,68 m és 1,7 m-es értékeket), az áramlás jellegét - test körüli, szabad felszínes - és a határoló közegeket, továbbá azoknak szükséges fizikai tulajdonságait (sűrűség, hőmérséklet, stb.). Külső erőként a kalkuláció része volt a nehézségi erő nagysága és iránya is. Az adott esetben vizsgált rááramlási sebességét is beállítottuk a közegnek, megfelelő (haladási irányval ellentétes) irányban. A hálót lokálisan 3 lépcsős sűrítéssel a testet határoló felületek köré sűrítettük (1. ábra).

1. ábra. hajótest farrésze körül megjelenített lokálisan sűrített háló



Ennek részben az az oka, hogy a hajótesttől távoli, számítás szempontjából nem releváns pontokban az értékek feleslegesen pontos számítása lassítaná a vizsgálatot, részben pedig az, hogy a kritikus helyeken (lemezelés és víz találkozása) a számítás a lehető legpontosabb legyen. A terhelési esetek megválasztását a merülések szabták meg, a választott sebességpontok pedig a hajó jellemző üzemiállapotaihoz rendelhetők (vízkiszorításos üzemi), mely 0,45-ös Freude számig terjed [5]. Az értékeket ebben a tartományban vettük fel.

3. EREDMÉYEK

A futtatás után minden terhelési esetben, mind a hat mérési pontban külön vizsgálat alá vetettük a mérési sorozatot. A konvergencia minden esetben egyértelműen meghatározható volt, azokat az értékeket, melyekhez az iterációkkal az ellenállás konvergált, táblázatosan és grafikonon is ábrázoltuk. Az eredményeket az 1. táblázat és a 2. táblázat, valamint a 2. ábra és a 3. ábra mutatja.

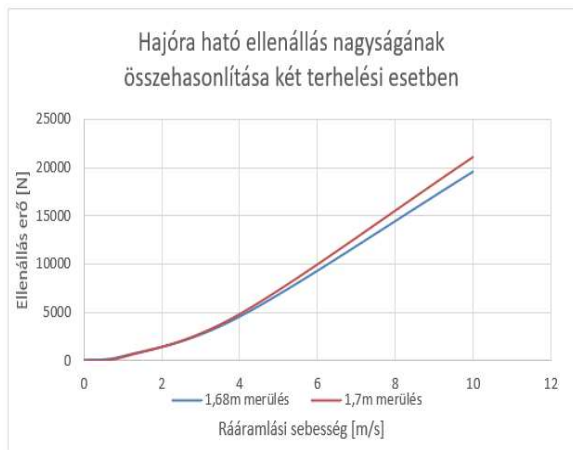
1. táblázat. Túra cirkálóra ható ellenállás értékek különböző mértékű merülések esetén

Túra cirkálóra ható ellenállás értékek		
Rááramlási sebesség [m/s]	Merülés	
	1,68m	1,7m
	Ellenállás erő [N]	
0	0	0
1	103,2	143,78
2	1894,109	1965,89
4	4512,443	4830,331
6	9390,548	9402,159
10	19570,12	21042,41

2. táblázat. Túra cirkálóra ható felhajtóerő értékek különböző mértékű merülések esetén

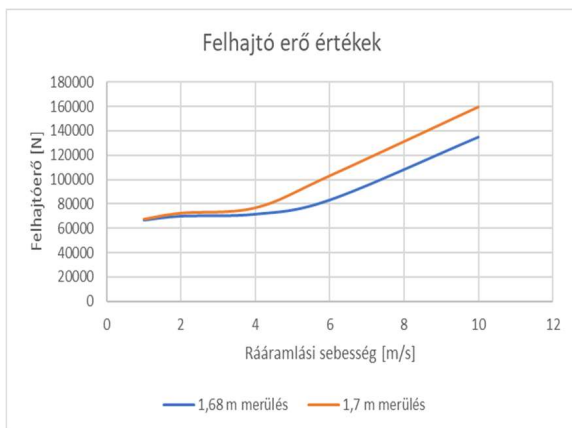
Túra cirkálóra ható felhajtóerő értékek		
Rááramlási sebesség [m/s]	Merülés	
	1,68 m	1,7 m
	Ellenállás erő [N]	
0	0	0
1	67015,1	67225,82
2	70224,4	72199,44
4	71863,34	76551,18
6	83512,27	102980,5
10	135086,4	159640,8

Látható, hogy akár 'x', akár 'z' irányú komponensről legyen is szó, minél nagyobb sebességgel halad a jármű, annál nagyobb lesz mind a testre ható erő, illetve annál nagyobb lesz a grafikonokon a két görbe pontjai között a vertikális irányban mért távolság. Ez azt is jelenti, hogy már kis merülésváltozásoknál is a nagyobb sebességek felé haladva az ellenállás-növekmény egyre jelentősebb, így még egy nagyobb hajónál is érdemes időt fordítani minél könnyebb alkatrészek megválasztására.



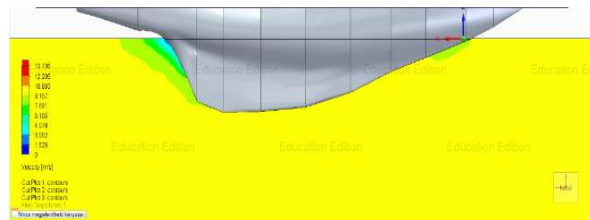
2. ábra. Hajóra ható ellenállás nagyságának összehasonlítása két terhelési esetben

A merülés megváltozásával nem csak a nedvesített felület nagysága - és ezzel az ellenállási erő - nő meg, hanem a nedvesített felület és a vízvonalmetszet alakja is változik. Jelen esetben geometriailag egy szélesebb alakzatot metsz ki a vízfelszín a hajótestből, így az áramképet is vizsgálni kell (4. és 5. ábra).

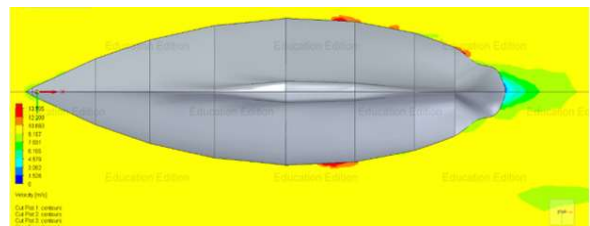


3. ábra. Hajóra ható felhajtóerő nagyságának összehasonlítása két terhelési esetben

Amennyiben a bemerülő alak úgy változik, hogy az áramlás korán leszakadó örvényeket generál a hajótest körül, vagy a legnagyobb szélesség körül túlságosan felgyorsul, az drasztikus sebességcsökkenést eredményez.



4. ábra. Közeg sebessége a hajótest körül (oldalnézet, középvonal síkja)



5. ábra. Közeg sebessége a hajótest körül (felülnézet, vízvonal síkja)

4. ANALÍZIS

Megvizsgálva az eredményeket több megállapítást tehetünk. A várakozásoknak megfelelően nagyobb sebességeknél a hajóra ható ellenállási erő a két merülési esetben igen nagy mértékben eltér, 1,68 m-ről 1,7 m-re növelve a merülést a növekmény 1472 N, azaz centiméteres nagyságrendű merülésváltozás hatása is szignifikáns. Az áramképben ábrázolva a sebességeloszlást a hajó környezetében azt tapasztaljuk, hogy a test legnagyobb szélessége mögött (a far felé) közvetlenül az oldallemez mellett az áramlás lokálisan felgyorsul, majd újra lelassul a kiinduló, első térfélnél tapasztalt sebességre. A hajó körül amellet a felület mellett, ami rááramlási árnyékban van, azaz a hajó melletti gyorsult áramvonalak nem - vagy csak részben érintik, a közeg sebessége jelentősen csökken, a vízvonalterület és a kormánycsapágy tengelyének metszéspontjában és környékén pedig a közeg sebessége közel 0 m/s. Azt látjuk, hogy legnagyobb áramlási sebességnek sem a nagysága (13,7 m/s), sem a helye (főborda mögötti szűkülő ív) nem okoz nagymértékű sebességcsökkenést.

5. KONKLÚZIÓ

Elmondható, hogy azáltal, hogy a belsőégésű motort és az ahhoz tartozó hajtásláncot cseréltük, ennél a hajónál ellenállástöbblet jelentkezik, ez pedig csökkenést okoz a várható haladási

sebességben. A vizsgált hajó egy sorozatgyártott termék, és az osztályában esetlegesen kisebb módosításokkal üzemelő hajók esetén a számítás hasonló motorokkal várhatóan ugyanezt az eredményt adja. Más hajótípusokra a vizsgálati módszertan követése pedig pontos választ ad a 2.2 alfejezetben felmerülő kérdésekre, melyek egy vitorlásversenyt megelőzően például igen fontosak (ekkor ráadásul a motor pusztán csak felesleges ballaszt). Mivel a számításokat vízszintesen úszó vitorlásra végeztük, további tanulmányozás tárgya lehet a megdőlt helyzetű jármű vizsgálata, illetve a gyorsuláskor kiemelkedő hajótest vizsgálata ugyanezen módszerrel. Szintén kérdéseket vehet fel a motoros üzem hatótáv növelése érdekében esetlegesen behelyezett további akkumulátorok többletterhelése, és azok lehetséges elhelyezése miatt kialakuló úszáshelyzet, hiszen ez további merülési opciókat feltételez.

6. IRODALOM

- [1] Zeng, Q., Hekkenberg, R., & Thill, C. (2019). On the viscous resistance of ships sailing in shallow water. *Ocean Engineering*, 190, 106434.
- [2] Angelou, M., & Spyrou, K. J. (2021). Dynamic stability assessment of yacht downwind sailing in regular waves. *Applied Ocean Research*, 111, 102651.
- [3] Nádas Péter: Az EU tagság követelményeihez való közelítés a hajózás, a kikötők és a vízi utak területén, *Közlekedéstudományi szemle*, 1999. (49. évf.) 7. sz. 268-274.
- [4] Zhou, X., Sutulo, S., & Soares, C. G. (2015). Simulation of hydrodynamic interaction forces acting on a ship sailing across a submerged bank or an approach channel. *Ocean Engineering*, 103, 103-113.
- [5] Simongáti Gy, Hargitai L. (2012) 'Kishajók', Budapest: Typotex. ISBN 978-963-279-643-7

ADDITÍV TECHNOLÓGIÁVAL GYÁRTOTT FÉM ALKATRÉSZ TERVEZÉSÉNEK AUTOMATIZÁLÁSA

AUTOMATED DESIGN OF A METAL 3D PRINTED COMPONENT

Málics Marcell, marcellmalics@edu.bme.hu; Dr. Körtélyesi Gábor, kortelyesi.gabor@gt3.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Az alábbi cikk bemutatja az SLM fém 3D nyomtatási technológia előnyeit, hátrányait, valamint azt, hogy mire érdemes figyelni az ilyen gyártásra való tervezés során, milyen tervezési lépéseket kell betartani, hogy az alkatrész könnyen nyomtatható legyen.

Továbbá bemutatja, hogy milyen módszerekkel lehet a PTC Creo Parametrics CAD rendszert automatizálni és ez hogyan könnyítheti meg az additívan gyártott alkatrészek tervezését.

ABSTRACT

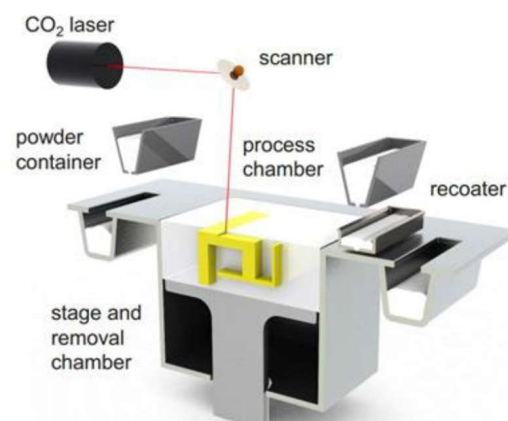
This article tries to present the advantages and the disadvantages of the SLM additive manufacturing process. It shows the details that needs to be paid attention during the design of a component with this kind of manufacturing. Furthermore, the article presents the methods to automate a CAD system such as PTC Creo Parametrics.

1. BEVEZETÉS

Az additív technológiával gyártott alkatrészek egyre elterjedtebbek és egyre több cég próbálja felderíteni a technológia alkalmazhatóságát saját termékpalalettájukra. A Knorr-Bremse-nél ez a folyamat 2018-ban elkezdődött, a kutatás folytán komoly eredményeket ért el a cég pneumatikus fékvezérlések alkatrészeinél. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszéke a céggel közösen azt vizsgálja, hogy lehet a fém additív gyártással készült alkatrészeknek a tervezését felgyorsítani, automatizálni.

2. AZ SLM NYOMTATÁSI TECHNOLÓGIA

A cikkben bemutatott nyomtatási technológia a Selective Laser Melting (továbbiakban SLM). A technológia lényege, hogy egy fémport ágyban készül a kívánt alkatrész. A fémport egy nagy teljesítményű lézer olvasztja egybe a kívánt keresztmetszetben. Miután egy réteg



1. ábra: SLM eljárás elvi ábrája [1]

összeolvadt, a munkalap beállításától és anyagtól függően 20-200 μm mértékben lesüllyed, majd egy porterítő kés új réteg port visz a munkafelületre. A gyártás elvi bemutatása az 1. ábrán látható.

Az SLM technológia alkalmazásával az egyéb fém nyomtatási technológiákhoz képest nagyobb gyártási pontosságot és az alkatrész belső részeiben is egyenletesen jó, közel homogén anyagminőséget lehet elérni. Ezeknek a jellemzőknek köszönhetően alkalmas a technológia műszaki alkalmazásokra. Nagy teherbírású és pontos alkatrészek gyárthatók vele. [2]

További előnyei a technológiának, hogy nagyon bonyolult geometriákat is gyárthatunk vele, így az lehetőséget ad optimalizált alkatrészek gyártására, ahogy azt Li Tang *et. al.* [3] is bemutatják tanulmányában. Ennek köszönhetően könnyebb és hatékonyabb alkatrészeket gyárthatunk kevesebb nyersanyag felhasználásával. Így a 3D nyomtatás környezetbarát megoldás is lehet megfelelő tervezés és gyártás mellett [4, 5].

A pontos és teherbíró alkatrészek gyártása azonban kompromisszumokkal jár. Ezért célszerű már a tervezés során alaposan figyelembe venni az alkalmazott speciális gyártási eljárást és ha ennek megfelelően

végezzük a tervezést, akkor a hátrányok nagy része kiküszöbölhető.

3. NYOMTATÁSI NEHÉZSÉGEK

A nyomtatás során három tényező nehezíti a gyártást. A rövid idő alatt kis helyre bevitt nagy energiasűrűség hatása, a porterítés egyenetlensége, valamint a hosszú gyártási idő. A hirtelen bevezetett nagy energiasűrűség majd hirtelen visszahűlés nagy hőfeszültségeket okozhat az anyagban, ami maradó deformációhoz vezethet, vagy szélsőséges esetben akár károsodást (repedés) is okozhat. Ezzel összefügg a porterítőkés problémája is. A kés néhány mikrométerrel az összeolvasztott felület fölött húzza el a porréteget. Ha az alkatrész deformálódik, előfordulhat, hogy beleakad a kés és az eltöri az gyártmányt, vagy nem kerül megfelelő vastagságú friss por a következő rétegre.

4. TERVEZÉSI FELTÉTELEK

Annak érdekében, hogy az említett nehézségeket kiküszöböljük van néhány tervezési megkötés, amit figyelembe kell venni. Ezek a feltételek az alábbiak [6]:

- Max. furatátmérő 8 mm
 - Nagyobb furatoknál csepp forma ajánlott
- Lefelé néző felület vízszintessel bezárt szöge minimum 40°
- Magas elemek esetén a magasság és szélesség aránya maximum 8:1 legyen
- Porterítő késsel ne legyenek nagy párhuzamos felületek
- Nagy vízszintes felületek elkerülése
- Csúcsok élek helyett érdemes min 0,5 mm-es lekerekítést alkalmazni
- Támaszok használata elengedhetetlen

5. A TERVEZÉSI FOLYAMAT LÉPÉSEI

Annak érdekében, hogy a tervezési feltételeket biztosítani tudjuk és a tervezési-, valamint a gyártási folyamatok közötti iterálási szakasz minimális legyen, javasoljuk az alábbi öt tervezési lépést betartani:

1. Skeleton készítés:

A Skeleton készítésénél már figyelni kell rá, hogy hogyan szeretnénk majd legyártani az alkatrészt. A skeleton méreteiből már megjósolhatók az alkatrész leendő befoglaló méretei. A méretből pedig a várható nyomtatási pozíció meghatározható. Ezt érdemes már a skeletonban feltüntetni, így a tervezés során

végig ennek megfelelően alakítható ki a geometria.

2. Funkcionális geometria kialakítás:

A lényegi funkciót teljesítő geometria kialakításánál csak másodlagos a nyomtatás kikötései, mivel a későbbi lépéseknél még javítható az alkatrész.

3. Optimalizálás, maradó támaszok kialakítása:

Mivel a nyomtatás lehetővé teszi a nagyon bonyolult optimalizált szerkezetek gyártását is, így mindenképpen érdemes valamilyen szintű szerkezetoptimalizálást végezni az alkatrészen. Ezen kívül azonban a kifejezetten nyomtatásra történő optimalizálás is elengedhetetlen. Ez ideális esetben kifejezetten erre a célra készített szoftverrel is történhet (ilyen például a Simufact Additive [7]), de ennek hiányában kézzel is javíthatjuk a geometriát, lefelé néző felületek módosításával, szükség esetén maradó támaszok betervezésével.

4. Nyomtatás előkészítése:

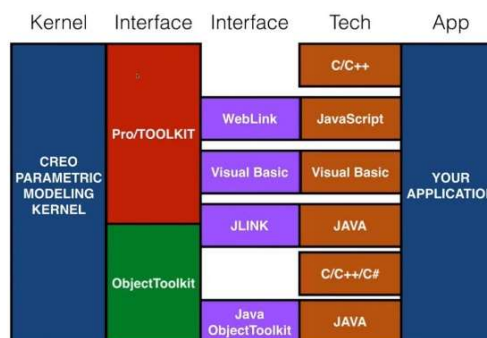
A nyomtatás előkészítése külön erre a célra készült szoftverben lehetséges, mint például a Materialise Magics [8]. Ezen eszközök optimalizálhatják az orientációt, segítenek elhelyezni a nyomtatási térben az alkatrészt, majd pedig kialakítható vele a támaszanyag struktúra.

5. Utólagos munkálatok:

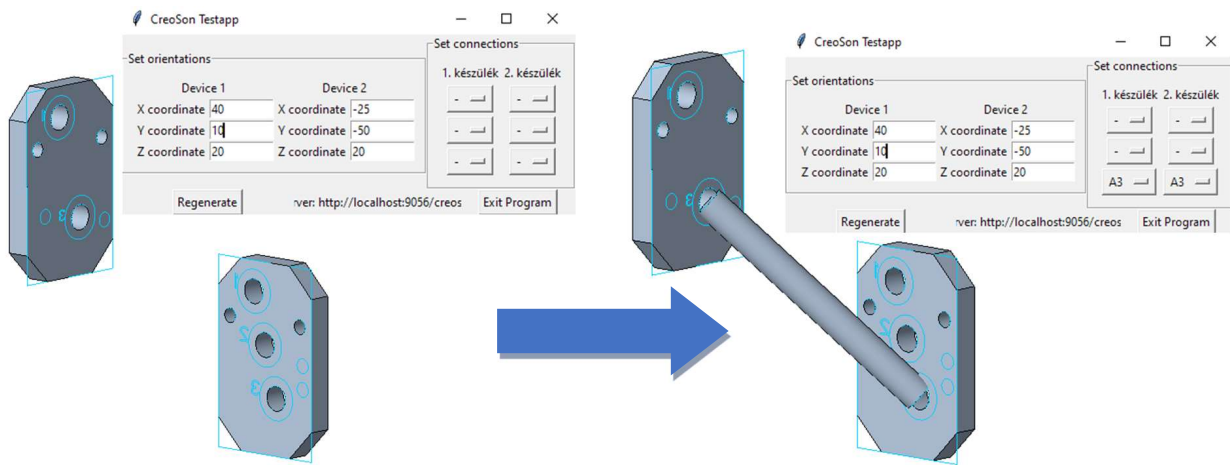
Megfelelő felületi minőség elérése érdekében, valamint menetek kialakítása miatt, utólag sok esetben meg kell munkálni az alkatrészt. Ezeknek a megmunkálásoknak a lehetőségét és módját a tervező feladata megtervezni és dokumentációt biztosítani hozzá.

6. CREO AUTOMATIZÁLÁSA

Annak érdekében, hogy az SLM technológiát nem ismerő mérnökök is gyorsan tudjanak erre a technológiára alkatrészt tervezni, valamint megtanulhassák a technológia tervezési



2. ábra: PTC Creo hozzáférési lehetőségei



3. ábra: CreoSon használatát bemutató teszt alkalmazás és a teszt modell regenerálás előtt és után

módszereit, szükség van a CAD rendszer automatizálására. Egy kiegészítő tervezőmodul segítségével sokkal gyorsabban tudják a 3D nyomtatás terén laikus mérnökök is felvenni a fonalat, sőt a technológiához értők munkáját is gyorsíthatja. Mivel a Knorr-Bremse-nél általánosan a PTC Creo Parametrics tervezőprogramot használják, így alábbi tanulmányban erre a rendszerre alkalmazható API (*Application Programming Interface*) megoldásokat mutatunk be.

A Creo-hoz több automatizálási megoldás is létezik, ahogy azt a 2. ábra is mutatja. A gyártó saját megoldása a feladatra a Creo TOOLKIT, ami egy saját beépített API modul. Ennek segítségével saját alkalmazások integrálhatók a CAD rendszerbe akár külső ablakos programként, akár beépített modulként. Szinte korlátlan lehetőségeket nyújt ez a megoldás, de komoly programozási háttérrel igényel a használata. Csak C nyelvben programozható, valamint bonyolult integrálási folyamatot igényel a fejlesztett programok CAD rendszerbe való beillesztése [9].

További API megoldások a PTC-től például a Pro/WebLink, vagy a J-Link. Ezek a megoldások kommunikációs lehetőséget biztosítanak saját, vagy harmadik fél által fejlesztett rendszerek számára. Ezen módszerek segítségével külső programok tudják írni és olvasni a Creo elemek adatait. [10]

Ilyen J-Link kapcsolaton keresztül kommunikál a CreoSon is és az ehhez kapcsolódó alkalmazás a Creo-val. Ez egy jóval könnyebben kezelhető megoldás, amihez bármely olyan programozási nyelvet választhatunk, ami támogatja a http kéréseket. Ilyen nyelvek például a Python, JavaScript, C/C++/C# stb.

A CreoSon használata csak alapvető programozási ismereteket igényel, de jelentősen kevesebb funkciót tud végrehajtani. Valamivel több mint 150 fajta parancsot képes intézni a Creo-hoz, ami jóval kevesebb, mint a TOOLKIT nyújtotta lehetőségek. Ennek ellenére a CreoSon megfelelően ki tudja elégíteni a szakértői rendszerhez szükséges feladatokat, így megfelelő eszköz a tervezést támogató rendszer fejlesztéséhez.

7. CREOSON BEMUTATÓ ALKALMAZÁS

Bemutató jelleggel elkészült egy egyszerű alkalmazás is, ami szemlélteti a tervezőprogram automatizálásának lehetőségeit. A program Python-ban íródott, a grafikus felhatalmált felületet a tkinter csomag segítségével készült, és a CreoSon segítségével kommunikál a tervezőprogrammal. A 3. és 4. ábrákon látható a tesztprogram kezelőfelülete, valamint a próba modell. A próba modell egy két készülékből álló pneumatikus vezérlőpanel alaplap, ami megfelelően van paraméterezve annak érdekében, hogy a CreoSon által küldött parancsokat a program végre tudja hajtani.

A 3. ábra azt a folyamatot mutatja be, amikor a „Set Connections” ablakban kiválasztjuk, hogy az egyik készülék választott kimenetét a másik készülék kiválasztott kimenetével összekötjük egy csőszakasszal. Ehhez a legördülő lehetőségek közül kell kiválasztani az „A1” - „A3” jelzésű csatlakozási pontok valamelyikét, majd a „Regenerate” gombra kell kattintani.

A 4. ábrán a próba modellen található két pneumatikus készülék felfogatósi pont pozíciója kerül beállításra a modellterben. A „Set Coordinate” ablakon belül beállíthatók a készülékek koordinátái, majd a „Regenerate”

gomb megnyomásával a program végrehajtja a módosításokat.

8. ÖSSZEGZÉS

A cikk első sorban az additívan gyártott alkatrészek tervezési folyamatát szemlélteti. A gyártási technológia előnyeit és hátrányait mutatja be, valamint az SLM technológia gyártási korlátait. Ahhoz, hogy a tervező a technológia előnyeit megfelelő módon ki tudja használni pontokba foglalt tervezési javaslatokat készítettünk. Kiválasztásra került az a kommunikációs felület, amely alkalmas a PTC/Creo tervező rendszer automatizált tervezőeszközének elkészítésére. Elkészítettünk egy tesztalkalmazást, amely illusztrálja a választott CAD rendszer automatizálási lehetőségeit, valamint bemutatja annak alkalmazási módját is.

A továbbiakban elkezdődik egy szakértői rendszer fejlesztése, ami támogatja a mérnökök munkáját a fém nyomtatott alkatrészek tervezése során. Ennek kapcsán a javasolt tervezési tudáselemek implementálásra kerülnek a CAD rendszer kiválasztott kommunikációs felületének felhasználásával.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk megköszönni Nyíró Ferencnek az S&T Consulting Hungary Kft. munkatársának segítségét a PTC/Creo kommunikációs felületének használatához nyújtott segítségével.

10. IRODALOM

[1] Ludivine Cherdo: The 5 best professional desktop SLS 3D printers, 2018

[2] MachineDesign - Wendy Dessler: 5 Ways You Can Use 3D Printing to Create a Prototype, 2018

[3] Li Tang, ChunbingWu, Zhixiong Zhang, Jianzhong Shang, Chao Yan: A Lightweight Structure Redesign Method Based on Selective Laser Melting. 2016

[4] Van Thao Le, Henri Paris: A life cycle assessment-based approach for evaluating the influence of total build height and batch size on the environmental performance of electron beam melting, 2018

[5] Henri Paris et. al.: Comparative environmental impacts of additive and subtractive manufacturing technologies, 2016

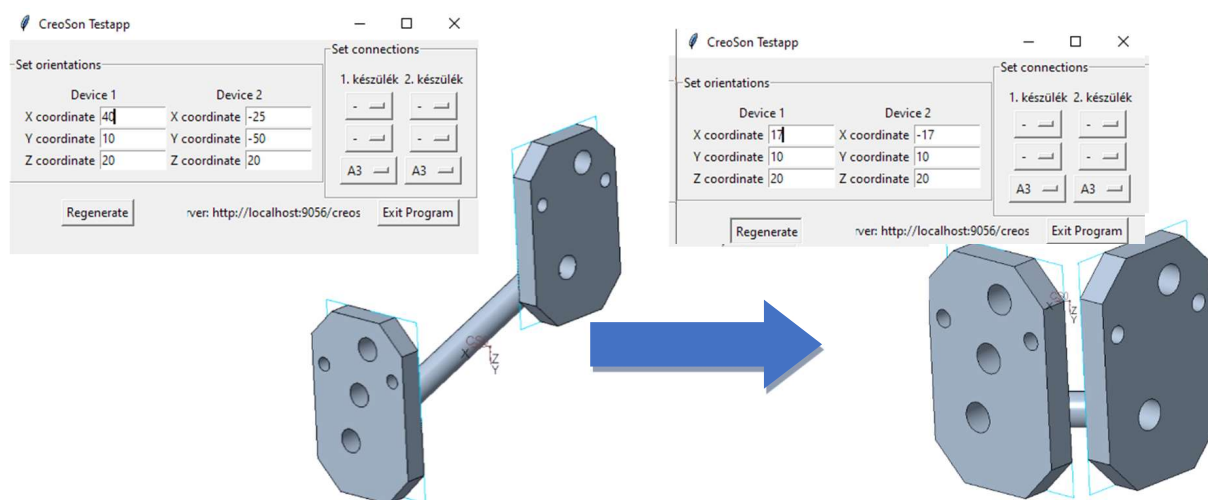
[6] Crucible industrial design: Design guidelines for Direct Metal Laser Sintering (DMLS), 2014

[7] Hexagon: Simufact Additive Brochure, 2020

[8] Materialise: Magics, www.materialise.com/en/software/magic, 2021

[9] PTC.: Creo® Parametric TOOLKIT 6.0.4.0., 2020

[10] CREOSON: <http://www.creoson.com>, 2021



4. ábra: CreoSon használatát bemutató alkalmazás készülékpozíció beállítása

NYOMÁSOS ALUMÍNÍUM ÖNTÉSI TECHNOLÓGIA FEJLESZTÉSE A SZERSZÁM ÉLETTARTAM NÖVELÉSÉVEL

DEVELOPMENT OF ALUMINUM DIE-CASTING TECHNOLOGY TO INCREASE TOOL LIFE

*Olah Zoltán, ECSERI Kft., műszaki vezető, Zoltan.Olah@ecserikft.hu
Gaják Gellért, ECSERI Kft., gyárigazgató, Gellert.Gajak@ecserikft.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja a nagynyomású alumínium öntészetben használt szerszámok élettartamának növeléséhez alkalmas tervezési munkafolyamat kidolgozása a Magma szimulációs szoftver segítségével. Az új tervezési elvek alapján készült szerszámokat kísérleti gyártás keretében teszteltük, a hőingadozás amplitúdója jelentősen csökkent, ami a szerszám élettartamát növeli.

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a design workflow suitable for increasing the life of tools used in high-pressure aluminum casting with Magma simulation software. The tools based on the new design principles were tested in experimental production, the amplitude of the thermal fluctuation was significantly reduced, which increases the life of the tool.

1. BEVEZETÉS

A nagynyomású alumínium öntészet szerszámái esetében mindig súlyponti kérdés, hogyan lehet előre becsülni, hogy egy adott termékdizájn milyen szerszám élettartalommal fog párosulni. Ezt a múlt tapasztalatai alapján eddig csak becsülni lehetett [1], amin változtat a jelen kutatás és fejlesztési projekt, melynek célja azon munkamódszerek, szimulációs eljárások kidolgozása és paraméterek listájának egymásra gyakorolt hatásának feltérképezése, melyek használatával a Magma szimulációs szoftver segítségével előre lehet jelezni egy adott termékdesignból készült öntőforma várható élettartamát. Fókuszba lehet állítani a technológiahelyes termékkialakítást, mellyel az autóipar számára robusztusabb és tartósabb szerszámokat lehet kifejleszteni és tömeggyártásba helyezni.

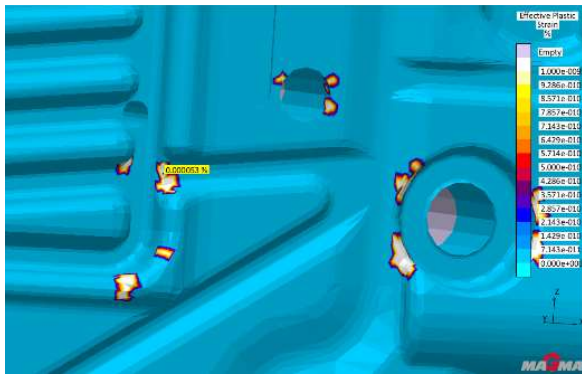
2. SZERSZÁM ÉLETTARTAM KUTATÁS

A Magma szoftver segítségével adatbázist hoztunk létre, amely tartalmazza a jelenlegi szerszámok paramétereit. így felmértük a jelenlegi szintet. A cégen belül gyártott termékcsaládokból hármat kiválasztottunk, melyek szerszámait szimuláltuk és meghatároztuk a várható élettartamot. A szoftver látszólag minden munkát elvégez, de nem tud öntőszerszámot tervezni, nem tudja kielemezni a szimuláció eredményeit, nem tudja meghatározni, hogy a szerszámon mit kell változtatni és nem tud beavatkozni rossz fejlesztési irány esetében. Ezeket szükséges a mérnököknek a tervezett feladat során elvégezni.

A szimuláció további hátránya, hogy a hő- és anyagtranszport folyamatokat a különböző szoftverek különböző modellekkel írják le [2], ezért az eredményeket a számításokon túl igazolni kell kísérletekkel is.

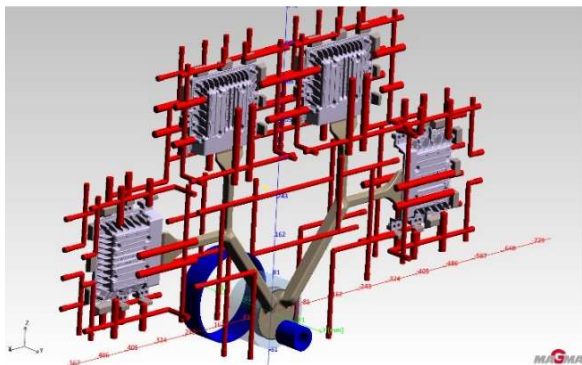
3. FEJLESZTÉS, SZERSZÁMTERVEZÉS

A szerszám élettartam kutatás eredményei alapján ebben a munkaszakaszban elkezdődik a szerszámtervek átdolgozása. Megtörténik a szerszámok folyamatos szimulálása, analízisa, amelyek alapján meghatározhatók a szerszámok sarokszámai, irányai. Amennyiben az analízis pozitív eredményt mutat, beazonosításra kerülhet az a mérőszám, amelyre támaszkodva a szerszám élettartamának vizsgálata egyértelműen, ciklusban végezhető sok más paraméter tekintetében is, azaz végső soron meghatározható az a paraméter, amely az élettartamra direkt hatással van. Negatív eredmények esetében egy „zsákutca” beazonosítása történik meg. Azonban a fejlesztés további szakaszához ez is értékes eredmény.

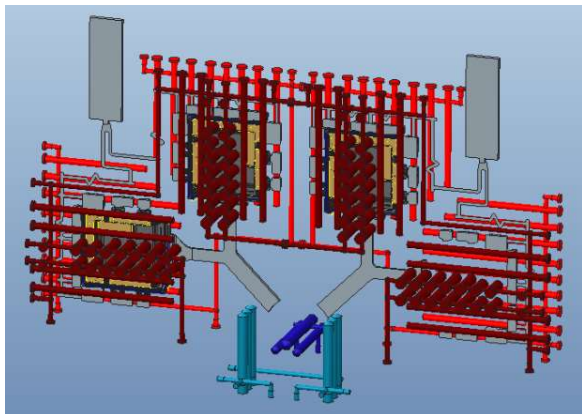


1. ábra. Feszültséggyűjtő helyek a formabetétben

Feszültséggyűjtő helyek a formabetétben az éles sarkokban, melyek mikrorepedést és élettartam csökkenést okozhatnak később. Az iterációs analízis során, a szerszám fazonján, temperálásán, vagy az öntéstechnológiai paraméterén történt változtatások alapján történik a szerszám vagy a technológia fejlesztése. Ezáltal megvalósítható a preventív védekezés, például a szerszám hűtő-fűtő furatainak áttervezésével.



2. ábra. Szerszám hűtő-fűtő furatainak áttervezése (előtte) a 2. termék esetében



3. ábra. Szerszám hűtő-fűtő furatainak áttervezése (utána) a 2. termék esetében

4. MEGVALÓSÍTÁS, ANYAGKUTATÁS

A tervek alapján a legújabb technológiával előállított betét alapanyagokon végeztük a kísérletet, melyek:

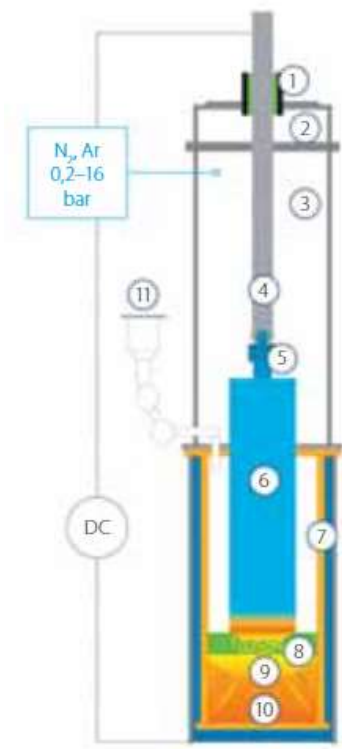
- W302 - elektrosalakos átolvasztással előállított, nagy tisztasági fokú, növelt homogenitású és meleg szívósságú szerszámacélból készült a betét, melyet különböző mikro kenő formaleválasztókkal teszteltünk.
- Dievar - túlnyomásos nitrogén védőgáz alatti elektrosalakos átolvasztással előállított, nagy tisztasági fokú, növelt homogenitású és meleg szívósságú szerszámacélból készült a betét, melyet különböző mikro kenő formaleválasztókkal teszteltünk.
- W350 - túlnyomásos nitrogén védőgáz alatti elektrosalakos átolvasztással és optimalizált, három irányú kovácsolással előállított meleg alakító szerszámacélból készült a betét, melyet különböző mikro kenő formaleválasztókkal teszteltünk.

A munka során összehasonlításra került három anyagféleséggel kapcsolatos valamennyi kutatási jelentés, mérési dokumentáció, terméktesztek, megfelelőségi vizsgálatok a potenciális vevői követelmények szerint.

Az új alapanyagok is acél alapanyagok, általában a kémiai összetétel alig változik, az anyagok különbözőségét nem az anyagösszetétel, hanem az anyag elkészítésnek a módjában van.

Az új anyagok vákuum alatt elektrosalakosan egyszer vagy többször átolvasztott acélok és különböző módon kell elvégezni az edzési és feszültségmentesítő hőkezelést. Európában kevés helyen végzik ezt az átolvasztást, de a nagy előnye, hogy nagy tisztaságú és nincs idegen anyag, pl. salak az acélban. Nincs zárvány, anyag folytonossági hiba, diszlokációs pont, ami rontja az acél élettartamát. Meleg repedés ugyanis mindig a feszültségcsúcsokban jelenik meg legelőször, és ha már olyan alapanyagot vásároltunk, amiben maradó feszültség, vagy feszültséggyűjtő pont van, akkor a gyártási ciklusból adódó hőmérséklet ingadozás felgyorsítja e repedések felszínre jutását.

A 4. ábra bemutatja a védőgáz/túlnyomásos elektrosalakos átolvasztás működését.



4. ábra. Védőgázos/túlnyomásos elektrosalakos átolvasztás [3]

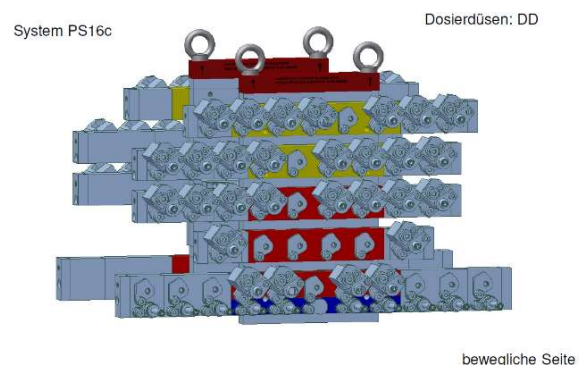
Az átolvasztandó tömb, mint elektróda (2) és a vízhűtésű alaplap (7) közé váltóáramot kapcsolnak. Az elektróda vége a salakba (4) merül. Az így a salakon átfolyó áram annak ohmos ellenállása következtében jelentős hőtermel. A salak magas hőmérsékletének következtében az elektróda folyamatosan leolvad, a megolvadt acél a salakon keresztül a vízhűtésű rézkokillával (3) körülvevő olvadékba (5) csepeg. A folyékony salakban egyúttal megkötődnek a nemkívánatos szennyezőelemek, nemfémes zárványok és az acélban oldott gázok is. Az olvadék a rézkokillában irányított módon optimális szövetszerkezetű öntecské (6) szilárdul.

Ezzel az eljárással az elektrosalakos átolvasztás egy zárt rendszerben, nitrogén és/vagy argon védőgázban, tehát az oxigén kizárásával lehetséges. Ezáltal nő az oxidációs tisztasági fok, ennek eredményeképpen javul az acélok korrózióállósága, polírozhatósága, fotomarathatósága és szikraforgácsolhatósága. A túlnyomásos elektrosalakos átolvasztóberendezés 16 bar nyomásig üzemelhet, ezáltal lehetséges az átolvasztás során a nitrogéntartalom jelentős növelése (nitrogénötvozés).

A technológia előnyei:[3]

- nincs hidrogéntartalom-növekedés (ridegedés)
- nitrogéntartalom 0,8%-ig lehetséges
- nincs öntecsdúsulás
- csekély kristallitdúsulás
- minimális kéntartalom
- minimális nemfémes zárványok (szulfidok, oxidok)
- alacsony szilícium- és alumíniumtartalom (turbinaépítés)
- kitűnő anyagtulajdonságok
- az oxigénhez nagy affinitással rendelkező elemek csekély kiégése
- nikkeltmentes ausztenites acélok előállítása lehetséges

A különféle gyártótól származó alapanyag esetében nagyobb hangsúlyt kell fektetni a kutatás során az edzésre, megeresztésre, utókezesre, azaz a feszültségmentesítésre, bevonatolásra. Erre azért van szükség, hogy a feszültséget ki lehessen venni a betétből. Adott termék alakját a betét adja, a komplett szerszám ahhoz kell, hogy fel lehessen szerelni a gépre, lehessen használni. A szerszám betéttel együtt értendő.



5. ábra. Wollin gyártmányú lefűvőfej modellje

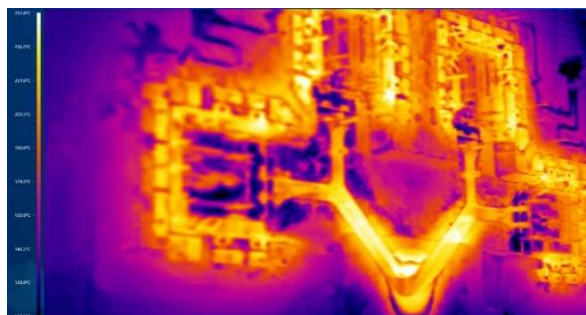


6. ábra. Wollin gyártmányú lefűvőfej

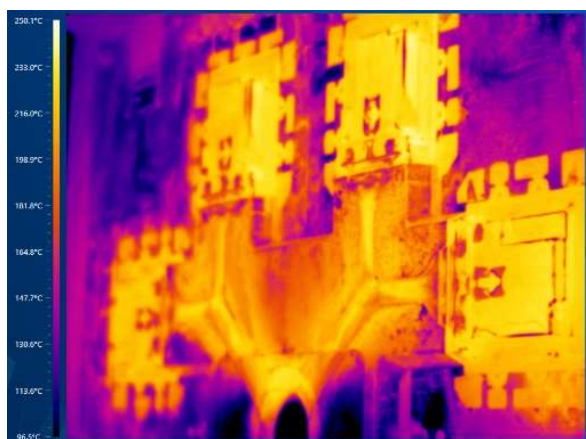
A betétek az aktív elemek, azok adják a formát. Így a tervezett három termék esetében elkészült a három szerszám, és különböző alapanyagból a bele való betétek (cca. 20 betét a munka során).

5. GYÁRTÁSI PRÓBA ÉS VALIDÁLÁS

Az elkészült szerszámokat kísérleti gyártás keretében teszteltük az öntött termékek bevizsgálásával és minősítésével. A szerszám felületén fellépő hőmérséklet ingadozás gyakorlatilag független a terméktől, ezért az eredmények minden szerszámnál hasonlóak. Víz és olajbázisú minimál kenő anyagokkal teszteltünk, melyek első használata során általában azt tapasztaltuk, hogy a szerszám túlmelegszik, amit megfelelő hűtő-fűtő egységek bevonásával lehetett megszüntetni.

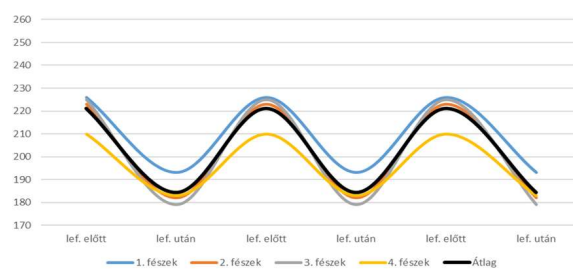


7. ábra. Szerszám hőkamerás képe, mozgó oldal

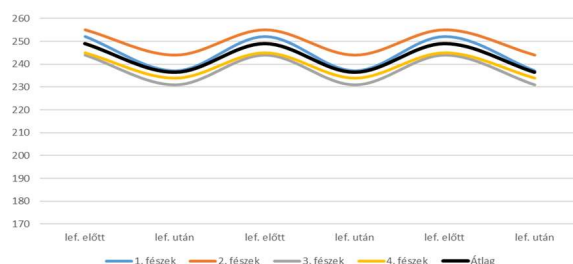


8. ábra. Szerszám hőkamerás képe, álló oldal

A 9. és 10. ábrákon látható a hőingadozás amplitúdójának csökkentése. Ezzel a fejlesztéssel a hirtelen hőmérséklet-változást, a hősokkot elkerülhetjük, amivel növelni lehet az anyag kifáradási határát és ezzel együtt az élettartamát is.



9. ábra. Mozgó oldali hagyományos lefűtés



10. ábra. Mozgó oldal hőingadozása

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A nagynyomású alumínium öntészetben használt szerszámok élettartamát a tervezési folyamat fejlesztésével kívántuk növelni. A tervezési folyamat során a Magma szimulációs szoftver segítségével becsljük az élettartamot és módosítjuk a tervet ennek megfelelően. Az új tervezési elvek alapján készült szerszámokat a kísérleti gyártás során vizsgáltuk. A hőkamerás mérés alapján a hőingadozás amplitúdója jelentősen csökkent, ami a szerszám élettartamát várhatóan növeli.

7. PÁLYÁZATI INFORMÁCIÓ

A 2018-1.1.2-KFI-2018-00088 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással valósult meg.

8. IRODALOM

[1] Bednarek, H.: Nyomásos öntőszerszámok záróerejének csökkentése és élettartamának jelentős növelése, Bányászati és kohászati lapok - Kohászat, ISSN 0005-5670 2004, vol. 137, No. 3, pp. 17-19

[2] Dúl J., Molnár D.: Nyomásos öntészeti folyamatok szimulációja - Bányászati és Kohászati Lapok 2005. (138. évf.) 2. sz. 19-21. old.

[3] BÖHLER Kereskedelmi Kft.: Szerszámacélok, nemesacélok, 2009.

ROBOTOS AUTOMATIZÁLT ÉLHAJLÍTÓ CELLA FEJLESZTÉSE A PMT SZERSZÁMGÉP KERESKEDELMI ÉS SZERVIZ KFT-NÉL

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC AUTOMATED PRESS BRAKE CELL AT PMT MACHINE TRADING AND SERVICING LTD.

*Pekárik János gépészmérnök, gépgyártástechnológus
PMT Szerszámgép Kereskedelmi és Szerviz Kft.
pekarik.janos@pmtgep.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A PMT Szerszámgép Kereskedelmi és Szerviz Kft. üzleti tevékenysége során élhajlító gépek és élhajlító szerszámok kereskedelmét is végzi. Tapasztalataink szerint az automatizált élhajlító gépek, élhajlító cellák utáni igény folyamatosan növekszik, aminek elsődleges oka munkaerőhiány, de egyre fontosabb tényező a termelékenység és a hatékonyság növelése is. Ezzel összhangban az elmúlt években növekvő számú megkeresést kapunk kis és középvállalatok részéről. A jelenleg elérhető automata rendszerek azonban a nagy volumenű gyártás kiszolgálását célozzák, automatizált élhajlító cellákat csak a prémium kategóriában találunk, amelyek kis és középvállalatok számára nem nagyon fizethetők meg.

Társaságunk stratégiai célkitűzése saját, a KKV szektor igényeinek megfelelő automatizált gépek fejlesztése és saját fejlesztésű berendezésekből álló termékportfólió kialakítása. Jelen projekt során célunk egy kis és középvállalatok igényeire szabott automatizált élhajlító cella kifejlesztése, amely a kézi technológiával végzett élhajlítás teljes vagy részleges kiváltását teszi lehetővé. A berendezéssel az alkatrész kezelést (alkatrész felvétel, pozicionálás, vastagság mérés, hajlítási lépések elvégzése, forgatás, átfogás, alkatrész lerakás) és az élhajlító szerszám cserét kell megvalósítani. Ezzel nagyszámú operátori feladatot váltunk ki.

ABSTRACT

In the course of its business activities, PMT Machine Trading and Servicing Ltd. also is dealing with press brake and press brake tools trade. In our experience, the demand for automated press brake machines and press brake cells is constantly increasing, which is primarily due to labor shortages, but also to increasing productivity and efficiency. In line with this, we are receiving an increasing number of inquiries from small and medium-sized enterprises in recent years. However, the automation systems currently available are designed to serve high-volume manufacturing, with automated press brake cells found only in the premium category, which are not very affordable for small and medium-sized businesses.

The strategic goal of our company is to develop our own automated machines that meet the needs of the SME sector and to create a product portfolio of self-developed equipment. In the present project, our goal is to develop an automated press brake cell customized to the needs of small and medium-sized companies, which allows the complete or partial replacement of the bending with manual technology. The equipment is used for part handling (part pick-up, positioning, thickness measurement, bending steps, rotation, gripping, part unloading) and the changing of the press brake tools. This triggers a large number of operator tasks.

BEVEZETÉS

A célkitűzések meghatározásához fontos megjegyezni, hogy a kis és középvállalatok nem minden esetben igényelnek automata berendezést. Nagy számban teljesítenek kis volumenű megrendeléseket is, amelyek esetén továbbra is gazdaságosabb a manuális munkavégzés, a kapcsolódó folyamatok automatizálása nem minden megrendelés esetén indokolt. További szempont, hogy vannak olyan alkatrészek, melyeknél a kialakítás miatt a teljes hajlítási folyamat nem végezhető el automatizáltan, csak manuálisan. A berendezést ezért úgy kell kialakítanunk, hogy manuálisan végzett élhajlításra is alkalmas legyen. A berendezés így négyféle üzemre képes: (1) Automata üzemmódban az alkatrész kezelést (alkatrész felvétel, pozicionálás, vastagság mérés, hajlítási lépések elvégzése, forgatás, alkatrész lerakás) és az élhajlító szerszám cserét kezelői beavatkozás nélkül teljesen automatikusan végzi. Ebben az esetben emberi közreműködést csak a cella kiszolgálása igényel, amely az alapanyag megfelelő pozícióba helyezését és a késztermék elszállítását foglalja magába. (2) Manuális üzemben az alkatrész kezelést és az élhajlító szerszám cserét is operátor végzi. (3) Csak az alkatrész kezelést végzi automata üzemmódban, a szerszámok cseréje továbbra is manuális. (4) Csak a szerszámcsereét végzi automatikusan a robot, az alkatrész kezelés manuálisan történik. Célkitűzéseink szerint a manuális és automata munkavégzés közötti átállási idő 10 másodperc, ezalatt az élhajlító cellát manuálisról automatára, vagy automatáról manuális kezelésűre kell tudnunk állítani.

KÖVETELMÉNYEK

A berendezéssel szemben támasztott további célkitűzésünk az univerzális kialakítás. A berendezésnek kezelni kell a szélesebb körben alkalmazott élhajlító szerszámokat, így a WILA és US (Unió Standard – Amada-Promecam) szabványokba tartozó szerszámokat, az LVD és a Bystronic típusait és a kisebb arányban gyártott, vagy egyedi szerszámokat is. A berendezésnek képesnek kell lennie mindkét szabványba tartozó és egyedi szerszámok automata cseréjére a vevő választása szerint. A szerszámcsereét automatikusan 10 másodperc alatt szükséges végrehajtani (egy szerszámegységre

vonatkoztatva), a szerszámegyfogásra rendelkezésre álló idő 2 másodperc. Szerszámcsere során az élhajlító szerszámot az élhajlító gép szerszám rögzítőjében és a szerszám tárban 0,2 mm-es pontossággal szükséges elhelyezni, a szerszám mozgatás elvárt pontossága 0,2 mm. A szerszám mozgatás pontossága meghatározó, mivel több élhajlító szerszám behelyezése esetén nem lehet a szerszámegységek között nagy hézag és össze sem ütközhetnek a berakáskor (a szerszámok ütköztetett pozícionálása nem megengedett).

A berendezéssel szemben támasztott célkitűzéseink a következőképpen foglalhatók össze:

- Alkalmasnak kell lennie manuális és automatikus üzem módra, 10 másodperces átállási idő mellett.
- Automata üzem esetén az alkatrész kezelést (alkatrész felvétel, pozicionálás, vastagság mérés, hajlítási lépések elvégzése, forgatás, átfogás, alkatrész lerakás) és az élhajlító szerszám cserét kezelői beavatkozás nélkül automatikusan kell végeznie.
- Manuális üzemmódban az alkatrész kezelést és az élhajlító szerszám cserét is az operátor végzi.
- Alkalmasnak kell lennie különböző típusú élhajlító szerszámok használatára és cseréjére (természetesen egy gépen csak egy típus). Célunk, hogy a szerszámok egyszerűen és gyorsan megfoghatók, cserélhetők legyenek, a szerszámcsere idejének 10 másodpercre kell lennie egy szerszámegységre vonatkoztatva. Az alkalmazható szerszám szabványok: WILA, US (Unió Standard), LVD, Bystronic, valamint kisszériás és egyedi szerszámok.
- A szerszámmozgatás pontossága 0,2 mm.
- Az automata kialakítás a cellában alkalmazott élhajlító gép gyári méretét (terület foglalást) jelentősen, többszörösére nem növelheti, maximum 70%-os arányban.

HATÁSA

A fejlesztésnek nemzetgazdasági szinten is jelenkező hatása lehet, mivel hozzájárulhat az érintett felhasználói kör (KKV-k) esetén az automatizáció gyorsabb, bevezetéséhez, megvalósításához. A projekt során keletkező eredmények nemzetközi szinten is újdonságnak tekinthetők. A projekt egy nemzetközi szabadalommal és a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatal által kiállított K+F minősítéssel rendelkezik, azonosítószám KF2100018.

A fejlesztés eredménye versenyképes feltételeket tud biztosítani az élhajlítást végző kis és középvállalatok számára mind a hazai, mind az európai piacon. Olyan munkafolyamatok automatizálására nyílik lehetőségük, amelyet jelenleg megfelelő berendezés hiányában manuálisan végeznek, hiszen a jelenleg elérhető automata rendszerek a nagyvolumenű gyártás kiszolgálását célozzák, gazdaságtalanok a kisebb vállalkozások számára. Az automatizált élhajlító cellákat csak a prémium kategóriában találunk, amelyek kis- és középvállalatok számára nem megfizethető árúak és az általuk nagyszámban alkalmazott US szerszám rendszereket sem képesek kezelni.

A létrejövő műszaki-tudományos eredmények útmutatást adhatnak a kis és középvállalatok számára az automatizáció és az élhajlítás műveleteinek hatékony megszervezéséhez. A projekt eredménye így hozzájárul a KKV szektor innovációs képességének ösztönzéséhez. Az automatizált gépek alkalmazásával a KKV szektor hozzáadott értéket előállító képessége is növekszik, és vonzóbb beszállítói bázist is jelenthet a nemzetközi nagyvállalatok számára.

MEGVALÓSÍTÁS

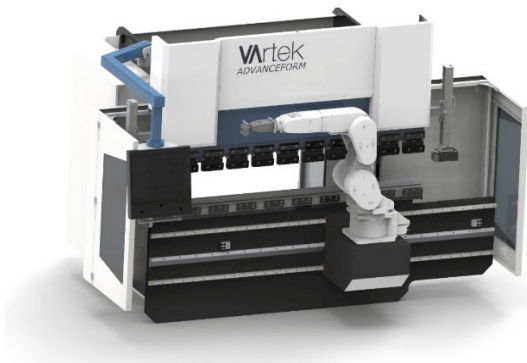
A projekt eredményeként fejlesztett élhajlító cella a következő elemekből áll:

- Élhajlító berendezés (egyedi tervezésű robotos cserélésre alkalmas szerszám rögzítő rendszerrel kiegészítve, robot parkoló hellyel ellátva)
- Robotkar a termék mozgatására és a szerszám cseréjére
- Automatizált szerszám cserélő rendszer (gripper/szerszámmegfogó)

- Szerszámtár
- Alkatrész pozicionáló és fordító
- Aktív lemezzvastagság mérő
- Alapanyag tároló és pozicionáló
- Késztermék csúszda
- Késztermék tároló rendszerek

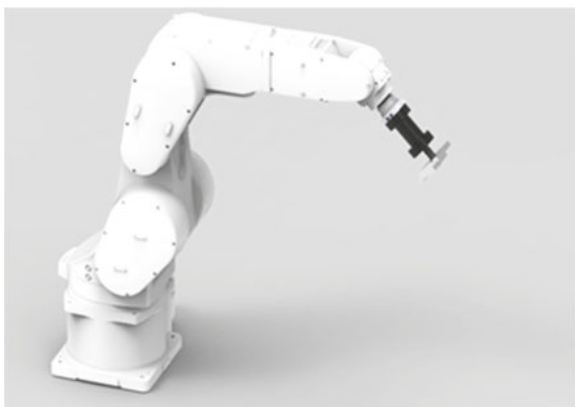
A fejlesztés során figyelmet fordítunk arra, hogy a cella moduláris felépítést kapjon, egyes elemei külön is telepíthetők legyenek. Ez lehetőséget ad arra, hogy olyan KKV-k esetén akik jelenleg is végeznek élhajlítási tevékenységet, elvégezzük a meglévő gépeik automatizálást. A robotkar, az automatizált szerszámcserélő telepítésével, olyan berendezéseket is automatizálni tudunk, amelyek jelenleg csak manuális működésre képesek. Ezzel az automatizált gépek területén a körforgásos gazdaság felé teszünk lépéseket. Az élhajlító gépek életciklusa jelentősen növelhető. Ezzel a projekt hozzájárul a hulladék minimalizáláshoz, az erőforrás-felhasználás csökkentéséhez, a környezeti terhelés mérsékléséhez és a gyártóberendezések életciklusának növeléséhez.

A robotkar és az élhajlító berendezés a piacról kerül beszerzése, a többi részelem egyedileg fejlesztett konstrukció. Az élhajlító berendezést egyedi tervezésű, robotos cserélésre alkalmas szerszám rögzítő rendszerrel látjuk el. A robotkart az élhajlító gép első síkjában, a gép alján, a célra kialakított sínen helyezük el. A robot a hajlító gép előtt, a sínen mozgatható, ami biztosítja, hogy a robot egyszerűen elérje a cella összes elemét, továbbá a robot egyszerűen a gép szélére – holtterbe vezérelhető, így manuális munkavégzés esetén az operátort nem akadályozza. A berendezés ezáltal manuális és automata üzemre is alkalmas. A lemezzalkatrészek megfogását az adott munkadarabnak megfelelő tapadókorongos vagy csipeszes (ujjas) megfogók, a szerszámmegfogást saját tervezésű megfogó (gripper) biztosítja. A gripper/szerszámmegfogó hajlítás során a szerszámtárban kerül elhelyezésre. Szerszámcseréje esetén a robot a munkadarab megfogót a szerszámtárba helyezi és grippert/szerszámmegfogót felveszi. Ugyan ez az eljárás az alkatrész megfogók cseréje esetén is.



A fejlesztés során a jelentős kihívást az automatizált szerszám cserélő rendszer kialakítása jelentette. A berendezésnek kezelni kell a széles körben elterjedt élhajlító szerszámokat, így a WILA és US (Unió Standard) szabványokba tartozó szerszámokat, az LVD, a Bystronic, valamint a kisszériás és egyedi szerszámok is. A problémát a szerszámok automatizált megfogása jelenti, tekintettel arra, hogy a szerszámgyártók egyedi megoldásai miatt a szerszámok kialakítása (rögzítési rendszer, forma, súlypont, lehetséges megfogási pontok stb.) nagyon eltérnek, ami miatt egy általános megfogó kialakítása jelentős kihívást jelentett. Az automatikus szerszámcsere érdekében a szerszámokat a sztenderd kialakításhoz képest kis mértékben módosítani kell. Ez a módosítás, akár meglévő szerszámon is, egy szerszámüzem részéről kis költséggel elvégezhető.

Kihívást jelentett a szerszámtár kialakítása, mert abban a szerszámokat (minden típusára alkalmazhatóan) megfelelően rögzíteni kell, hogy a pozíciójuk stabil legyen, de a robot ki tudja venni belőle és vissza tudja azokat helyezni megfelelő pontossággal.

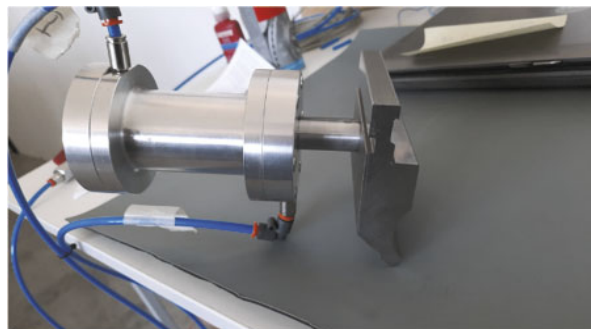


Jelenleg csak a WILA rendszerekhez szerezhető be kereskedelmi forgalomban kapható robotos megfogó (gripper) tipizált egység. A világon az élhajlítógépek

kétharmada viszont az US típusú (Amada-Promecam) típusú szerszámrendszerrel kerül forgalomba, azonban ezekhez automata szerszámcsert biztosító robotos megoldás nem elérhető jelenleg. A WILA rendszer mellett csak egyedi megoldásokat találunk, azonban ezek az iparág sajátosságai miatt nem megismerhetők, kereskedelmi forgalomba önállóan nem kerülnek, ami jelentős felhasználói kört kizár az automata megoldások alkalmazásából. Ezért fejlesztettük ki az univerzális élhajlító szerszám megfogókat, melyre nemzetközi szabadalmunk van.

JELENLÉGI HELYZET

Elkészült a robot feépítésre előkészített 2 m-es Vartek típusú élhajlító gép. Rendelkezésünkre állk egy 13 kg terhelhetőségű Mitsubishi robot. Készen van a szerszámmegfogó gripper prototípusa, melynek az üresjárati vizsgálata (kb. 10 év üzemnek megfelelő) befejeződött. Kialakításra került egy modell szerszámtár. Jelenleg a robotos szerszámcsere beállításai és tesztelése folyik.



Társaságunk a jelen projektben foglalt fejlesztési feladatok döntő részét saját alkalmazottaival és saját kapacitásain végzi el. Ehhez saját munkavállalóinkból álló szakmai projektteamet alakítunk, amelyet a projekt fejlesztési-szakmai feladatainak irányítását is végző vezető kutató fogott össze. A projektszervezet alkalmi jelleggel, kifejezetten a projekt szerinti fejlesztés lebonyolítására került felállításra.

IRODALOM

- 1./ SZTNH KF2100018 számú minősítés
- 2./ 2138521 számú szabadalmi bejelentés
- 3./ Torsten Christensen (ChangeForce) 2021.05.14.
- 4./ Verslo Zinios 2021.07.27.
- 5./ CECIMO 14. kiadás (Magazine-Fall 2020/12)

ADDITÍV ÉS SZUBTRAKTÍV GYÁRTÁSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA SZÁMÍTÁSI MODELLEL

COMPARISON OF ADDITIVE AND SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES WITH A COMPUTATIONAL MODEL

*Seregi Bálint Leon BSc. hallgató, seregibalint@edu.bme.hu
Ficzere Péter egyetemi adjunktus, ficzere.peter@kjk.bme.hu*

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra kerülő számítási modell célja, az optimális gyártástechnológia választása a munkadarabunkhoz, egy lista alapján, melyben a paraméterek fontossági sorrendjét definiálhatjuk. Az eljárás ezen szakaszában a modell a különböző paramétereket egyforma súlyozással veszi figyelembe, ezáltal csak közelítve a hatékonyságot a vizsgált technológiák között. A vizsgált technológiák: 5-tengelyes marás és additív technológiák, mint DMLS és LDT. A vizsgálat első felében a paraméterek, második felében pedig a számítás menete kerül bemutatásra

ABSTRACT

The aim of the computational model presented in this article is to choose the optimal manufacturing technology for a workpiece, based on a list of parameters in which we can define the order of importance. At this stage of the procedure, the model considers the different parameters with equal weighting, thus only approximating the efficiency between the technologies under consideration. The technologies under consideration are 5-axis milling and additive technologies such as DMLS and LDT. The first part of the study describes the parameters and the second part the calculation procedure.

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológia, közismert nevén 3D nyomtatás, még ma is újkeletű dolognak számít. A komplex felületek létrehozása és a súlycsökkentés lehetősége a technológia leggyakrabban említett jellemzője. Valódi ipari körülmények között azonban a technológia újszerűsége miatt a gép és az alapanyag

költségek sokkal magasabbak az 5-tengelyes forgácsoláshoz képest. Ez a típusú gyártás más filozófiát igényel, mint az eddig ismert szubtraktív eljárások. Ezeket a technológiákat eltérő jellegük miatt nehéz kombinálni. Ahogy a nevükben is szerepel, az egyik anyag elvonással, míg a másik anyag hozzáadással dolgozik. Mindegyik típus magas szintű szakértelmet igényel, ezért nagyon nehéz mindkét területen egyformán jártas szakembereket találni. Emiatt szükségszerű összeállítani egy összehasonlító modellt, amellyel még az egyes területeken kevésbé tapasztalt személyek is képet kaphatnak arról, hogy melyik technológiát célszerű alkalmazni. Az itt bemutatandó modell egy végső cél kezdetleges alapja, csak a számítás és a vizsgálat elvét akarja bemutatni.

2. MÓDSZER

2.1. Paraméterek

Kiindulásként a felhasználó által kívánt sorrendet a már összehasonlított paraméterek táblázatából kell megállapítani, majd fel kell sorolni az egyes technológiák pozícióit. [1] Ehhez a listához egy alapvető súlyozási rendszert rendelünk. Az adott paraméter helyezését megszorozzuk a súlyozás értékével, majd végül az összes súlyozott paraméter összegével kapunk egy számot, amelynek segítségével egy százalékos értéket határozhatunk meg. Ezt mindhárom technológiával meg kell tenni, majd a százalékoktól függően újra kell rendezni. A legmagasabb százalékos eredménnyel rendelkező technológia a leghatékonyabb a megállapított fontossági sorrend esetén. Az összehasonlítás figyelembe veszi a tíz

legfontosabb paramétert általánosságban, az összehasonlítás eredménye megváltozhat a paraméterek listájának esetleges bővítésével vagy a technológiákat összehasonlító pontosabb vizsgálattal.

2.1.1. Felületi érdesség

A cél a lehető legkevesebb érdesség elérése, de a sorrend felállításakor fontos megjegyezni, hogy egyes technológiák nem biztos, hogy a legjobbak, de elérik a munkadarabhoz szükséges minimális érdességet, ezért jobb, ha ezt a paramétert lejjebb tesszük a listában. Ennek eredményeként érdemes megismerni egy adott technológia képességeit ebben a tekintetben, és kiválasztani a fontosságot, hogy az adott alkatrészünkhöz mekkora tőrés szükséges. Általános szabály, hogy minél kisebb a megengedett eltérés, annál nagyobb összegre van szükség a gyártáshoz. Minden esetben az a cél, hogy a lehető legnagyobb tőrést találjuk meg az alkatrész összeszerelésének vagy teljesítményének befolyásolása nélkül. [2]

2.1.2. Gyártási idő

Jelzi a darabonkénti ciklusidő fontosságát, tehát ha fontos, hogy a darabonkénti gépidő a lehető legrövidebb legyen. Mindhárom technológiával lehetséges több darab egyidejű gyártása egyetlen ciklusban (5-tengelyes marás esetén a legritkábban), bár ez nagyban függ a munkaterület és a munkadarab méretétől. A nyomtatásnál kulcsfontosságú tényező az alkatrész mérete. Minél nagyobb a méret, annál hosszabb ideig tart a nyomtatás. (Ez hibrid módszerekkel minimalizálható, de egyelőre nem vesszük figyelembe őket)

2.1.3. Gyárthatóság

A vizsgálat során az alkatrész gyárthatósága elsősorban a geometriától függ. Megmunkálás esetén a szerszámok geometriájának és a gép felépítésének lehetnek bizonyos korlátai, amelyekkel már semmilyen módon (vagy nem gazdaságosan) sem képes az adott geometriát előállítani. Mindazonáltal az additív gyártás itt előnyt jelent, mivel a rétegződés elvével szinte bármilyen alakot képes előállítani (akár teljesen üreges, akár részben kitöltött a tömör darabok mellett). Az 5-tengelyes megmunkálásnál a határt a szerszám geometriája, valamint a gép működési és mechanikai felépítése határozza meg.

2.1.4. Alapanyag

Ez a paraméter figyelembe veszi a nyersanyag megmunkálhatóságát és árát. A fém nyomtatásnál csak por alapú alkatrészekről beszélhetünk, amelyek sokkal drágábbak, de ezt a funkciót ellensúlyozza az a lehetőség, hogy szinte bármilyen ötvözetnél kedvező a megmunkálhatóság (fontos befolyásoló tényező a porszemcsék mérete). Marás esetén az anyag számára megfelelő eszközök rendelkezésre állása lehet a korlát (speciális szerszámigények). [3]

2.1.5. Anyag veszteség

A technológiák jellege miatt a forgácseltávolítás jelentős anyagvesztéssel jár. Ha egy alkatrész drágább anyagból készül, akkor fontos figyelembe venni az leválasztott anyag mennyiségét is. Ezt a paramétert magasabbra kell tenni a sorrendben, ha nem szeretnénk, hogy a gyártás során sok felesleges anyag keletkezzen. Additív részről a támasztékok miatt fontos figyelembe venni, mivel itt a veszteség egy jóval drágább alapanyag.

2.1.6. Posztprocesszálas szükségessége

Ez hőkezelés, köszörülés, bevonatolás vagy támaszték eltávolításának szükségességét jelenti. Egy tipikus probléma lehet a csavarfej számára kialakított furatok tetején kialakítandó felfekvési terület. Ez jellemzően öntött alkatrészeknél fordul elő, de mivel a fémnyomtatás normál körülmények között hasonló felületminőséget képes elérni, az utómunkálatok a gyártás szükséges és nélkülözhetetlen részei. Természetesen a kivételek olyan részek, amelyek nem igényelnek ilyen felületeket, vagy nem ilyen minőségűek. [4], [5]

2.1.7. Alkatrész tömege

Egyes ipari területek kifejezetten kritikusnak tartják az alkatrészek tömegét. Ezekben az esetekben a topológiai és generatív tervek jönnek létre. Ezeknek köszönhetően olyan alakzatokat tervezhetünk, amelyek megfelelő erővel ellenállnak a feszültségeknek, de alakjuk miatt könnyebbek. Ez a funkció tovább finomítható megfelelő könnyebb anyagok kiválasztásával. Továbbá additív gyártás esetén van lehetőség különböző kitöltések használatára, így csökkentve a tömeget, ezért a nyomtatás kimagaslóan teljesít ezen területen, míg a forgácsolás esetén leginkább csak az anyagminőséggel lehet nagyobb hatást elérni.

2.1.8. Anyag és gépi költségek

A forgácsoláshoz szükséges alapanyag beszerzése lényegesen olcsóbb, mint a nyomtatáshoz, de sajnos, amint azt már tárgyaltuk, nem feltétlenül tudunk semmilyen anyagot gazdaságosan forgácsolni, mivel ez a gép teljesítményétől, a szerszám anyagától és az anyag forgácsolhatóságától is függ. Nyomtatás esetén a magasabb költséget az alapanyag jelenti, mivel itt az anyagot por formájában kell felhasználni, ami megnöveli az előállítási költségeket (kb. 150 Dollár kilogrammonként). Ennek ellenére lehetnek olyan esetek, amikor ez a módszer jobban megéri, mivel a por lehetővé teszi számunkra, hogy mechanikus ötvözt hajtsunk végre, és ezáltal olyan erős anyagokkal dolgozzunk, amelyekhez drága és speciális eszközökre lenne szükség a vágás során. Továbbá annak ellenére, hogy az alapanyag drágább, kevesebb hulladék keletkezik, így a vásárolt / felhasznált anyag aránya újrahasznosítás szempontjából kimondottan jónak mondható. A gyártás során a gépek árát is figyelembe kell venni. A szokásos 5-tengelyes maró hozzávetőlegesen 100 000 Euró, és ez még nem tartalmazza a szerszámkészlet és a készülékek árát, amely minden bizonnyal 2-3000 Euróval növeli a költségeket a speciálisan tervezett szerszámok miatt. Ennek árát vissza kell hozni a nyereségből, továbbá maga a gép karbantartása és üzemeltetése egyéb költségekkel is jár, ami a speciálisabb gépeknél is növekszik. A gép költsége mellett a szakértelem is nagyon fontos, hogy kinek kell kezelnie ezeket a gépeket, és megterveznie a gyártást. Ennek a szakértelemnek a fizetése nagyjából megegyezhet az additív és a szubtraktív oldalon, bár a nyomtatási szakértelem jelenleg drágább lehet, mivel még kevésbé általános területről beszélünk. Fontos megjegyezni, hogy az 5-tengelyes marási műveletek a CAM rendszerekben csak korlátozott beállítási lehetőségeket kínálnak a szerszám pályák létrehozásához, vagyis az 5 tengelyes marási műveletek könnyen kezelhetők, de „felkészültségük” miatt nem biztosítják a teljes irányítást a szerszám pályák felett. Éppen ezért a forgácsoló szakemberek ismerete is magasabb szinten várható el, növelve ezzel értéküket. Tehát a paramétert a sorrend elején kell használni, ha figyelembe akarjuk venni az alkatrész pénzügyi határait.

2.1.9. Mennyiség

Az előállítandó mennyiségnél fontos figyelembe venni, hogy marás esetén közepes sorozatgyártásnál (~ 1000 darab) csökken egy darab ára a legjobban. A nyomtatás esetében a tömeggyártás, amint azt korábban említettük, nem csökkenti jelentősen a darabok árát, de egy ciklus alatt több darab is előállítható. Mivel a fémnyomtatást általában prototípusok és pótalkatrészek gyártására használják, érezhető, hogy nem a nagyüzemi gyártási tevékenység erőssége.

1. Táblázat: A technológiák helyezése adott paramétereken belüli összehasonlításnál

Paraméterek	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
Felületi érdesség	1	2	3
Gyártási idő	1	3	2
Gyártási költség	1	2	3
Gyárthatóság	3	1	2
Alapanyag	1	2	2
Anyagvesztés	3	2	1
Posztprocesszálas szükségessége	1	3	2
Alkatrész tömege	3	1	1
Anyag & gépi költség	1	2	3
Mennyiség	1	2	2

3. SZÁMÍTÁS

A paramétereket fontossági sorrendbe kell rendezni. A lista első elemének kell lennie a legfontosabb paraméternek, a kevésbé fontos paramétereket pedig a lista vége felé kell felvenni. A létrehozott sorrend szerint a három vizsgált technológiát három különböző oszlopra osztjuk, úgy, hogy a paraméterek az M mátrixban az adott sorrendben legyenek elrendezve. Az új táblázatnak, az 1. táblázathoz hasonlóan, fel kell tüntetnie a vizsgált technológia helyezését egy adott paraméter esetén. A súlyozás 10 és 1 közötti tartomány, amely a legfontosabbnak ítélt elemet bünteti a legjobban. A súlyozási értékek megadják a W (1) oszlopvektort.

$$W = \begin{pmatrix} 10 \\ 9 \\ 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Az értékek összege egy egész számot ad. Minél alacsonyabb a szám, annál hatékonyabb az adott technológia, mivel nem sok pontot ért el a legjobban súlyozott paramétereknél. Ennek százalékos formában való kifejezéséhez ki kell számolni a rendelkezésre álló minimális és maximális értékeket, így megkapva a munkatartományt (számítási tartományt). A legmagasabb (2) és a legalacsonyabb (3) érték közötti különbség adja meg ezt tartományt, amely más súlyozási skálák esetén dinamikusan változik.

2. Táblázat: 5-tengelyes marás esetében a súlyozás és részeredmények értékei

Paraméterek	Súlyozás	Helyezés	Érték
Felületi érdesség	10	1	10
Gyártási idő	9	1	9
Gyárthatóság	8	3	24
Alkatrész tömege	7	2	14
Alapanyag	6	1	6
Gyártási költség	5	1	5
Posztprocesszálas és szükségessége	4	1	4
Anyagvesztés g	3	3	9
Mennyiség	2	1	2
Anyag & gépi költség	1	1	1

A munkaterület meghatározásakor a legalacsonyabb elérhető értéket (ami a legjobb) le kell vonni az eredményből (az értékek

összege), majd el kell osztani a munkaterület egy százalékával. Ez százalékos eredményt ad, de demonstratívabb, ha a jobb eredmény a magasabb százalék, ezért 100-at le kell vonni a kapott értékből, és ez egy hatékonysági százalékot (4) ad a választott sorrendnek ez technológián belül.

$$Best\ result = \sum_{n=1}^{10} \bar{W}_i \quad (2)$$

$$Worst\ result = \sum_{n=1}^{10} 3 \cdot \bar{W}_i \quad (3)$$

$$Percentage_{sax} = 100 - \left[\frac{Result_{sax} - Best\ result}{\frac{Value\ set}{100}} \right] \quad (4)$$

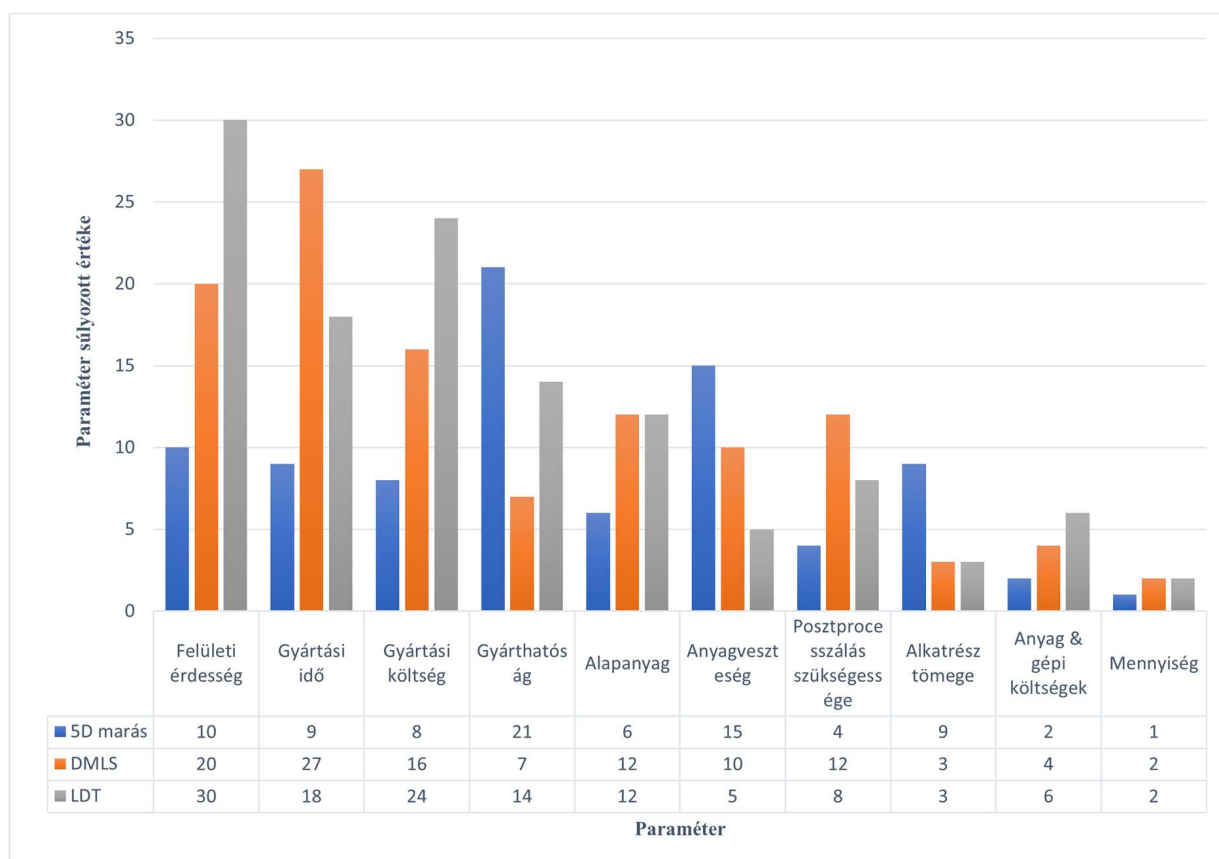
4. EREDMÉNYEK

A végeredmények azt mutatják, hogy a példa fontossági sorrendünk az 5-tengelyes marást tenné a legjobb technológiai választásnak részünkről.

2. Táblázat: Az értékek összege adja egy adott technológia erősségét a megadott paraméter sorrend esetében

	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
Értékek összege	85	113	122

Az 1. ábrán megfigyelhetjük, hogy csak háromszor volt a legtöbbet megbüntetett technológia. A DMLS ötször kapta a legmagasabb büntetést, az LDT pedig hatszor. Ez az arány megfigyelhető az eredményekben is. (4. táblázat)



1. ábra A súlyozás által szerzett büntetőpontok eloszlása a technológiák között

5. VIZSGÁLAT

3. Táblázat: Az végeredmények százalékos értékei

	5-tengelyes marás	DMLS	LDT
Eredmény	79%	54.5%	43.6%

Az első ábra jól mutatja, hogyan alakul a büntetési pontok hozzáadása a paraméterlista előrehaladtával. A súlyozás lépései kiterjedtek az eredmények közötti különbségeket, ami jó lehet, ha csak hozzávetőleges eredményt akarunk elérni, de egy kifinomult számítási modell esetében ez nem tolerálható. Az eredmények eloszlása finomítható több alkatrész és gyártási paraméter figyelembevételével. Azoknál a paramétereknél, ahol a döntetlen található, meg kell határozni az összesnél egy eldöntött sorrendet. Emiatt szigorúbb kritériumokkal kell tesztelni a technológiákat abban az esetben, ha egy paraméter első, második és harmadik helyezését szeretnénk meghatározni. Ez még pontosabbá teszi az eredményt. A további paraméterek vizsgálatának szükségességét tovább jelzi, hogy az additív

technológiákat csak négyszer tekintettük nyertesnek egy paraméteren belül. A paraméterek közötti kapcsolatok meghatározása fontos feladat, mert ha olyan paramétert veszünk, amely komoly hatással van (vagy esetleg megváltoztatja) egy másikra, akkor a másik paramétert nagy valószínűséggel a kiválasztási sorrend hasonló részein kell figyelembe venni.

6. KONKLÚZIÓ

Egy alapvető súlyozási modellt használtunk annak meghatározására, hogy a vizsgált technológiák közül melyik a leoptimalisabb az alkatrészünk előállításához, ha bizonyos paraméterek között sorrendet állítunk fel. Az eredmények azt mutatják, hogy több paraméterre és a súlyozási rendszer finomítására van szükség. Az eredmények iránya rendben van, de nem elég pontos. További célunk a modell továbbfejlesztése a paraméterek relatív súlyozásának és érzékenységének meghatározásával. Ezen túlmenően, az eredmények tesztelésére és megvizsgálására különböző próbadarabokkal szükségesek, amelyek egyszerre csak egy technológiának kedveznek, így pontosabb képet kapunk a modell viselkedéséről.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Seregi B., Ficzer P. Borbás L., Fémalkatrészek additív és szubtraktív módon történő gyártásának összehasonlítása, Acta Periodica, 2021,s DOI 10.47273/AP.2021.22.18-32
- [2] Norman Emme Woldman, Robert C. Gibbons, Machinability and Machining of Metals, McGraw-Hill, 1951
- [3] Akash Bhatia, Anuj Kumar Sehgal, Additive manufacturing materials, methods and applications: A review, Materials Today: Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853
- [4] Abdul Wahab Hashmi, Harlal Singh Mali, Anoj Meena, Improving the surface characteristics of additively manufactured part: A review, Materials Today: Proceedings, 2021, ISSN 2214-7853
- [5] Weltsch Z., Comparative study of the joining technologies of vehicle bodywork sheets, IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 448 Paper: 012061 (2018)
- [6] Hlinka J.,Bán K.,Examination of Additive Manufactured Parts With Bending Test, PERNER'S CONTACTS 19 : Special Issue 2 pp. 108-115. 8 p. (2019)

3D LÉZERES MEGMUNKÁLÓ GÉP TERVEZÉSE, ÖTLETTŐL A KIVITELEZÉSIG

DESIGN OF A 3D LASER ABLATION MACHINE, FROM IDEA TO EXECUTION

Szépligeti András, andras.szepligeti@aqq.se

ÖSSZEFOGLALÁS

A gázturbina iparban a lapátok védelmére széles körben alkalmazott kerámia bevonatok megmunkálása komoly kihívást jelent minden ipari szereplőnek. A hagyományos technológiák időigényesek és költségesek. Jelen írás bemutatja a kerámia bevonatok precíz 3D-megmunkálására alkalmas célgép tervezési folyamatát, a gép felépítését, működési elvét és képességeit.

ABSTRACT

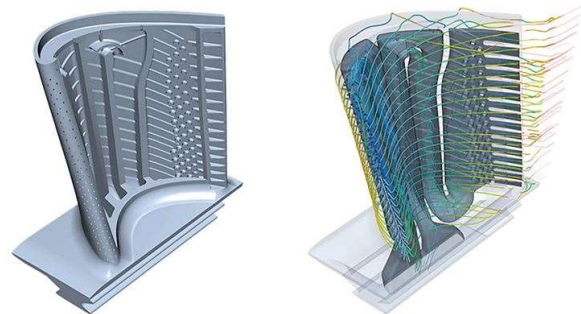
The machining of ceramic coatings, which are widely used to protect blades and vanes in the gas turbine industry, is a major challenge for all industry players. Conventional technologies are time consuming and expensive. This paper presents the design process, machine structure, operating principle and capabilities of a custom made machine suitable for precise 3D machining of ceramic coatings.

1. BEVEZETÉS

Az ipari gázturbinák a kedvezőbb hatásfok érdekében egyre magasabb hőmérsékleten üzemelnek, ezért kiemelt szerepe van a lapátok védelmének és hűtésének. A gázturbina lapátok jellemzően nikkel-bázisú szuperötvözet öntvények, melyeknek az üzem során az olvadáspontjuk feletti hőmérsékletet kell elviselniük. Ehhez folyamatos hűtésre van szükség, melyet a gázturbina kompresszorából a lapátok üregeibe vezetett friss levegővel oldanak meg. Az üregekből a levegő a lapátok hűtőfuratain keresztül a lapát felületén filmréteget alkotva távozik, így a konvektív hűtés mellett egy állandó hőszigetelő réteget is alkot, ezt szemlélteti az 1. ábra. Később járatosá vált, hogy a hőmérséklet további emelése érdekében a lapátokat hőszigetelő réteggé funkcionáló kerámia réteggel látták el, ahogy azt a 2. ábra mutatja.

A hűtőfuratokat az öntvényben jellemzően szikraforgácsolással munkálják meg, a hőszigetelő réteggé felvitt kerámia (YSZ)

bevonat viszont elektromosan szigetel, ezért ez a technológia nem alkalmazható. A furatozás előtt a bevonatot meg kell nyitni, az áramlási viszonyok megtartásával.



1. ábra. A Siemens honlapján található kép jól mutatja a lapát belső üregeit és a hűtőfuratok szerepét



2. ábra. Kerámia bevonattal ellátott forgó gázturbina lapát a General Electric honlapjáról

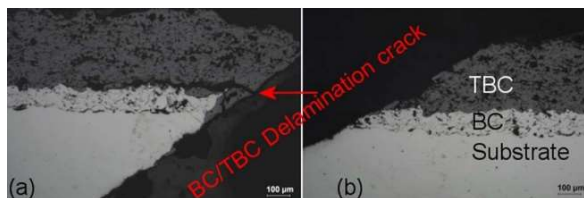
A kis átmérőjű (~0,5-1,5 mm) és a lapát felületével 20-30°-os szöget bezáró furatokat és néhány mm-es jellemző méretű diffúzor formákat pl. marással csak időigényesen és óriási szerszámköltséggel lehet megmunkálni. A kerámia bevonat nagyon kemény, rideg és könnyen sérül, ami minőségi problémát jelent. Ráadásul a bázis anyag teljesen más tulajdonságokkal bír, így a megmunkáláshoz szükséges 0,8-1 mm átmérőjű marószerszámot extra igénybevétel éri a két anyag találkozásánál.

2. TERVEZÉS ELŐZMÉNYEI

Az AQ Anton Kft. az öntvény lapátok furatozását közel 20 éve végzi saját építésű furat szikraforgácsoló gépein. A kerámia bevonat megmunkálása a kezdetben alkalmazott marással nem bizonyult gazdaságosnak, ezért terelődött figyelmünk a folyamatosan fejlődő lézertechnológia felé. A piacon található kevés számú lézeres célgép erre a feladatra nagyon drágának és lassúnak bizonyult, ezért született döntés saját fejlesztésű gép építéséről.

A géptervezést hosszú kutatómunka és sok lézeres céggel lefolytatott teszt előzte meg. A technológiával szembeni elvárás, hogy a kerámia ne égjen, ne olvadjon meg a leválasztás során, kellően nagy leválasztási ráta mellett. Fontos továbbá, hogy az eltávolított kerámia réteg alatt a bázis anyag se károsuljon.

A gázturbina iparban az erre a célra általánosan használt lézer technológiák nagy hő bevitellel dolgoznak, amelyek alkalmazása a nagyon eltérő hővezetési tényezővel rendelkező kerámia rétegek és bázis anyag között repedések kialakulásához vezethet. Ez a kerámia réteg leválását okozhatja [1], [2]. Ez a turbina üzemelése során a lapát gyors elhasználódásához vezet így jelentős minőségi kockázatot jelent.



3. ábra. Mikroszkopikus kép mutatja a leváláshoz vezető repedést a kötő réteg és kerámia bevonat között egy lézerral készített furat esetén [2]

A különböző lézeres cégeknél végzett tesztek kiértékelése után sikerült olyan új lézer technológiát találni, amely alkalmasnak bizonyult a megfelelő minőségben és sebességgel a gázturbina iparban használt bevonatok megmunkálására. A választott lézertechnológia nagyon hatékony a kerámia megmunkálásra, a fémes felületekre viszont elhanyagolható a hatása. Így biztosított a gázturbina –és repülőipar által szabott szigorú minőségi követelményeknek való megfelelés, a lézer ugyanis nem olvasztja, meg és nem képez repedéseket a bázis anyagban.

A tesztek után készített metszeteken nem látható repedés a kerámia bevonatban sem a

rétegek között, ami kiemelten fontos a technológia minősítésében, ahogy az a 4. ábrán látható.



4. ábra. Az AQ Anton által épített gép lézeres kerámia megmunkálása után készített metszet nem mutat leváláshoz vezető repedést

Fontos kiemelni, hogy a bázis anyagban, azaz az öntvényben a furatok továbbra is szikraforgácsolással készülnek, a lézertechnológia a kerámia megmunkálására korlátozódik.

3. GÉPTERVEZÉS, GÉP FELÉPÍTÉSE

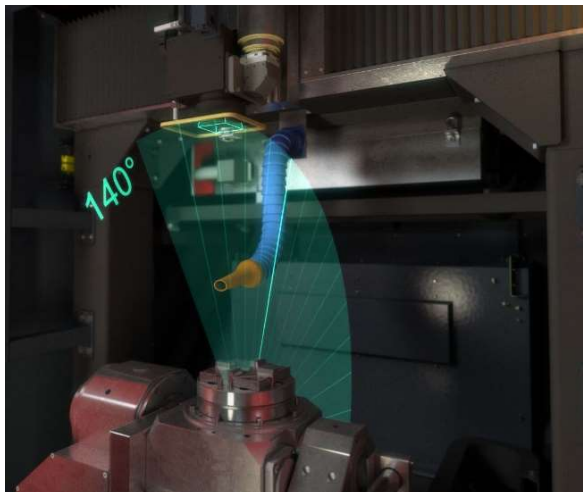
A gép tervezésének alapját az AQ Antonnál már hosszú ideje termelő 5-tengelyes furat szikraforgácsoló gépek adták. A gyártási folyamat szerint a bevonatos lapátok diffúzor és furat formái először a lézergépen kerülnek bontásra, ezután kerülnek a szikraforgácsoló gépekre. A kibontásoknál hozzáférhető öntvénybe kerülnek a furatok szikraforgácsolással. Ehhez fontos, hogy a két gép geometriája hasonló legyen, ezzel segítve a megfelelő pozícióra járást és az azonos készülék használhatóságát.

A lézeres megmunkáló gép fő mechanikai kialakításánál tehát kézenfekvő volt a szikraforgácsoló gép felépítését alapul venni illetve áttervezni. Természetesen a két technológia nagyon eltérő, ezért a gépvázon kívül szinte minden megváltozott.

A tervezett gép portál elrendezésű, 3+2 mechanikus és további két optikai tengellyel. A termék a billenést és forgatást végző körasztalra kerül rögzítésre, mely a gép alapjára épített vízszintes (X) tengellyel együtt mozog. Erre merőlegesen mozog a gerendán az Y-szán, azon pedig a függőlegesen mozgó Z-szán. A tengelyek a termék pozicionálását végzik, az egyes formák megmunkálása során a függőleges tengely kivételével nem mozognak.

A Z-szán aljára rögzített scanner-fej végzi a beérkező lézersugár munkadarab felületére irányítását a megfelelő pozícióban, a beépített

két kis tükör segítségével, melyeket nagy gyorsulású motorok mozgatnak.



5. ábra. A lézeres megmunkáló gép felépítése: az X-tengellyel együtt mozog a körasztal, a gerendán vízszintesen az Y-tengely, függőlegesen Z-tengely, vele együtt a lézersugarat irányító scanner-fej

A scanner-ig a lézersugár 5 darab 90°-os kitérítést biztosító tükör segítségével jut el. Nagy kihívást jelentett, hogy az utolsó kettő már az Y és Z tengelyekkel együtt mozog. Minden egyes tükör két irányban mozdíthatóan lett tervezve, valamint magukat a tükröket is lehet dönteni. Ez azért fontos, mert a lézer sugarat úgy kell vezetni, hogy mindig a következő tükör illetve végül a scanner közepébe érkezzen, ellenkező esetben veszteség lép fel és az így fellépő hőterhelés miatt károk is keletkezhetnek. A sugár folyamatos védelme is fontos, ezért végig zárt csövekben és harmonikákban halad, záró levegő alkalmazása mellett.

Minden mechanikus tengely hajtása szervó motorral valósul meg, a lineáris tengelyeket golyós-orsós rendszer mozgatja, a körasztalt csigahajtás működteti.

4. A GÉP MŰKÖDÉSE

A scanner optikájából kilépő sugár egy állandó távolságú pontban fókuszált, itt alkalmas a kerámia bontására. A két tükör folyamatosan nagy sebességgel mozgatja a fókuszált lézer sugarat a termék felületén a beolvasott CNC kód alapján, rétegenként eltávolítva a kerámia bevonatot tetszőleges (alámetszés nélküli) 3D formát kialakítva.

A leválasztott finom por folyamatos elszívása biztosított. A gép alkalmas a termékek bemérésére az integrált mérőfej segítségével. A gép burkolata úgy lett kialakítva, hogy a lézertény ne juthasson ki. A megmunkálás lézervédelmi ablakokon keresztül illetve a munkatérbe helyezett kamera segítségével követhető. A gép ajtajának tervezésénél fontos szempont volt, hogy a nehéz termékek daruval is behelyezhetőek legyenek. Teljesen automatikusan üzemel, az operátor feladata csupán a termékek rögzítése és megfelelő programok futtatása.

A választott technológia és a gép felépítése a bemutatott feladatra igazoltan bevált, jelenleg kettő gép üzemel három műszakban. A gépeket az AQ Anton Kft. kizárólag saját munkára építette, nem kerülnek értékesítésre.

6. IRODALOM

- [1] J. Kamalua, P. Byrdb, A. Pitmana: Variable angle laser drilling of thermal barrier coated nimonic
- [2] H. K. Sezer, L. Li, S. Leigh: Twin gas jet-assisted laser drilling through thermal barrier-coated nickel alloy substrates

CONTENTS

<i>1. Babicsné Horváth Mária, Bór Dorina, Balla Bianka, Hercegi Károly: COLLECTION AND CATEGORISATION OF ERGONOMIC RISK ASSESSMENT METHODS 5</i>	<i>6. Oláh Zoltán, Gaják Gellért: DEVELOPMENT OF ALUMINUM DIE-CASTING TECHNOLOGY TO INCREASE TOOL LIFE 31</i>
<i>2. Dr. Borbás Lajos, Temesi Tamás, Dr. Csiszér Tamás: LASER JOINING OF STRUCTURAL STEEL AND FIBER-REINFORCED POLYMER 15</i>	<i>7. Pekárik János: DEVELOPMENT OF A ROBOTIC AUTOMATED PRESS BRAKE CELL AT PMT MACHINE TRADING AND SERVICING LTD. 35</i>
<i>3. Kimpán Gergő, Dr. Gróza Márton: STRENGTH ASSESSMENT OF RAILWAY BOGIE FRAME WITH FINITE ELEMENT METHOD AND EXAMINATION WITH STRAIN GAUGE MEASUREMENT 19</i>	<i>8. Seregi Bálint Leon, Ficzer Péter: COMPARISON OF ADDITIVE AND SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES WITH A COMPUTATIONAL MODEL 39</i>
<i>4. Lévai Emese, Dr. Ficzer Péter: INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DRIVETRAIN REPLACEMENT USING CFD SIMULATIONS 23</i>	<i>9. Szépligeti András: DESIGN OF A 3D LASER ABLATION MACHINE, FROM IDEA TO EXECUTION 45</i>
<i>5. Málics Marcell, Dr. Körtélyesi Gábor: AUTOMATED DESIGN OF A METAL 3D PRINTED COMPONENT 27</i>	

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. Bukoveczky György

Dr. Czítán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

DEAR READER,

I'm happy to announce that in September 2021 despite the pandemic the GTE Construction Division could organise the 6th Conference on the Professional Culture of Mechanical Engineering.

It is an outstanding success that more presenters and participants registered for each of our conferences than ever, and the audience was able to follow a total of 38 presentations.

The plenary session was started by Dr. Krisztina Bárdos, the Strategic Director of GTE, as she outlined the new directions of GTE, then it was followed by more intriguing presentations with revolutionary topics, applications of augmented reality and artificial intelligence in mechanical engineering.

In the following parallel meetings we could listen to lectures on the following topics:

The section lectures were held in 3 sections and 6 topics:

- 1A Value Analysis
- 1B Constuction & Technology
- 2A Speciel purpose machines
- 2B Additive manufacturing
- 3A Simulation & modeling
- 3B Measurement & testing

This edition of GÉP magazine contains written formal of nine lectures.

Based on the success of our conference, we plan to have the 7th Professional Culture of Mechanical Engineering Conference in 2022.

We thank the sponsors of our conference:

- MTA Department of Engineering Sciences, Scientific Committee on Mechanical Engineering,
- BME Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine and Product Design,
- Knorr-Bremse Rail Systems Budapest Ltd.,
- SZTAKI Computer and Automation Research Institute

Yours sincerely, on behalf of the organizing committee:

Attila Metál

Secretary of GTE Construction Division

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: mail@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

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

Publisher: Dr. Bárdos Krisztina, Managing Director

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



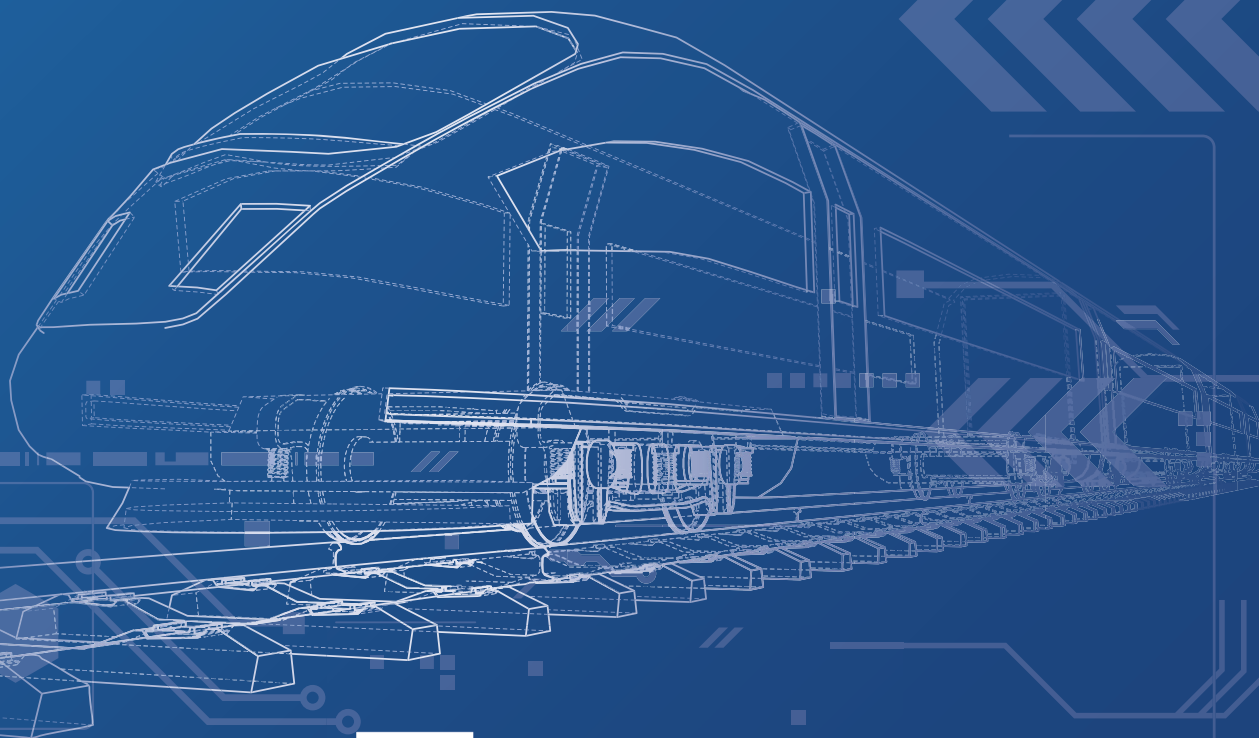
MÉRNÖKI CSÚCSTELJESÍTMÉNY MINDEN MEGÉRKEZÉS MÖGÖTT

45 SZABADALOM

DÍJNYERTES FÉKVEZÉRLŐ- ÉS FEDÉLZETI RENDSZEREK

GYÁRTÁSKÖZELI FEJLESZTÉSEK

HIGH-TECH ESZKÖZÖK



KNORR-BREMSE