

A XX. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE
XXTH INTERNATIONAL
CONFERENCE OF
TECHNICAL
SCIENCES

12.

MŰSZAKI
TUDOMÁNYOS
KÖZLEMÉNYEK



2020

**A XX. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK
ELŐADÁSAI**

**PROCEEDINGS OF THE XXTH INTERNATIONAL
CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES**

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE

12.

ISSN 2393 – 1280

Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya
Transylvanian Museum Society – Department of Technical Sciences

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE

12.

**A XX. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS
ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI**

**PROCEEDINGS OF THE
XXTH INTERNATIONAL
CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES**

**Szerkesztette / Edited by
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON**



**ERDÉLYI MŰZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2020**

A kötet megjelenését támogatta Kolozsvár Polgármesteri Hivatala és Városi Tanácsa,
a Magyar Tudományos Akadémia, a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt. és
az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya

The publication of this volume was supported by the Cluj Town Hall and Local Council,
the Hungarian Academy of Sciences, the Bethlen Gábor Fund and
the TMS – Department of Engineering Sciences



Copyright © a szerzők / the authors, EME/ TMS 2020

*Minden jog a kiadvány kivonatos utánnnyomására, kivonatos vagy teljes másolására
(fotokópia, mikrokópia) és fordítására fenntartva.*

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in
any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the
prior written permission of the publisher.*

Kiadó/Publisher: Erdélyi Múzeum-Egyesület
Felelős kiadó/Responsible Publisher: Biró Annamária
Szerkesztette/Edited by: Bitay Enikő, Máté Márton
Olvasószerkesztő/Proofreader: Szenkovics Enikő (magyar), David Speight (english)
Műszaki szerkesztő/DTP: Szilágyi Júlia
Borítóterv/Cover: Könczey Elemér

Társkiadó/Co-Publisher: Óbudai Egyetem, Budapest
ISBN 978-963-449-205-4

Nyomdai munkálatok/Printing-work
F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós
Ügyvezető igazgató/Manager: Ambrus Enikő
Tel./Fax: +40-266-364171

online elérhető/online available at:
<https://eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.html>
DOI: 10.33895/mtk-2020.12

**A XX. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS
ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI
(KOLOZSVÁR, 2019. NOVEMBER 23.)**

**PROCEEDINGS OF THE
XXTH INTERNATIONAL
CONFERENCE OF
TECHNICAL SCIENCES
(CLUJ, NOVEMBER 23. 2019)**

SZERVEZŐ / ORGANIZED BY:

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya
Transylvanian Museum Society – Department of Technical Sciences

TÁRSSZERVEZŐ / CO-ORGANIZER:

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar
Sapientia Hungarian University of Transylvania,
Faculty of Technical and Human Sciences, Țirgu Mureș

PROGRAMBIZOTTSÁG / ORGANIZATION BOARD

GYENGE Csaba, MÁTÉ Márton, RÉGER Mihály, TALPAS János

TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG / LEKTOROK SCIENTIFIC ADVISORY BOARD / PEER REVIEWERS

András József (Petrozsény)
Bagyinszki Gyula (Budapest)
Bakos Levente (Marosvásárhely)
Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)
Czigány Tibor (Budapest)
Dávid László (Marosvásárhely)
Dobránszky János (Budapest)
Domokos József (Marosvásárhely)
Dusza János (Kassa)
Egyed-Faluvégi Erzsébet (Marosvásárhely)
Florin Dumitru Popescu (Petrozsény)
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)
Gergely Attila (Marosvásárhely)
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)
Gyenge Csaba (Kolozsvár)
Gyulai József (Budapest)
Hollanda Dénes (Marosvásárhely)
Imecs Mária (Kolozsvár)
Kakucs András (Marosvásárhely)
Kelemen András (Marosvásárhely)
Kerekes László (Kolozsvár)
Kopenetz György Lajos (Kolozsvár)
Kovács Tünde (Budapest)
Köllő Gábor (Kolozsvár)
Márton László (Gyergyószentmiklós)
Márton Lőrinc (Marosvásárhely)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Pokorádi László (Budapest)
Réger Mihály (Budapest)
Szűcs Endre (Budapest)
Tolvaly-Roșca Ferenc (Marosvásárhely)

TARTALOM

ELŐSZÓ	11
FOREWORD (angol nyelvű előszó)	13
Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő <i>Forgácsoló szerszámanyagok károsodás-menedzsmentjének néhány aspektusa</i>	15
Bakos Levente <i>Ember-gép kommunikáció és krízismenedzsment.</i> <i>Autóipari beszállítói tapasztalatok</i>	23
Dósa János, Tomuş Ovidiu Bogdan <i>A turbókompresszorok hűtéséből keletkező hulladék hő hasznosítása</i>	28
Farmos Rudolf, Hodgyai Norbert, Forgó Zoltán, Egyed Faluvégi Erzsébet <i>Súrlódásiegyüttható-mérőkészülék automatizálása</i>	34
Forgó Zoltán, Tolvaly-Roşca Ferenc, Farmos Rudolf <i>A gyártás digitalizálása – Kihívás az ipar és az oktatás részére</i>	38
Gobesz Ferdinánd-Zsongor <i>A BIM gyökerei</i>	42
Kafi Abdallah, Kovács Tünde Anna, Tóth László, Nyikes Zoltán <i>Robotok alkalmazása a hegesztésben</i>	50
Máté Márton, Hollanda Dénes <i>A hengerfelülettel élezett egyenes fogú metszőkerék modell numerikus kiértékelése</i>	55
Pásztor Judit, Kakucs András, Timár Zoltán, Egyed-Faluvégi Erzsébet <i>Növényvédelmi fúvókák cseppméretének elemzése</i>	63

Tolvaly-Roşca Ferenc, Máté Márton, Forgó Zoltán, Pásztor Judit

*Forgácsolószerzőszám-testmodell vágóél-pontjainak meghatározása
CAD-módszerekkel.....*

68

SZERZŐK JEGYZÉKE 72

CONTENT

ELŐSZÓ (Hungarian foreword).....	11
FOREWORD	13
Gyula Bagyinszki, Enikő Bitay <i>Some Aspects of Damage Management for Cutting Tool Materials</i>	15
Levente Bakos <i>Human-Machine Communication and Crisis Management. An Automotive Industry Case Study</i>	23
János Dósa, Ovidiu Bogdan Tomuş <i>Recovery of Waste Heat Resulting from Turbocompressor Cooling</i>	28
Rudolf Farnos, Norbert Hodgyai, Zoltán Forgó, Erzsébet Egyed-Faluvégi <i>Automated Determination of Friction Coefficient</i>	34
Zoltán Forgó, Ferenc Tolvaly-Roşca, Rudolf Farnos <i>Digitalization of Production – A Challenge for the Industry and Education</i>	38
Ferdinánd-Zsongor Gobesz <i>The Roots of BIM</i>	42
Abdallah Kafi, Tünde Anna Kovács, László Tóth, Zoltán Nyikes <i>Robots Application for Welding</i>	50
Márton Máté, Dénes Hollanda <i>Numerical Evaluation of the Shaper Cutter With Cylindrical Rake Face</i>	55
Judit Pásztor, András Kakucs, Zoltán Timár, Erzsébet Egyed-Faluvégi <i>Droplet Size Analysis of Spray Nozzles</i>	63

Ferenc Tolvaly-Roşca, Márton Máté, Zoltán Forgó, Judit Pásztor

CAD Solution to Determine Points from Chipping Tool Solid Model Cutting Edges 68

LIST OF AUTHORS 72

ELŐSZÓ

A *Műszaki Tudományos Közlemények* sorozat tizenkettedik kötetét tartja kezében a tisztelt Olvasónk.

A kötetben megjelenő tíz közlemény a XX. Műszaki Tudományos Ülésszakon elhangzott előadások kibővített anyaga. Nemcsak ülészakunk ünnepelt kerek évszámot 2019-ben, hanem ugyanebben az évben ünnepeltük bizalommal, hittel, örömet adó biztonsággal, tudományművelő és tudományszervező munkánk fontosságának biztos tudatával az Erdélyi Múzeum-Egyesület megalapításának 160. évfordulóját is.

Az Alapító, gróf Mikó Imre szándékától nem tért el az Egyesület az elmúlt 160 esztendőben. Az Erdélyi Múzeum-Egyesület egyik célkitűzése nem más, mint a magyar nyelviségünk megmaradása a Kárpát-medencében. Ez nem egyszerű, annál inkább nem, hogy a tudomány kommunikációjának elterjedt eszköze, a jelenlegi informatikai infrastruktúrák mellett, az angol nyelv használata. Mi, Kárpát-medencei magyarok, tudományt művelni törekvő emberek tudjuk azt, hogy a műszaki tudományos anyanyelvünk olyan kincs, amelynek művelése, fejlesztése, de elsősorban megtartása több, mint kötelességünk. Nyelvünk sajátos, semmilyen más nyelvhez nem fogható szerkezete a gondolkodásunk menetét is különlegessé teszi, olyannyira, hogy anyanyelvünk nélkül ez is elvész. A tizenkettedik kötet bizonyítja az építő jellegű, a nyelvünk megőrzését szolgáló jó szándékot.

A kötetünkben szereplő huszonegy szerző tíz tanulmánya – ahogy az sorozatunkra mindig is jellemző volt – a műszaki tudományosság majd minden területét képviseli: az anyagtudomány, mechatronika, építészet, számítástechnika, CAD-alkalmazások, általános gépészet, gyártástudomány, illetve műszaki menedzsment egyaránt jelen van kötetünkben.

Ezért elsősorban köszönetünket szeretnénk kifejezni a huszonegy szerzőnek, akik tudásukat adták, munkájuk eredményét pedig jelen kötet lapjain közölték. Köszönjük, hogy személyesen részt vettek a Kolozsvárott 2019. november 23-án megtartott tudományos ülészakon, hálásak vagyunk a színvonalas előadásokért, a beszélgetésekért és mindenekelőtt a magyar nyelvű tudományosság melletti kiállásért.

Hasonlóan köszönet illeti a szaklektorokat munkájukért, illetve mindenkit, aki e kötet létrejöttéért munkát vállalt.

A Műszaki Tudományos Közlemények, hagyományainkhoz híven, a Kárpát-medencei magyar műszaki tudományos életbe segít bekapcsolódni – kiemelten a fiatal kutatóknak. Ezáltal tudományt szerezhetnek egymás munkájáról, érdeklődési területeikről, és kapcsolatba léphetnek egymással a további együtt munkálkodás nemes szándékával.

A magyar tudományos nyelv művelése mellett eredményeinket a nemzetközi tudományos világ számára is láthatóvá szeretnénk tenni. Ezért a kötet tartalma nem csak magyar nyelven lesz online elérhető az EME Elektronikus könyvtárában a

<https://www.eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm>, illetve az Erdélyi Digitális Adattárban a <https://eda.eme.ro/handle/10598/28082> címeiken, hanem angol nyelvű fordítása a De Gruyter Sciendo adatbázisában is olvasható lesz: <https://content.sciendo.com/view/journals/mtk/mtk-overview.xml>.

Jelen kötetünk is közös kiadvány az Óbudai Egyetemmel, így a sorozat ISSN száma az EME részéről van, az ISBN száma pedig az Óbudai Egyetem részéről.

A kötet átfogó, interdiszciplináris jellege arra készítet, hogy ez alkalommal is bizalommal ajánljuk a kutatók, BSc- és MSc-szakos hallgatók, doktoranduszok, üzemmérnökök, valamint mindenki számára, aki a tudomány iránt érdeklődik.

Kolozsvárt, 2020 februárjában

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának nevében

Bitay Enikő
elnök

Máté Márton
alelnök

FOREWORD

Dear reader, you are holding the 12th volume of the *Műszaki Tudományos Közlemények* (Papers on Technical Science) series.

The ten publications that make up this volume represent the completed material of the studies presented during the 20th Technical Scientific Conference. It was not only the conference that celebrated a round number in 2019. In the same year we also celebrated - with confidence, faith and an undeniable awareness of the importance of our scientific and organizational work - 160 years since the founding of the Transylvanian Museum-Society. During those 160 years, the Society has not diverged from the original intentions of its Founder, Count Mikó Imre. The goal of the Transylvanian Museum-Society is no less than the preservation of our Hungarian language in the Carpathian basin. We as Hungarians in the Carpathian basin and as people who desire to practice science, know that our technical scientific language is an immense treasure, and that cultivating it, developing it and most of all preserving it is more than just an obligation.

The particular structure of our language, being unlike any other, also makes our way of thinking unique, and that would be lost without our native tongue. This 12th volume is proof of this constructive desire and good will to preserve our language.

The ten studies by 21 authors published in this volume – as has always been the case with our series – represent almost every field of technical science: Material Sciences, Mechatronics, Construction, Informatics, CAD-applications, General Mechanics, Manufacturing Science and Technical Management are all present in the volume.

Therefore, first of all we would like to thank the 21 authors who have shared their knowledge and published their results in the pages of this volume. We are grateful for their participation in the conference held in Cluj-Napoca/Kolozsvár on November the 23rd 2019, for the high level of their presentations, the debates and most of all for their championing of science in the Hungarian language.

We are also grateful for the work of the reviewers and for everyone who contributed to the publishing of this volume.

According to our traditions, the *Műszaki Tudományos Közlemények* series is a means of allowing young researchers to partake in Hungarian scientific life in the Carpathian basin. Through its activities they can become familiar with each other's work in different fields of interest and they can connect with each other to pursue the noble goal of future collaboration.

Besides using the Hungarian scientific language we would also like to make our results visible to the global scientific community. Therefore the contents of this volume, besides being accessible in Hungarian in the TMS Electronic library: <https://www.eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm> and the Transylvanian Digital Database: <https://eda.eme.ro/handle/10598/28082>, will also be accessible in English in the

De Gruyter Sciendo database: <https://content.sciendo.com/view/journals/mtk/mtk-overview.xml>.

This volume is also published in collaboration with the Óbuda University, as such the series' ISSN number comes from the TMS, its ISBN number from the Óbuda University.

The comprehensive, inter-disciplinary character of the volume encourages us to recommend it to researchers, BSc, MSc and PhD students, factory engineers and to everyone who is interested in science.

Cluj-Napoca, February 2020.

Representing the Transylvanian Museum-Society's Department of Technical Sciences

Enikő Bitay
President

Márton Máté
Vice-president

FORGÁCSOLÓ SZERSZÁMANYAGOK KÁROSODÁS-MENEDZSMENTJÉNEK NÉHÁNY ASPEKTUSA

SOME ASPECTS OF DAMAGE MANAGEMENT FOR CUTTING TOOL MATERIALS

Bagyinszki Gyula,¹ Bitay Enikő²

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Marosvásárhely, Románia, ebitay@ms.sapientia.ro

Abstract

There are two concepts in the title that can be seen as "foreign" to the usual technical language. Both can have several meanings and thus we adapted them "flexibly" to the current needs. One way to understand the term "management" is through its functions: planning (defining purpose and means), organizing (defining tasks and methods), and direction (guidance, controlling), inspection (testing, comparing). It can also mean among other things, standpoint, circumstance, respect, or even character. Regarding the expression "damage management" the intended meaning here is reducing or to preventing damage to the tool, also improving the resistance of the tool material to damage, which besides material selection issues also has design, technology and operational aspects. This article gives an overview of some of these.

Keywords: *tool material, machining, damage resistance, wear, fracture.*

Összefoglalás

A címbe foglalt két „idegen” (talán nem túl magyaros, kevésbé műszaki nyelvezetű) fogalom többféleképpen definiálható, és ezáltal „rugalmasan” adaptálható az aktuális igényeknek megfelelően. A menedzsment pl. funkcióin keresztül is értelmezhető, melyek a következők: tervezés (cél és eszköz kijelölése), szervezés (feladatok és módszerek meghatározása), irányítás (vezérlés, szabályozás), ellenőrzés (vizsgálat, összehasonlítás). Az aspektus pedig jelenthet többek között szempontot, körülményt, vonatkozást vagy akár jelleget is. Ami a károsodás-menedzsment szóösszetételt illeti, természetesen itt a szerszámkárosodás mérséklése vagy megelőzése, valamint a szerszámanyag károsodásállóságának javítása a cél, aminek az anyagválasztáson túl konstrukciós, technológiai és üzemeltetési aspektusai is vannak. Jelen cikk ezek közül válogatva nyújt áttekintést.

Kulcsszavak: *szerszámanyag, forgácsolás, károsodásállóság, kopás, törés.*

1. Forgácsolószerszám-anyagok és jellemzőik

A szerszámanyagok körében – különös tekintettel a forgácsoló technológiákra – a nagyobb teljesítőképesség iránti igény mindinkább szükségessé teszi a szerszámacélok mellett a keményötvözetek, a kerámiák és a szuperkemény anyagok alkalmazását is (**1. táblázat**).

A szerszámacélok célszerű ötvözésével érhető el az acél összetételétől függő kritikus hűlési sebesség csökkentése (vzhűtés helyett a kedvezőbb olaj- vagy levegőhűtés lehetővé tétele), az átedződő szelvényátmérő növelése, illetve a kopásállóságot (növelt hőmérsékleten is) javító primer és szekunder ötvöző karbidok létrehozása. Míg a primer karbidok az olvadékból történő kristályosodás során képződnek, addig a szekunder

1. táblázat. Szerszámanyagok egy lehetséges besorolása

Szerszámacélok	Kemény- ötvözetek és áltötvö- zetek	Kerámiák	Szuper- kemény anyagok
Szerszámanyagként is alkalmazható szerkezeti acélok (betétedzető, nemesíthető, nitridálható, gördülőcsapágy acélok) és vasöntvények	Vas-, nikkel- és kobaltalapú kemény- vagy szuperötvözetek	Oxidkerámiák Vegyületkerámiák	Köbös bór-nitrid Mesterséges gyémánt
Ötvözetlen szerszámacélok; Hidegalakító szerszámacélok; Ledeburitos szerszámacélok; Melegalakító szerszámacélok; Gyorsacélok	Edzhető keményfémek Keményfémek Cementek	Kompozitkerámiák	Természetes gyémánt
Auszténites öregítő acélok; Martenzites korrózióálló acélok; Maraging acélok.			

karbidok nemesítő megeresztéskor válnak ki, amelyek mennyisége, mérete és eloszlása szintén meghatározó jelentőségű a szerszám így elérhető melegkeménysége, károsodásállósága (kopás- és megeresztésállósága) szempontjából. Ezek pedig a forgácsolás – mint ékszerű szerszámmal végzett anyagválasztási folyamat – esetében a forgácsolószerszám éltartamát (forgácsolóképeségét) határozzák meg [1–3].

A forgácsolószerszám-anyag forgácsolóképeségén a belőle készült forgácsolóék azon sajátosságát értik, hogy a forgácsolás mechanikai és hőigénybevétele közben is elegendően hosszú ideig megtartsa geometriáját. Természetesen a forgácsolóképeség a forgácsolóék munkakörülményeitől is függ, főként a forgácsolt anyag fajtájától, a forgácsolósebességtől, az előtolástól, a fogásmélységtől, a szerszámgeometriától és a környezet (hűtés-kenés, korrózió hatás stb.) fajtájától [4].

Szoros összefüggés van a szerszámanyagban lévő kemény fázisok mennyisége és a megengedhető forgácsolósebesség között. A kemény fázisok részarányának növelése a szerszámanyagban korlátozott, a forgácsolóképeség további növelése a kemény fázisok minőségének javításával válik lehetségessé. Egyrészt ezek keménységét

növelik, másrészt a megmunkálandó anyagokhoz igazodóan olyan kemény fázisok használatát szorgalmazzák, amelyek az adott munkadarabban kevésbé oldódnak. A fejlődés másik útja a szerszámanyagok, illetve a belőlük készült szerszámok rendeltetésszerű felhasználásának fokozott érvényesítése [2].

Például a gyorsacéloktól (High Speed Steels) elvárt jellemzők: jó hővezető képesség, növelt szívósság (Co-ötvözéssel), melegalakíthatóság (pl. csigafúróknál), jó megmunkálhatóság, edzhetőség és átedzhetőség, nagy melegkeménység és kopásállóság (megeresztésállóság 600 °C-ig), minimális repedési hajlam. Ezért a gyorsacélokat a hagyományos acélgyártási eljárások mellett porkohászati úton (szintereléssel) is előállítják. Az így gyártott acélokban a kemény fázisok minősége és mennyisége szabadabban megválasztható, ezért igen nagy melegkeménységűek, nyomószilárdságúak és kopásállóságúak, a porkohászati technológia révén megfelelő szívósságúak és jól megmunkálhatóak [1].

Az interszticiós (nagyobb méretű fématomok + kisebb méretű nemfémes atomok alkotta) keramikus vegyületek rendkívül ridegek és ezért igen törekenyek. Gyakorlati szempontból fontos tulajdonságaik (pl. melegkopásállóság) úgy használhatók ki, hogy kemény szemcséiket szívós anyagba ágyazzák, vagy vékony felületi réteget képeznek belőlük:

– Az előbbi megoldást testesítik meg a keményfémek és a cermetek. Míg a keményfémek többnyire WC-bázisú, Co-kötésű, addig a cermetek (CERamic METalls = fémkötésű kerámiák) jellemzően TiC-bázisú, Mo-kötésű porkohászati áltötvözetek. Az edzhető keményfémek jelentős vas- és karbontartalmuk révén szerszámacélokéhoz hasonló megmunkálhatósággal, nagy karbidtartalmuknak köszönhetően nagyobb kopásállósággal rendelkeznek – tulajdonképpen a szerszámacélok és a keményfémek közötti tulajdonságokkal [1].

– Az utóbbi alkalmazásra pedig jó példa a PVD (Physical Vapour Deposition = fizikai gőzfázisú bevonatolás) révén, készre munkált (vagy akár felújítandó) szerszámok felületén előállított kopásálló TiN-réteg [5].

A kerámiák alkalmazásakor nagyobb hőmérsékletek is megengedhetők, illetve a hőmérséklet-változás is gyakoribb. A vegyületkerámiák oxidáló atmoszférában nem annyira hőállóak, mint az oxidkerámiák (hiszen azokat oxidálni –/elégíteni – már nem lehet), de a hőfokingadozást jobban tűrik. Ezt elősegíti kis hőtágulási együtt-

hatójuk (hűléskor nem repednek) és viszonylag nagy hővezető képességük (sűrűlédákor kevésbé melegszenek).

2. Szerszámok igénybevétele és károsodása

A szerszámokat érő mechanikai és hőhatás a technológiai fejlődés során egyre nagyobbá válik. Egyrészt bővül az alkatrészek anyagválasztéka és ezáltal a szerszám mechanikai igénybevételel fokozó anyagok köre. Másrészt a jobb termelékenységre való törekvés intenzívebb megmunkálási folyamatokat követel, amelyek esetenként a mechanikai terhelést is, de főleg a hőigénybevételt fokozzák. Harmadrészt olyan új megmunkáló eljárások jelennek meg, amelyek a szerszámok terhelését már önmagukban is fokozzák [2, 4].

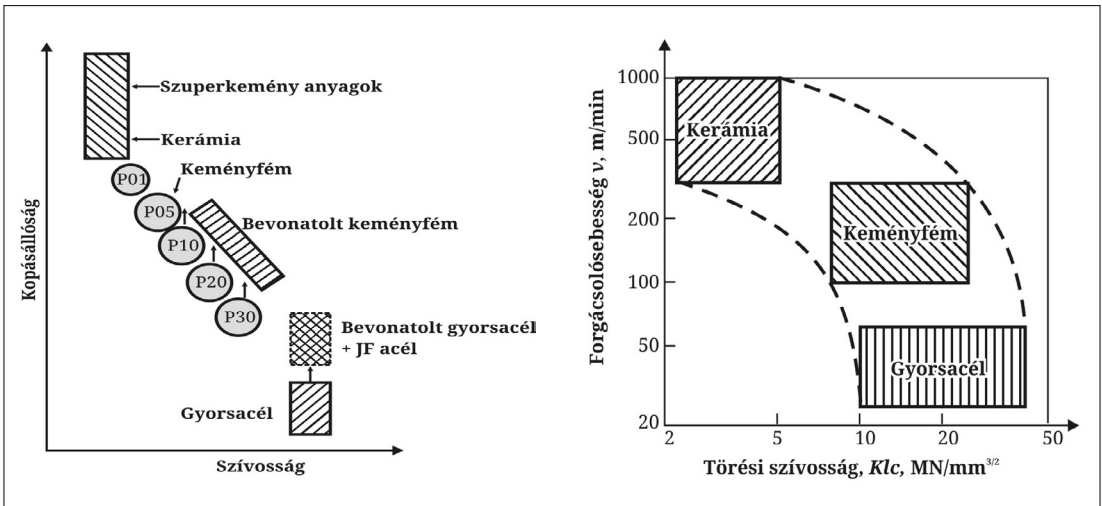
A szerszámok felületi rétegét általában akkora mechanikai igénybevétel terheli, amekkora a vele érintkező anyag alakítási ellenállása, illetve a munkadarab felületi rétegében kialakuló feszültségi állapot. A szerszámanyagoktól egyszerre kívánunk nagy kopásállóságot és jó szívósságot. Ezek a szerszámanyagok egymás rovására teljesíthető tulajdonságai, vagyis fordított arányosságban állnak (1. ábra) [2].

A mechanikai igénybevétel mellett a hőterhelés az, ami a szerszámok tartósságát nagymértékben meghatározza. A forgácsolószerszámok felületi hőmérséklete változó, de sok forgácsmentesen alakító szerszám, továbbá az öntőszerszámok is nagy, többnyire lökészerű hőterhelésnek vannak kitéve. A megmunkáló szerszámok elhasználó-

dása a gyakorlatban két fő módon következik be: váratlan, túl korai törés vagy elkopás, illetve a használatlalt arányos, fokozatos elhasználódás. A túl korai törés is két fő okra vezethető vissza: a megfelelő szívósság hiányára és a folyáshatár csökkenésére nagyobb hőmérsékleten.

Gyorsacél és keményfém forgácsolószerszámokon végzett, több ezer szerszámra kiterjesztett statisztikai vizsgálat eredménye szerint a kopás (életlenedés) közel kétszer gyakoribb oka a károsodásnak, mint a törés (csorbulás). A szívósabb gyorsacél és a keményfém kitöredezéses, kicsorbulásos elhasználódása viszont közel azonos arányú, mert a nagyobb, dinamikus igénybevételekhez már eleve a gyorsacélt használják. Annak visszaszorítása, hogy az esetek egyharmadában a szerszám előre nem becsülhető módon, hirtelen használódik el, különösen fontos az automaták, és még inkább a felügyeletiszegény (NC, CNC) megmunkáló gépeken történő alkalmazáskor [2].

A szerszámacélok martenzites átalakuláson alapuló edzése gyakran okoz hőkezelési repedéseket. Ezek oka a repedéskeletkezés mikroszerkezeti mechanizmusában, valamint az átalakulási, illetve termikus előidézett belső feszültségekben rejlik, amelyek a szerszám alakjától és méreteitől függenek. A repedés keletkezését elősegíti a túl gyors és nem egyenletes felhevítés, a túl nagy ausztenítési hőmérséklet, illetve a túl hosszú hőntartás, a túl gyors lehűtés. Az edzési repedések interkristallin haladnak, az eredeti ausztenit szemcsehatárok mentén. Edzett darabokban a repedések olykor csak a mechanikai vagy kémiai

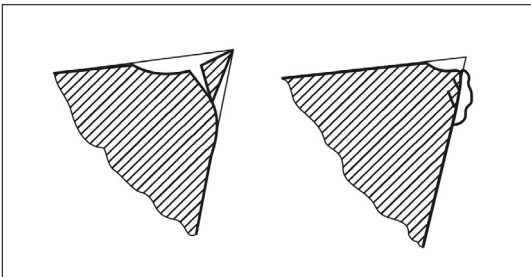


1. ábra. Szerszámanyagok szívósságának és kopásállóságának, illetve megengedhető forgácsolósebességének összefüggése

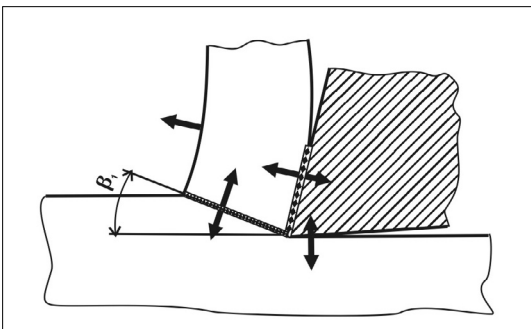
utókezelés során alakulnak ki, ugyanis járulékos belső feszültségek ébrednek a köszörülés, szemeszórás, tükrösítés vagy pácolás hatására, amelyek elősegítik az anyag megrepedezését [2, 3].

Ha egy forgácsolószerszám kopása túlságosan nagy, a szerszám a forgácsolóék törése vagy képlékeny alakváltozása miatt sérül(het) meg (2. ábra). A töréses sérülés fogalma csorbulás, hasadást vagy repedést takar. Deformációs tönkremenetel a forgácsolóék alakjának képlékeny alakváltozás miatti megváltozása. A forgácsolás hőmérsékletén előfordulhat, hogy a forgácsolóék anyaga annyira kilágyul, hogy lágyabb lesz, mint a forgácsolt anyag. A forgácsolóék ilyenkor képlékenyen deformálódik, és az anyagát a munkadarab anyaga ragadja magával. Főleg a szerszámacélokból készült szerszámoknál fordul elő, de extrém körülmények mellett keményfém élű szerszámoknál is előfordulhat [4].

A deformációs munka és a szerszám homlok- és hátfelületén fellépő súrlódás munkája a forgácsolási folyamatban hővé alakul. A forgácstóban levő három deformációs zónának (3. ábra) három „hőforrás” felel meg. Az itt keletkező hő a hidegebb helyek felé áramlik, a forgácsba, a forgácsolóékba, a munkadarabba és a környezetbe (hűtőközeg) távozik [4].



2. ábra. Forgácsolószerszám töréses és deformációs sérülése



3. ábra. Hő keletkezésének helyei és elvezetésének útjai a forgácstóban

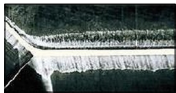

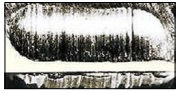















A forgácsolás kezdetén a munkadarab anyaga és a forgácsolóék egyaránt a környezet hőmérsékletén van. Az elsődleges deformációs tartományból a hő vezetéssel és sugárással, de főleg az anyagfolyammal távozik. Ezen tartományban a hő mindig új, hideg anyagterefogatokra hat, ebből következően az elsődleges deformációs tartományban a hőmérsékletek viszonylag alacsonyak.

A forgácsolóékkal már a felmelegedett anyagrészek érintkeznek. A folyamat elején a hideg forgácsolóék még hűti őket, és el tudja vezetni a súrlódás hőjét is. Az érintkezési helyeken a forgácsolóék hőmérséklete gyorsan emelkedik, és eléri a leválasztott anyagrészek felületi hőmérsékletét. A súrlódás miatt az érintkező felületek hőmérséklete tovább nő, egészen az egyensúlyi állapot eléréséig.

A maximális hőmérsékletek helye függ a forgácsképződés jellegétől. Szívós anyagok megmunkálásánál folyó forgácsot kapunk, a hőmérséklet mezőt jelentősen befolyásolja a súrlódási hő is. A maximális hőmérsékletek a homlokfelületen, a forgácsolóéltől meghatározott távolságban vannak. Ridegebb anyagok forgácsolásánál töredezett forgácsot kapunk, mely „lepattan” a homlokfelületről. A forgács homlokfelülettel való súrlódása mérsékelt, és a környezet jól „hozzáfér” a forgácsolás helyéhez. A maximális hőmérsékletek ezért a forgácsolóélen vagy annak közvetlen közelében található. A forgácsolóék és a megmunkálendő anyag hőmérséklete a forgácstó különböző pontjaiban eltérő. Fontos szempont, hogy megeresztésálló szerszámanyagot és kedvezőtlen anyagszerkezet-módosulást megakadályozó hatékony hűtést-kenést alkalmazunk.

A gyártás, megmunkálás vagy üzemelés alatt keletkez(het)ő, élettartamot befolyásoló folytonossági hiányok osztályozását a 2. táblázat tartalmazza. Ezek közül különösen a planimetrikus (síkszerű, 2D-s) eltérések veszélyesek, mert terjedőképesse válhatnak és törést okozhatnak [6].

A 4. ábra pedig a forgácsolószerszámok jellegzetes mechanikai és termikus eredetű károsodási formáit szemlélteti, feltüntetve a lehetséges okokat és az azokkal szembeni ellenintézkedéseket is [7]. Ezek között anyagválasztási, konstrukciós, technológiai és üzemeltetési javaslatok egyaránt előfordulnak.

Szerszámkárosodási forma		Ok	Ellenintézkedés
Hátkopás	 	túl lágy szerszámanyag; túl nagy forgácsolási sebesség; túl kicsi hátszög; extrém kicsi előtolási sebesség.	nagy kopásállóságú szerszámanyag; kisebb forgácsolási sebesség; hátszög növelése; előtolási sebesség növelése
Kráterkopás	 	túl lágy szerszámanyag; túl nagy forgácsolási sebesség;	nagy kopásállóságú szerszámanyag; kisebb forgácsolási sebesség; előtolási sebesség csökkenése
Kitöredezés	 	túl kemény szerszámanyag; túl nagy előtolási sebesség; vágóél-szilárdság hiánya; szár- vagy tartómerevség hiánya	nagy szívósságú szerszámanyag; előtolási sebesség csökkenése; élesség növelése (lekerekítés helyett letörés) nagyobb szárméret használata
Törés	 	túl kemény szerszámanyag; túl nagy előtolási sebesség; vágóél-szilárdság hiánya; szár- vagy tartómerevség hiánya	nagy szívósságú szerszámanyag; előtolási sebesség csökkenése; élesség növelése (lekerekítés helyett letörés) nagyobb szárméret használata
Képlékeny deformáció	 	túl lágy szerszámanyag; túl nagy forgácsolási sebesség; túl nagy forgásmélység és előtolási sebesség; túl nagy forgácsolási hőmérséklet	nagy kopásállóságú szerszámanyag; kisebb forgácsolási sebesség; forgásmélység és előtolási sebesség csökkentése; nagy hővezetési tényezőjű szerszámanyag
Hegedés (adhéziós kopás)		kis forgácsolási sebesség; kedvezőtlen élezés; alkalmatlan anyagminőség	sebesség növelése növelése; homlokszög növelése; kis affinitású szerszámanyag (bevonatolt, porkohászati)
Termikus repedések	 	tágulás vagy zsugorodás a forgácsolási hő következtében; túl kemény szerszámanyag (különösen maráskor)	száraz forgácsolás (nedves forgácsoláskor munkadarab elárasztása forgácsolási folyadékkal); nagy szívósságú szerszámanyag
Bemetszés	 	kemény felületek, mint például nyers felületek; hűtött alkatrészek és felületszilárdított rétegek; egyenetlen alakú forgács okozta súrlódás (kis vibráció előidézése)	nagy kopásállóságú szerszámanyag; homlokszög növelése az élesség növelése végett
Leválás		szerszámél hegedés és adhézió; rossz forgács (képződés)	homlokszög növelése az élesség növelése végett; forgács zseb növelése
Oldalkopásos törés		Károsodás az ívelt vágóél szilárdságának hiánya miatt	élesség fokozása; nagy szívósságú szerszámanyag
Kráterkopásos törés		Túl lágy szerszámanyag; túl nagy vágási ellenállás és okozott forgácsolási hő	élesség csökkentése; nagy kopásállóságú szerszámanyag

4. ábra. Forgácsolószerszámok károsodási formái

2. táblázat. Folytonossági hiányok osztályozása

Folytonossági hiány alakja	Alapanyag gyártáskor, öntéskor keletkező	Képlékeny alakításkor keletkező	Hőkezeléskor keletkező	Forgácsoláskor keletkező	Kötéskor (hegesztéskor) keletkező	Szereleskor, javításkor keletkező	Tároláskor, szállításkor keletkező	Üzemeléskor keletkező
lineáris	feszültségi repedés, melegrepedés, hidegrepedés	feszültségi repedés, kovácsolási repedés pelyhesedés	edzési repedés, hidrogén okozta repedés, lepattogzás		repedés			fáradási repedés
	hideg hegedés, összeolvadási hiba, pikkely	kovácsolási rálapolódás, hengerlési rálapolódás, rétegesség, pikkely	lepattogzás		kötéshiba			
	salaksor				salaksor			
	bemetszés	bemetszés		bemetszés	gyökhiba, szélkioldadás	bemetszés	bemetszés	
		barázda		barázda, karc		karc	karc	
szferikus	pórus, hólyag				pórus			
	lunker, microlunker							
	homokzárvány				salakzárvány			
elágazó		túlhevített szerkezet okozta	feszültségi repedés	köszörlési repedés			interkristallin korrózió okozta feszültségi korrózió okozta	

3. A károsodásállóság javítása és vizsgálata

A kopás csökkentésének, illetve a kopási folyamat lassításának fontosabb lehetőségei [5]:

- anyagválasztási szempontból:
 - nagy keménységű, illetve nagy rugalmassági modulusú (szerszám)anyagok alkalmazása,
 - egymáshoz kis affinitású (adhézióra kevésbé hajlamos) súrlódó anyagpárok (szerszám-anyag + megmunkálandó anyag) társítása;
- konstrukciós szempontból:
 - szerszám-élgeometria optimalizálása a feladathoz (munkadarab anyaga, geometriája, tűrései, ...),
 - a mechanikai és az azzal összefüggő hőterhelés korlátozása az éppen szükséges mértékre;
- technológiai szempontból:
 - optimális felületi mikrotopográfia kialakítása,

- az adott feladatra előnyös felületkezelési eljárások alkalmazása;
 - üzemeltetési szempontból:
 - felesleges üresjáratok, rezgések, vibrációk csökkentése, kiküszöbölése,
 - hűtés-kenés megfelelőségének és folyamatosságának biztosítása.
- Ha a károsodásban egyértelműen a kopás dominál, a felületi rétegek keménységének és nyomó folyáshatárának (kis maradó alakváltozásokkal szembeni ellenállásának) növelésével jelentős élettartam-növekedés érhető el a kopásállóság, illetve a megeresztésállóság javulása révén. Ez viszonylag jól jellemezhető az egyszerűen kivitelezhető keménységmérésből származó adatokkal. Ha a kopási folyamat időbeni lefolyásának ismerete is fontossá válik, akkor a koptatóvizsgálatokból – melyek a valóságos helyzetet modellezik – származtatott térfogatvesztési mérőszám vagy

ennek reciproka a kopási szám (kopási szilárdság) lehet számszerűsített anyagjellemző. Ez utóbbi és a keménység lineáris függvénykapcsolatot mutat [5].

A műszaki kerámiák ridegsége (törekenysége) mérsékelhető, ha szintereléses előállításuk kiinduló anyagainak szemcseméretét a nanométeres tartományba csökkentik. Ilyen finom szemcsékből álló ún. nanofázisú kerámiáknál a melegszilárdság mellett a „megfelelő képlékenység”, illetve jobb megmunkálhatóság tapasztalható, mert az egyes szemcsék egymáson el tudnak „csúszni” anélkül, hogy repedés, illetve törés jönne létre [1].

A műszaki kerámia anyagok mechanikai tulajdonságai javíthatók valamilyen második fázisnak a bevitelével, leggyakrabban szál, tűkristály vagy részecske formában. A javítás hatása fokozható az adalékolt fázis méretének 100 nm-re vagy még kisebbre csökkentésével. Kerámiamatrixú kompozitokban a ridegségcsökkentés (szívósságnövelés) érdekében kevésbé rideg részecskékkel képeznek akadályokat egy esetleges repedésterjedés útjába (pl. Si_3N_4 -hez SiC-részecskéket adagolva). Ugyancsak javul az Al_2O_3 törési szívóssága és hajlítószilárdsága is finom eloszlású ZrO_2 -részecskék hozzáadásával. A ZrO_2 repedésűcsúcsnál végbemenő tetragonális-monoklin átalakulása nyomófeszültséget idéz elő, ami hatékony védelem a repedés továbbterjedésével szemben [1].

Nincsen a szívósság mérésére általánosan elfogadott, egységes gyakorlat. Pl. a hajlítóvizsgálatok során a maximális feszültségértéket vagy az ütővizsgálatokhoz felemésztett energiát használják a szívósság jellemzésére, de ezeket azért nem fogadják el általánosan, mivel a tapasztalatok szerint nem mindig jelzik előre a szerszámok üzem közbeni viselkedését. Pontosabban: nem elég érzékenyek, és gyakran nem „képesek” megkülönböztetni a szerszámanyagok valóságos, gyakran igen eltérő eredményű teljesítőképességét ipari környezetben.

A keramikus anyagok különleges tulajdonságai – keménység, kopásállóság, nagy hőállóság – műszakilag jól hasznosíthatók. Ez, valamint az a körülmény, hogy mint helyettesítő anyagoknak a jelentősége egyre nő, megköveteli szívósságuk pontosabb jellemzését. A kerámia anyagok sajátossága, hogy nagy ridegségük miatt az instabil repedésterjedést előidéző kritikus hibanagyság még a mikroszerkezetüket jellemző paraméterek (szemcsenagyság, szövetszerkezeti inhomogenitások) nagyságrendjébe esik.

Az 5. ábra szerint az egyszerűen és gyorsan kivitelezhető Vickers-keménységmérés lenyomatából

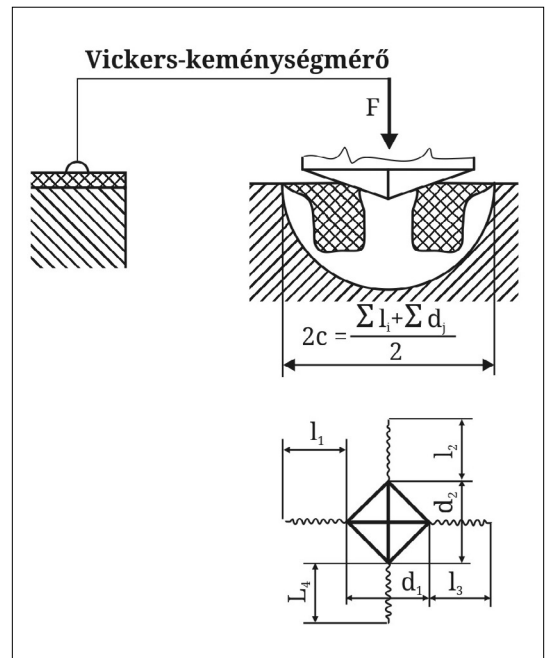
kiinduló repedések is jellemezhetik az alakváltozó képességet vagy annak hiányát (a ridegséget) [8].

Ez a repedésrajzolat csak bizonyos feltételek ($\text{HV}_{30} > 600$, $F > F_{\text{krit}}$, gyémántpasztás polírozású felület) megléte esetén értékelhető és a

$$K_{Ic} = k \cdot \frac{F}{c^{3/2}} \quad (1)$$

törési szívósság képletben számításához felhasználható. A k értéke anyagjellemzők és gyémántgüla-geometria által meghatározott állandó. A négyzetalapú helyett rombuszalapú gyémántgüával dolgozó Knoop-féle keménységmérés is szóba jöhet ilyen jellegű vizsgálatra.

Az akusztikus emisszió pedig alkalmas lehet a szerszámtörés előrejelzésére, valamint magában hordozza a folyamatos felügyelet lehetőségét is. Az anyagokban hirtelen fellépő belső folyamatok (pl. egy repedés keletkezése vagy kismértékű növekedése, az anyag „mozgása” egy képlékeny zóna határán vagy állapotváltozásból eredő rácsátrendeződés) akusztikus emissziós jeleket váltanak ki, melyekre jellemző, hogy frekvenciájuk általában a hallható tartománytól a néhányszor 10 MHz tartományig terjed [9, 10]. Kivitelezési problémát jelenthet a szerszám gép rezgéseinek, vibrációjának nem megfelelő kiszűrése a jelekből.



5. ábra. Vickers-alapú törésmechanikai vizsgálat

4. Következtetések

A megfelelőnek ítélt szerszámanyaggal, konstrukcióval (élgeometriával) és gyártástechnológiával létrehozott szerszámminőség önmagában nem tudja szavatolni a tervezett él(et)tartamot. Tekintettel kell lenni az üzemeltetési körülményekre is, melynek során különféle elhasználódási, károsodási folyamatok indul(hat)nak meg, befolyásolva az anyagok szerkezetét, illetve tulajdonságait, továbbá a szerszám geometriai jellemzőit is.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagyinszki Gy., Kovács M.: *Gépipari alapanyagok és félkész gyártmányok. Anyagismeret.* Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2001.
- [2] Pálmai Z., Dévényi M., Szőnyi G.: *Szerszám-anyagok.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
- [3] Artinger I.: *Szerszámacélok és hőkezelésük.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [4] Békés J.: *A fémforgácsolás tervezése.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [5] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Felületkezelés.* Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009 (ISBN 978-973-8231-76-4)
- [6] Blumenauer H., Push G.: *Műszaki törésmechanika.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [7] Mitsubishi Materials. *Tool Wear and Damage* http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_other_data/tec_other_data_top/tec_other_data_technical/tec_wear_damage
- [8] Bagyinszki Gy., Artinger I.: *Felületkezelési rétegek törésmechanikai jellemezhetősége.* IV. Országos Törésmechanikai Szeminárium, Miskolc–Lillafüred, 1991. április 10–12., 97–108.
- [9] Popa A., Desein G., Baili M., Dutilh V.: *Investigation of Tool Failure Modes and Machining Disturbances Using Monitoring Signals.* Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, 423. (2012) 128–142. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.423.128>
- [10] Čilliková M., Mičieta B., Neslušán M., Čep R., Mrkvica I., Petrů J., Zlámal T.: *Prediction of the Catastrophic Tool Failure in Hard Turning Through Acoustic Emission.* Materials and Technology, 49/3. (2015) 355–363. <https://doi.org/10.17222/mit.2014.029>

EMBER–GÉP KOMMUNIKÁCIÓ ÉS KRÍZISMENEDZSMENT. AUTÓIPARI BESZÁLLÍTÓI TAPASZTALATOK

HUMAN-MACHINE COMMUNICATION AND CRISIS MANAGEMENT. AN AUTOMOTIVE INDUSTRY CASE STUDY

Bakos Levente

Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia
 bakos@ms.sapientia.ro

Abstract

The article presents some results of a larger study of crisis management in the automotive supply industry. This paper studies human - machine communication during organizational crises, an issue that can make the difference between success and failure. The topic is even more challenging in the highly standardized and regulated automotive industry. Using some methodologies taken from social sciences, we analyse the manner in which employees in the automotive supply industry handle unforeseen events. In spite of the increased number of standards and regulations, employees display ambiguous behaviour during unforeseen events, affecting trust in human-machine communication.

Keywords: *human-machine communication, crisis management, risk management.*

Összefoglalás

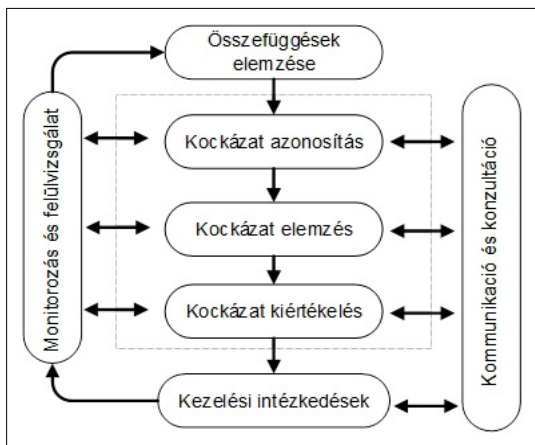
A tanulmány egy átfogóbb kutatás autóipari tapasztalatait mutatja be. A kríziskommunikáció hatékonyságának igen fontos paramétere a krízis során jelen levő ember–gép interakció minősége. Különösen érdekes kihívás ebben a kérdéskörben az igen magas szabályozottsággal rendelkező autóipar. Társadalomtudományok kutatási módszertanát alkalmazva a tanulmány azt taglalja, hogy miként viszonyulnak a váratlan eseményekhez a vizsgált autóipari beszállítók munkatársai. Az eredmények azt mutatják, hogy a magas szervezettség ellenére, az előre nem tervezett helyzetekben az alkalmazottak elbizonytalanodnak, az ember–gép kommunikációba vetett hit szélsőséges.

Kulcsszavak: *ember-gép kommunikáció, krízismenedzsment, kockázatmenedzsment.*

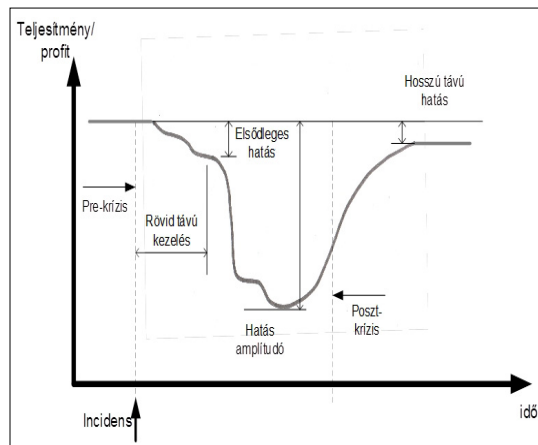
1. Kockázat. Krízis. Kommunikáció

A szervezeteken belüli kockázatmenedzsment igen fontos területté fejlődött. A dinamikusán változó körülmények odafigyelésre készítetik a piacok legerősebb szereplőit is. A piaci, technológiai, pénzügyi és egyéb kockázatsaládok még a legtükrösebb vállalatokat is körültekintő, proaktív magatartásra serkentik. A soros egymásrataltság arra kényszeríti a logisztikai láncok szereplőit, hogy kiemelt figyelmet fordítsanak a kockázatmenedzsmentre. Az iparban a legerjedtebb minőségügyi szabványcsaládok (lásd ISO9000 [1],

ISO 14000 [2]) nagy teret szentelnek a kockázatok kezelésének, illetve a projektmenedzsment-módszertanok is gyakorlati és elméleti támpontot nyújtanak a kockázatok kezelésére [3]. A kifejezetten kockázatkezelésre kifejlesztett ISO 31000-as szabvány [4] az alábbi kockázatelemzési eljárást javasolja (1. ábra). Ugyanakkor, túl a szabványok által javasolt ciklikus elemzéseken, illetve a számtalan szabályzaton, lehetetlen feltérképezni az összes kockázati tényezőt, s ha lehetne, akkor is műszakilag és gazdaságilag értelmetlen mindenre felkészülni.



1. ábra. Kockázatmenedzsment az ISO 31000 szerint



2. ábra. A krízis rövid és hosszú távú hatása

A szervezetek mindig is szembesülni fognak olyan helyzetekkel, amelyekre nincsenek felkészülve, s amelyek, ha nem tudnak rájuk gyorsan reagálni, akár krízishez is vezethetnek.

Krízis fogalma alatt itt olyan váratlan eseményt értünk, amely hirtelen jelentkezik, a szervezet egészére kihat, és meghatározó következményekkel járhat a szervezet jövőjére vonatkozóan [5]. A mi megközelítésünkben a krízis kialakulásának három alapvető forgatókönyve lehetséges. Az első, valószínűleg leggyakoribb eset, amikor olyan esemény történik, amire korábban senki nem gondolt, emiatt a kockázatmenedzsment nem számolt vele. A második forgatókönyv szerint az ismert kockázati tényezők valószínűleg meg, de a krízis oka vagy az ismert tényezők egyidejű jelentkezése, vagy ezek váratlan kombinációja. A harmadik esetben egyszerűen a vártnál lényegesen nagyobb intenzitással következett valamely nemkívánatos esemény. Elvileg minden más esetben a szervezet által kidolgozott kockázatkezelési algoritmusok életbelépésével a szervezet eredményesen kezeli a kialakult helyzetet. Ebben a megközelítésben a krízismentes folyamat, amely akkor kezdődik, amikor a kockázatmenedzsment által kidolgozott eljárások már nem alkalmazhatók.

A krízis következményei gyakran sokkal az adott incidens bekövetkezése után alakulnak ki. A mi megközelítésünkben a krízis kimenetele lehet pozitív is, ami azt jelenti, hogy a szervezet a krízis után kedvezőbb helyzetben találja magát, mint a krízishelyzet bekövetkezése előtt [6]. Különbséget kell tennünk a rövid távú, elsődleges hatás és a hosszú távú hatás között. A rövid távú hatás esetében a pillanatnyi – elsősorban anyagi –

károk csökkentése a cél, míg hosszú távon inkább a hírnévmenedzsment kerül a figyelem középpontjába (2. ábra).

A krízismentes során a rövid távú hatásokkal, illetve a közép- és hosszú távú következményekkel egyaránt számolni kell, emiatt csak a műszaki jellegű problémák megoldása közel sem elégséges. Előfordulhat, hogy a hibás kríziskommunikáció nagyobb károkat okoz, mint a krízis maga. Fontos a hatékony hibaelhárítás – hiszen itt is kommunikációs okok miatt rövid idő alatt hatványozódhat a kár –, ugyanakkor a felelősség elhallgatása, a hatóságokkal és más stake-holderekkel (pl. sajtó, ügyfelek, beszállítók) való kommunikáció elmulasztása sokkal több kár kerül hosszú távon, mint a pillanatnyi anyagi kár [7]. Gondoljunk csak arra az autóipari példára, amikor egy hibás tervezésű felfüggesztés miatt egy tesztautó felborul a nyilvános bemutatón. Az igazi kár nem a behorpadt motorháztető, hanem az a többmillió kár, ami akkor keletkezik, amikor utólag nyilvánosságra kerül, hogy nem vezetési hiba okozta a balesetet, s a cég el akarta tussolni az eseményt.

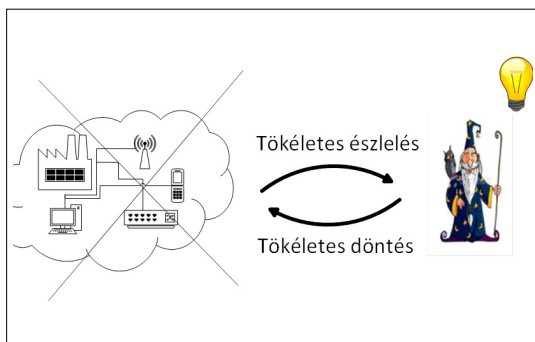
Napjainkban a kialakult krízishelyzetek kezelésének kiemelten fontos kérdésköre a krízis-kommunikáció, s ezen belül az ember-gép közötti kommunikáció. Digitalizált világunkban, digitális eszközök nélkül nehezen kommunikálunk. Krízishelyzetben az ember-ember közötti kommunikáció is gyakran gépi segítséggel történik, emiatt itt is tulajdonképpen jelen van az ember-gép kapcsolat. Az ember-gép egyre komplexebb kapcsolatrendszere kockázatmenedzsmenti szempontból legalább akkora veszélyt jelent, mint amekkora lehetőséget a krízishelyzetek hatékony kezelésére [8].

2. Ember-gép kapcsolat a krízishelyzetekben

A váratlan események során az ember-gép kapcsolatában két szélsőséges magatartásforma fordulhat elő. Egyrészt jelen lehet a túlzott bizalom a műszaki rendszerek által szolgáltatott adatokban és megoldásokban, másrészt az emberi erőforrás túlértékelése jelenti a másik végletet.

Ipari kontextusban a mérnökök lassan már minden elképzelhető folyamatot megpróbáltak és meg fognak próbálni automatizálni [9]. Kivételt képeznek azok a nem algoritmizálható helyzetek, amikor a megoldás szinte kizárólag az emberi erőforrásra hárul. Ilyen helyzetek a krízishelyzetek is, amikor a váratlan esemény kezelését az épp jelen levő humán erőforrástól várják [10]. Ez a „szuperhős-feltételezésnek” nevezett jelenség akkor következik be, amikor azt gondoljuk, hogy ha már semmi sem működik, akkor majd az ember közbelép, azonnal észleli a helyzetet, és tökéletes döntéseket hoz (3. ábra).

Több olyan terület van, ahol az előre nem látható események alatti ember-gép kapcsolat kiemelten szabályozott – lásd légiközlekedés, atomerőművek, haditechnika, sebészet –, míg más esetekben ez a felkészültség vélhetőleg lényegesen alacsonyabb [11]. Kutatásunk célja, hogy a humán erőforrás ilyen irányú felkészültségét vizsgálja. Azért választottuk az autóiipari beszállítókat, mert tevékenységüket viszonylag magas szabályozottság jellemzi, szigorú nemzetközi szabályrendszer szerint működnek. Úgy gondoltuk, hogy ha ebben az iparágban bármilyen felkészületlenséget, szabályozatlanságot észlelünk, akkor ez a jelenség valószínűleg más iparágakban nagyobb mértékben jelen van. A kutatás során megcélzott szélesebb vizsgálatból, jelen tanulmány korlátozott terjedelmét tekintve, itt most csak néhány leíró statisztikai adatot mutatunk be a következőkre vonatkozóan:



3. ábra. A szuperhős-effektus

- IT-eszközök használata szokatlan események során,
- IT-eszközök hatékonyságának értékelése krízishelyzetekben,
- hamis üzenetek kezelésének módja,
- attitűdvizsgálat, amennyiben nem működik a kommunikációs interfész a számítástechnikai eszközökkel.

3. Kutatásmódszertan. Eredmények

A kutatás során tíz vállalat vezetőivel készítettünk szakértői interjút, illetve a kérdőíves felmérés során 151 munkatárs válaszait gyűjtöttük össze. A megkérdezettek elsősorban műszaki területen tevékenykedő, felsőfokú végzettséggel rendelkező középvezetők. A válaszadók között szerepelt néhány nem vezető beosztásban levő dolgozó is, ők munkakörükből adódóan kiemelt szereplői lehetnek egy krízishelyzetnek. Olyan területek képviselőit is megkérdeztük, mint például a tűzvédelem, munkavédelem vagy közkapcsolatok. Szakterületükből adódóan, a műszaki személyzethez hasonlóan, ezekről a munkatársakról is feltételezhető a kiemelt problémamegoldó készség és az átlagnál jobb felkészültség a kiszámíthatatlan helyzetek kezelésére.

A 4. ábrán a válaszadók azon hajlandóságát mutatjuk be, hogy milyen mértékben tartanak be a szervezet szabályait egy krízishelyzet esetén. Az ábrából kitűnik, hogy a válaszadók 40%-a elfogadja, hogy a rendkívüli helyzet megköveti a szabályzatoktól való eltérést. Ugyanakkor a határozott nemmel válaszoló aránya is meglehetősen magas, hiszen a kérdőívet kitöltők közel egynegyede (24%) minden körülmények között ragaszkodni fog a szervezet szabályaihoz. Valószínűleg olyan körülmények között is, amikor ezek a szabályok a helyzet megoldását akadályozzák, illetve még akkor is, ha a válaszadó tisztában van azzal, hogy a szabályok megírásakor a pilla-



4. ábra. Szabályzatkövető szándék krízis esetén

natnyi helyzetre nem gondoltak a szabályzatkészítők.

A fenti ábrán bemutatott szabályzatatlépő szándék, mivel csak a válaszadók 23%-a tartana ki a szabályok mellett, nincs teljes összhangban az 5. ábrán bemutatott azon szándékkal, amely azt jelzi, hogy egy szervezeti rendellenesség esetében igenis a felettesükhöz fordulnak segítségért, betartva a szabályokat. Az 5. ábrán azt láthatjuk, hogy abban az esetben, amikor úgy értékeli a válaszadó, hogy a számítógépe hibás figyelmeztető üzenetet küld, a válaszadók fele a főnökéhez fordul a helyzet megoldása érdekében. Ez egy „helyes” magatartás, hiszen a rendkívüli helyzet ellenére a válaszadó szándéka a szervezeti hierarchia betartása, a fegyelmezett, szakszerű hozzáállás. Nyilvánvalóan a problémamegoldó hozzáállás azt feltételezné, hogy a rendszergazdához fordul a válaszadó. Ezt az opciót a válaszadók 30%-a választotta, míg közel 20%-uk a szervezet szempontjából előnytelen, teljesen passzív vagy a túlzottan kreatív megoldásokat részesítette előnyben. Érdekes, hogy a válaszadóknak csak 1%-a lenne hajlandó a számítógép utasításait követni, holott az informatikai rendszert valószínűleg azért építették ki, hogy jelezze, ha valami nincs rendben.

Az előző kérdésre adott válaszokkal ellentétben azt láthatjuk, hogy abban az esetben, amikor a válaszadók a saját munkájuk eredményét látják veszélyben, illetve úgy érzik, hogy személyesen érintettek egy adott krízishelyzetben, akkor már teljesen más álláspontra helyezkednek. A 6. ábrán látható, hogy ilyen esetben a válaszadók domináns többsége, 82%-a ahhoz a személyhez fordul, akitől a probléma azonnali megoldását reméli. Ilyenkor a hierarchia, a szabályzatok betartása másodlagos, a helyzet kezelésének kulcsa a

racionalitás, azaz a probléma tényleges megoldása. Szemben a korábbi válaszban adott 50%-kal, itt csak a válaszadók 1%-a fordulna a feletteséhez. A válaszadók 17%-a nem tudja, mit fog cselekedni, vagy valamilyen kreatív megoldást fog keresni.

4. Következtetések

Az emberi erőforrás rendkívüli helyzetekben igen változatos szereplőjévé válhat az eseményeknek. Napjainkban immár a legegyszerűbb munkatárs szintjén is jelen vannak a kommunikációt segítő digitális eszközök. Előfordulhat, hogy az ember főszereplőként kreatív és intuitív módon felnő a feladathoz és megoldja a helyzetet, ugyanakkor az is megeshet, hogy közömbös tanúja, tétlen áldozata az eseményeknek. A rendelkezésre álló digitális eszközök okozói és egyben megoldásai is lehetnek a kialakult krízishelyzeteknek. Az ember képes pillanatok alatt értékelni akár a legkomplexebb helyzeteket is, más esetekben pedig, meglepő módon, a rutinos helyzetekben is cselekvésképtelen.

Kutatásunk megerősítette azt a feltételezést, hogy túl a pillanatnyi ösztönszerű reakciókon, az ember képes a legbonyolultabb helyzetben a saját érdekeit is szem előtt tartani, és adott esetben félelem, gőg és érdek vezérelheti. Az eredmények azt mutatják, hogy a magas szervezettség ellenére, vagy pontosan emiatt, az előre nem tervezett helyzetekben az alkalmazottak vélhetőleg kaotikusan fognak reagálni. Amennyiben a kérdőív által megfogalmazott hipotetikus körülmények között is a válaszadók elbizonytalanodtak a lehetséges alternatívák tekintetében, akkor a valós helyzetekben kétségtelenül még inkább kiszámíthatatlan lesz a reakciójuk.



5. ábra. Hamis üzenet esetén történő reakció



6. ábra. Reakció krízishelyzetben, személyes érintettség esetén

Ezért tartjuk fontosnak a prevenciók tevékenység során tudatosítani a munkatársakkal, hogy azokban az esetekben, amikor a munkájuk során olyan helyzetbe kerülnek, amelyekre korábban nem volt példa, ez nem jelenti azt, hogy semmilyen felelősségük nincs ebben a helyzetben. A szabályok vagy a munkaköri leírás hiánya még nem mentesíti őket a felelősség alól. Például, túl a belső szabályzatokon, illetve más előre megírt normán, amennyiben elmulasztanak cselekedni egy olyan helyzetben, amikor ezt megtehetnék volna, s ezáltal kárt okoztak, nem mentesülnek a polgárjogi és büntetőjogi felelősségük alól.

A kutatások azt mutatják (lásd pl. [12]), hogy amennyiben a munkatársak felelősségük tudatában vannak, sokkal körültekintőbben viselkednek, és ezáltal a váratlan események megelőzésében és kezelésében önkéntelenül is aktívabb szerepet vállalnak fel. A vizsgált cégek vezetőivel folytatott interjúkból egyértelműen látszik a munkatársakba vetett hit, akár a szuperhős-effektus is, ugyanakkor a kérdésekre kapott válaszok arra utalnak, hogy közel sem elég felkészültek a középvezetők, munkatársak a szabályozatlan helyzetek kezelésére.

A vizsgált autóiipari beszállító vállalatok esetében a humán erőforrás nem rendelkezik a kellő érettséggel a krízisszerű helyzetek kezelésére. A vizsgált beszállítók, bár nemzetközi szabványok mentén végzik tevékenységüket, ezekben a szervezetekben az ember-gép kapcsolat csak az előre megszabott működési keretek között egységes. A számítástechnikai eszközök használata, a beléjük vetett hit a krízisek esetén esetleges, nem egyértelmű.

Bár kétségtelenül a válaszadóknak tudatosul, a kríziskommunikáció hatékonyságának igen fontos paramétere a krízis során jelen levő ember-gép interakció minősége, a kritikus szemlélet csak részlegesen jelent meg a válaszokban. Ugyanakkor jelen van a feltétlen bizalom és egyben a teljes bizalmatlanság is a gépi kommunikációra vonatkozóan. A vizsgált szervezetekben, azokra az esetekre, amikor előre nem látható események következnek be, kivéve a munkavédelmi és tűz-

védelmi területeket (ezekre itt nem tértünk ki), a szervezet nem dolgozott ki általános érvényű eljárásrendet. Ezeknek a rendelkezéseknek a hiánya nehezkesé, időigényessé teszi a krízismenedzsmentet, és kizárólag a felsővezetésre bízta a megoldást.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] MSZ EN ISO 9001:2015. Minőségirányítási rendszerek. Követelmények, 2015.
- [2] EN ISO 14001:2015. Környezetközpontrú irányítási rendszerek. Követelmények, 2015.
- [3] *** A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide). Fifth edition, Project Management Institute, 2013.
- [4] MSZ ISO 31000:2018. Kockázatmenedzsment. Irányelvek, 2019.
- [5] Barton L.: *Crisis in Organisations: Managing and Communicating in the Heat of Chaos*. South-Western College Publishing, Cincinnati, 1993. 2.
- [6] Coombs W. T., Holladay S. J.: *The Handbook of Crisis Communication*. Malden: MA, Wiley-Blackwell, 2010. 20.
- [7] Patterson B.: *Crisis impact on reputation management*. Public Relations Journal, 49/11. (1993) 47–48.
- [8] Valckenaers P., Van Brussel H.: *Design for the unexpected. From holonic manufacturing systems towards a humane mechatronics society*. Butterworth-Heinemann, Leuven, Belgium, 2015.
- [9] Boy G. A.: *Dealing with the Unexpected in our Complex Socio-Technical World*. 12th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, August 11-15, 2013. Las Vegas, NV, USA, 2013. 402–409.
- [10] Trentesaux D., Millot P.: *A human-centred design to break the myth of the “Magic Human” in intelligent manufacturing systems*. In: Service orientation in holonic and multi-agent manufacturing. (Szerk.: Borangiu T., Trentesaux D., Thomas A., McFarlane D.). 2016. 103–113.
- [11] Pacaux-Lemoine M.-P. et al.: *Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach*. Computers & Industrial Engineering C, 111. (2017) 581–595.
- [12] Tweedy J. T.: *Introduction to Hazard Control Management. A Vital Organizational Function*. CRC Press, London – New York, 2014.

A TURBÓKOMPRESSZOROK HŰTÉSÉBŐL KELETKEZŐ HULLADÉKHŐ HASZNOSÍTÁSA

RECOVERY OF WASTE HEAT RESULTING FROM TURBOCOMPRESSOR COOLING

Dósa János,¹ Tomuş Ovidiu Bogdan²

Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék, Petrozsény, Románia

¹ i_dosa@hotmail.com

² tobogdan2002@yahoo.com

Abstract

Turbocompressors have high efficiency, and that make them ideal to supply larger mines with compressed air. As the gas flows through the compressor and the pressure increases, it is also heated, which means that a large amount of heat can be generated in the turbocompressor due to the high output of compressed air. Large amounts of heat need to be removed, which is usually done through cooling towers. The heat ultimately will end into the surroundings as waste heat. This article aims to study the recovery and possible use of this waste heat.

Keywords: *turbocompressor, waste heat, heat recovery.*

Összefoglalás

A turbókompresszorokat, azok nagy hozama miatt előszeretettel használják a nagyobb bányák sűrített levegővel való ellátására. Amikor a gáz átáramlik a kompresszoron és nyomása megnő, ezzel együtt fel is melegszik, tehát a nagy sűrítettlevegő-hozama miatt sok hő keletkezhet a turbókompresszorban. A nagy mennyiségű hőt el kell távolítani, ami általában hűtőtornyok segítségével történik. Jelen közleményben ennek a hőnek a hasznosítását vizsgáljuk.

Kulcsszavak: *turbókompresszor, hulladékhő, hasznosítás.*

1. Bevezetés

A modern világ energiahíánnyal küzd, ezért világszerte aktuális téma az energiatakarékosság, illetve a hulladékhő hasznosítása.

Ennek jelentőségét az is mutatja, hogy az Európai Unió kiemelten foglalkozik a témával [1], de az Amerikai Egyesült Államokban is fontos problémakör [2], mi több, ugyanabban a kategóriában kezelik a környezetvédelemmel, és majdnem minden ország stratégiákat dolgozott ki ezen a területen [3, 4].

A hulladékhő hasznosítására nagy figyelmet fordítanak más országban is, és útmutatókat dol-

goztak ki [5, 6], ezzel is segítve azoknak, akik komolyan veszik az energiatakarékosságot és a hulladékhő-hasznosítást.

Ezek az útmutatók a hulladékhőt a hőmérséklet alapján osztályozzák, de iparágak szerinti osztályozás is létezik, és a különféle tapasztalatok alapján a leghatékonyabb hasznosítási módszereket javasolják [7].

A fent említett forrásokra hivatkozva a bányákat inkább az alacsony hőmérsékletű hulladékhőforrások közé lehet sorolni, így a hő hasznosításának leghatékonyabb módja a hőszivattyúk használata.

2. A turbókompresszor használata a bányáparban

Bár a modern kompresszorok általában csavar-kompresszorok, a nagy sűrítettlevegő-hozamuk miatt a turbókompresszorokat is előszeretettel használják ott, ahol megszakítás nélkül kell sűrített levegőt előállítani.

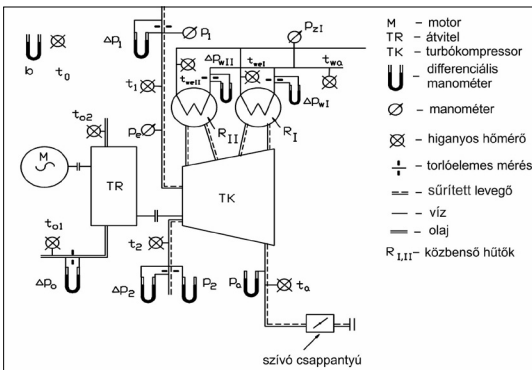
Ezen kívül a turbókompresszor jól alkalmazkodik a változó sűrítettlevegő-igényre, mivel a turbókompresszor jelleggörbéjén a munkapont elmozdul, mint minden ilyen jellegű gép vagy szivattyú esetében, tehát ha nincs nagy variáció a sűrítettlevegő-igényben, nem szükséges a szabályozás. Mivel a bányászat ciklikus jellegű és sok minden befolyásolja a sűrítettlevegő-igényt, ez egyfolytában változik.

A bányászat fénykorában a Zsil-völgyi bányák általában turbókompresszorokkal voltak felszerelve. A kiterjedésüktől függően volt olyan bánya, ahol három turbókompresszort is felszereltek. Ezek közül általában kettő működött, amikor a sűrítettlevegő-igény nagy volt, de hétvégén általában csak egyikük üzemelt, mivel ilyenkor nem dolgoztak olyan sokan a bányában.

Ezek általában orosz gyártmányú turbókompresszorok voltak. Egy ilyenfajta turbókompresszor hét fokozatból áll, három szakaszban elrendezve, az első két szakaszban két forgórész van, az utolsóban pedig három. A hűtést két közbenső hűtő (1. ábra) és egy utolsó hűtő segítségével végezzük, amelyek mindegyike cserélhető.

A műszaki könyv szerinti névleges jellemzők [8]:

Beszívott levegő mennyisége	16000 m ³ /h;
Szívónyomás	1 bar;
Szívási hőmérséklet	20 °C;
Kimeneti nyomás	8 bar;



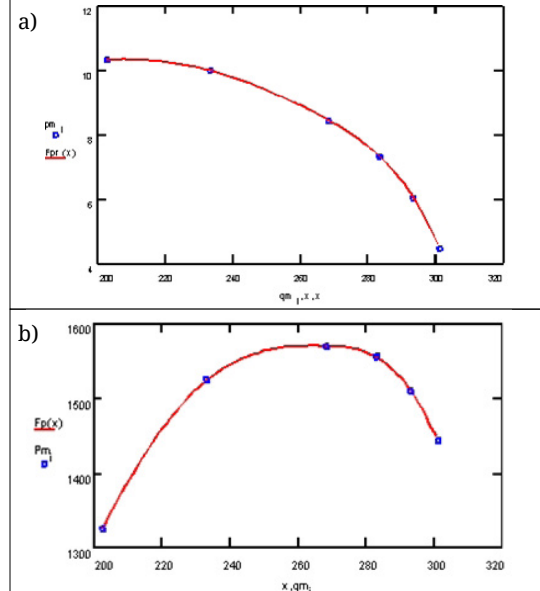
1. ábra. A turbókompresszor felépítése [8]

Turbókompresszor fordulatszám	9980 ford./perc;
Motor fordulatszám	1500 ford./perc;
Levegő hőmérséklete a végső hűtők után	40 °C;
Hűtővíz bemeneti hőmérséklete	25 °C;
Hűtővíz áramlása:	
– a végső hűtőben	55 m ³ /h;
– a közbenső hűtőkben	95 m ³ /h;
– az olajhűtőben	20 m ³ /h;
A hajtómotor névleges teljesítménye	1800 kW;
Motor hatékonysága	0,9;
Átvitel hatékonysága	0,95.

A gyártó által a szállítás előtt elvégzett mérések (1. táblázat) lehetővé tették a turbókompresszor két jelleggörbéjének a megrajzolását, a $p = f(Q)$ fojtásgörbét lásd 2. ábra a), és a $P = f(Q)$ teljesítmény-jelleggörbéjét 2. ábra b).

1. táblázat. A gyártó által elvégzett mérések [1]

Beszívott levegő mennyisége [m ³ /h]	Kimeneti nyomás [bar]	Motor teljesítménye [kW]
12 150	10,3399	1325
14 000	10	1525
16 100	8,45	1570
17 000	7,35	1555
17 600	6,05	1510
18 075	4,475	1442,5



2. ábra. A turbókompresszor jelleggörbéi

A hűtővíz egy hűtőtoronyba kerül, ahol a levegő segítségével lehűl, utána visszakerül a turbókompresszor hűtőibe. Ez a folyamat, általában nyáron, a hűtés és a turbókompresszor hatásfokát rosszul befolyásolja, és a sűrített levegő túl magas hőmérsékleten kerül a bányába.

3. A keletkezett hulladékhő mennyisége

Ahhoz, hogy pontosan ki lehessen számolni a hulladékhő mennyiségét, 124 mérést végeztünk [8].

Az adatok a 3. ábrán vannak feltüntetve.

A hidegebb hónapokban, ebben az esetben márciusban, a víz bemeneti hőmérséklete 15 °C, míg a nyári hónapokban elérheti a 28 °C-t.

A hőmérséklet-emelkedés 2-4 °C, és függ a motor teljesítményétől, ami egyenesen arányos a sűrítettlevegő-igény változásával. A hőmérséklet-emelkedés átlaga 2,75 °C.

A bemeneti hőmérsékletet a hűtőtorony kimeneténél mérték, a kimeneti hőmérsékletet pedig a hűtőtorony bemeneténél, tehát a hűtővíz áramlása ennek megfelelően 170 m³/h.

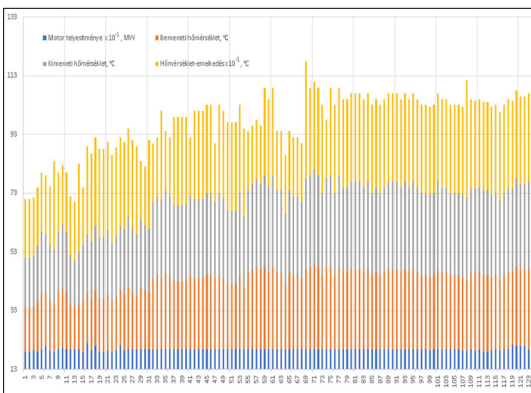
A felvett hőmennyiség mértéke:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t = \frac{997,05 \cdot 170 \cdot 4,1816 \cdot 2,75}{3600} = 541,43 \text{ kW} \quad (1)$$

- ahol Q – hőmennyiség, kW;
- V – térfogatáram, m³/h;
- Δt – a hőmérséklet változása,
- c – a víz fajlagos hőkapacitása 25 °C-on, kJ/kg·K,
- ρ – a víz fajsúlya, kg/m³.

Amint látszik, a hulladékhő mennyisége igen nagy, 541,43 kW, és ez mind a környezetbe kerül.

Ezen kívül a nyári időszakban a hűtővíz magas hőmérséklete a turbókompresszor elégtelen hű-



3. ábra. Mért adatok

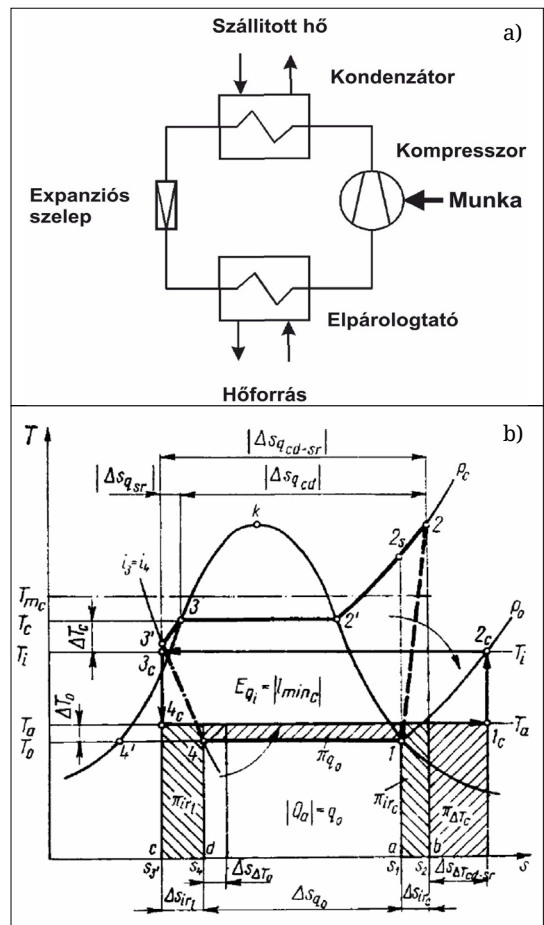
tését eredményezi, ami negatívan befolyásolja a hatásfokát, a forró sűrített levegő pedig emeli a hőmérsékletet a fejtésben, ami rossz hatással van az emberekre.

Tehát két feladatot kell megoldani: egyrészt a hulladékhő hasznosítását, másrészt a turbókompresszor megfelelő hűtését, és mindkettő igen nagy energiamegtakarítással járhat.

A legnagyobb probléma ebben az esetben, a hulladékhő hasznosítása szempontjából abból adódik, hogy a víz hőmérséklete igen alacsony, ezért nem lehet felhasználni úgy, ahogy más technológiai folyamatokban.

4. A hőszivattyú használata

Nagy kihívás a hulladékhő hasznosítása folyamatában az, hogy mire is fogjuk használni a viszszerzett hőt. Egy bánya esetében, ahol sok használati meleg vízre van szükség, ennek előállítására a hulladékhő felhasználásával gazdaságos lehet.



4. ábra. A hőszivattyú a) és a körfolyamat b) [9]

Az alacsony hőteljesítményű energiaforrások kiaknázására alkalmas hőszivattyúk a gőzkompressziós, víz-víz rendszerűek [9]. Ez a típusú hőszivattyú alkalmas arra, hogy 40 °C alatti hőmérsékleten lévő vízből származó hulladékhőt hasznosítson, a használati meleg vizet 50–80 °C-ra felmelegítve.

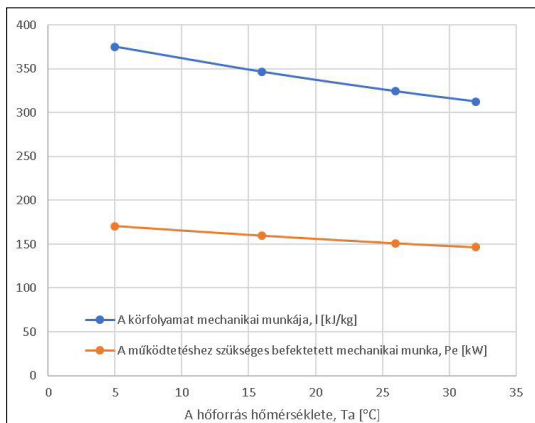
Az ilyen hőszivattyú matematikai modelljét a [10] értekezés keretén belül dolgozták ki, és a továbbiakban ennek a modellnek az alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit, a következő kezdeti adatok felhasználásával: a szükséges Q hőszállítás, ami legalább annyi kell legyen, mint a hűtővíz által felvett hőmennyiség, $Q = 541,43$ kW; $T_i = 65$ °C – a használati meleg víz hőmérséklete; T_a – környezeti hőmérséklet (hőforrás); $\Delta T_c = 5$ °C – a kondenzátor hőátadásához szükséges hőmérséklet-különbség (hőszállítás); $\Delta T_o = 5$ °C – a párologtató hőátadásához szükséges hőmérséklet-különbség; $T_{sr} = 10$ °C – az alulhűtéshez szükséges hőmérséklet-különbség; az alkalmazott hűtőközeg R717 (ammónia).

A hőforrás a turbókompresszor hűtőrendszerében felmelegedett víz, így a számításokat a legkisebb, átlag és legnagyobb vízhőmérsékletnek megfelelően végezzük el, ami 16, 26 és 32 °C.

Ezen kívül számításokat kell végezni 5 °C hőmérsékleten is ahhoz, hogy legyen összehasonlítható alap.

A 2. táblázatban levő adatokat az 5., 6. és 7. ábrán tüntettük fel.

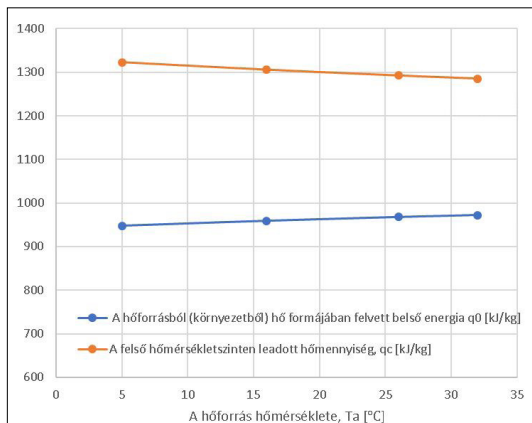
Ezek az ábrák jól látszik, hogy a hőmérséklet emelkedésével csökken a körfolyamat mechanikai munkája és a működtetéshez szükséges befektetett mechanikai munka mértéke (5. ábra).



5. ábra. A körfolyamat mechanikai munkája és a működtetéshez szükséges befektetett mechanikai munka

2. táblázat. A hőszivattyú hőtani jellemzői

	Összehasonlítási alap	Legkisebb érték	Átlag hőmérséklet	Legnagyobb érték
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	5	16	26	32
A körfolyamat mechanikai munkája, l [kJ·kg ⁻¹]	375,24	346,64	324,42	312,67
A működtetéshez szükséges befektetett mechanikai munka, P_e [kW]	170,67	159,73	151,04	146,39
A hőforrásból (környezetből) hő formájában felvett belső energia, q_o [kJ·kg ⁻¹]	947,41	958,89	967,71	972,25
A felső hőmérsékletszinten leadott hőmennyiség, q_c [kJ·kg ⁻¹]	1322,65	1305,54	1292,13	1284,92
Ideális (Carnot) teljesítménytényező, COP μ_c	5,64	6,9	8,67	10,25
Elméleti teljesítménytényező, COP μ	3,52	3,76	3,98	4,11
Tényleges teljesítménytényező, COP μ_e	3,17	3,38	3,58	3,70



6. ábra. A hőforrásból felvett belső energia és a felső hőmérsékletszinten leadott hőmennyiség

A 6. ábrán jól látszik, hogy ugyanaz a függőség van a hőforrásból (környezetből) hő formájában felvett belső energia, q_0 és a hőmérséklet között, míg a felső hőmérsékletszinten leadott hőmennyiség, q_c növekedik a hőmérséklet emelkedésével. A hőszivattyú legfontosabb hőtani jellemzői, az ideális (Carnot) teljesítménytényező, $COP_{\mu C}$, az elméleti teljesítménytényező, COP_{μ} és a tényleges teljesítménytényező, $COP_{\mu e}$, szintén növekedik a hőmérséklet emelkedésével.

5. Következtetések

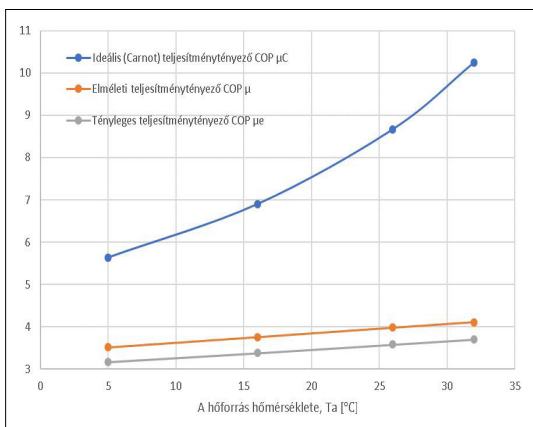
Jelen cikk a turbókompresszor hűtéséből keletkező hőmennyiség és annak minősége elemzésére tett kísérletet.

A legnagyobb gondot az jelenti, hogy a keletkezett hő minőségileg nagyon gyenge (alacsony hőmérsékletű), és ezáltal nem lehet közvetlenül felhasználni.

A szakirodalom ilyenfajta hulladékhő hasznosítására a hőszivattyúk használatát ajánlja.

Nagyon sokfajta hőszivattyú létezik mind a konstruktív, mind a hűtőközeg szempontjából, így nehéz lenne őket összehasonlítani. Ezért, az összehasonlítás megkönnyítése érdekében, az alapvető konstruktív modellt, a gőzkompressziós, víz-víz rendszerű, ammóniás hűtőközegű hőszivattyút választottuk.

A hulladékhő mennyisége igen nagy, 541,43 kW, pedig csak egyetlen turbókompresszor által termelt hőről van szó. Ha ezt az értéket megszorozzuk tízzel (mivel átlagban ennyi turbókompresszor működött a helyi bányáiparban), a felhasználható hő mennyisége igen nagy, és elég lenne



7. ábra. Az ideális (Carnot) teljesítménytényező, az elméleti teljesítménytényező és a tényleges teljesítménytényező COP

egy kisebb település fűtésére, tehát érdemes foglalkozni ennek hasznosításával.

A hőszivattyú használata nagyon jól beválik a hulladékhő hasznosítására, mivel a tényleges teljesítménytényező, $COP_{\mu e}$ nagyon magas, és tovább nő a hulladékhő hőmérsékletének emelkedésével.

Bár a nagy mennyiségű hulladékhő hasznosítása nem jelent problémát technikai szempontból, meglehet, hogy gazdasági szempontból nem válik be, mivel olyan fogyasztót kell találni, aki felhasználja ezt a folyamatosan keletkező hőmennyiséget.

Ennek a hőmennyiségnek a tárolását nem igazán lehet gazdaságosan megoldani. Gondot okoz a szállítása is, hisz a bányák általában a településeken kívül, jobb esetben a helységek szélén helyezkednek el.

A hőszállítás távvezetékeken keresztül valósulhatna meg, víz hőhordozó közeg felhasználásával, bár ennek kiépítése nagy költségekkel járna.

Megoldást jelenthetne a meglévő távfűtés csőrendszerébe csatlakozni, de ebben az esetben több technikai gond is felmerül, ugyanis a hőhordozó hőmérséklete és nyomása olyan szinten kell legyen, hogy ne okozzon zavart a már kiépített távfűtési rendszerben.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] European Commission, Energy Efficiency. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive> (letöltve: 2019. szeptember 24.)
- [2] United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/energy/national-action-plan-energy-efficiency> (letöltve: 2019. szeptember 24.)
- [3] Magyarország Kormánya, Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (letöltve: 2019. szeptember 24.) <https://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf>
- [4] Guvernul României. Ministerul Energiei. <http://energie.gov.ro/transparenta-decizionala/strategia-energetica-a-romaniei-2019-2030-cu-perspectiva-anului-2050/> (letöltve: 2019. szeptember 24.)
- [5] Government of India, Bureau of Energy Efficiency. <https://beeindia.gov.in/sites/default/files/2Ch8.pdf> (letöltve: 2019. szeptember 24.)
- [6] U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/waste-heat-recovery-resource-page> (letöltve: 2019. szeptember 24.)

- [7] U.S. Department of Energy. Industrial Technologies Program. (letöltve: 2019. szeptember 24.) https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf
- [8] Dosa I.: *Research on energetics of thermal and fluid dynamic processes in mining pneumatic installations*. Ph. D. thesis in Engineering; Specialty: Mining machines and installations. University of Petroşani, 1999.
- [9] Radcenco V.: *Procese în instalații frigorifice*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983. 372–390.
- [10] Dosa I.: *Power Plant Waste Heat Recovery for Household Heating Using Heat Pumps*. University of Petroşani, Multiscience-XXVIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc, 10-11 april 2014.

SÚRLÓDÁSI EGYÜTTTHATÓ-MÉRŐKÉSZÜLÉK AUTOMATIZÁLÁSA

AUTOMATED DETERMINATION OF FRICTION COEFFICIENT

Farmos Rudolf László,¹ Hodgyai Norbert,² Forgó Zoltán,³ Egyed-Faluvégi Erzsébet⁴

Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ farmos_rudolf@ms.sapientia.ro

² hodgyai@ms.sapientia.ro

³ zforgo@ms.sapientia.ro

⁴ faluvegi.erzsebet@ms.sapientia.ro

Abstract

The presented research is designed to meet a particular challenge facing the industry. Its aim is to automate the process of friction coefficient determination, using a method that enables quick and easy repeatability of measurements developed by S.C. Plasmaterm S.A in Târgu Mureş.

Keywords: *friction coefficient, measurement system, automation.*

Összefoglalás

Jelen kutatás az ipar kihívására jött létre. Célja, hogy egy marosvásárhelyi vállalat, a Plasmaterm Rt. által kifejlesztett súrlódási együttható-meghatározó módszert automatizáljon, mely során lehetőség nyílik a gyors és könnyen megismételhető mérésekre, valamint a mérési eredmények kiértékelésére.

Kulcsszavak: *súrlódási együttható, mérőkészülék, automatizálás.*

1. Bevezetés

A jelenkori ipar egyik kihívása, hogy biztosítsa a formamegmunkáló szerszámok hosszú élettartamát. Ez az élettartam arányos a szerszám és a megmunkált félemez között fellépő súrlódás jelenségével. Ezért új anyagokat, valamint új felületmegmunkáló eljárásokat fejlesztettek ki. [1] A Plasmaterm Rt. vállalat részt vesz ebben a kutatásban és kidolgozott egy folyamatot, amelynek célja a súrlódási együttható meghatározása. A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Gépészmérnöki Tanszéke a fent említett mérési folyamat automatizálásának az elvégzésébe kapcsolódott be. A kitűzött cél ennek a folyamatnak az automatizálása.

2. A kísérleti mérőberendezés

A mérések a Faville le Vally elvre támaszkodnak [2], amely a test potenciális energiavesztésén alapszik. Ezt úgy határozták meg, hogy egy függőleges kar végére erősített tömeget kilendítenek a karra merőleges tengely körül (kezdeti szög α_0), majd szabadon engedve, az inga túllendül a függőleges helyzetben. Végül megméri a kitérés szöget a függőlegetől (a túllendülés utáni legnagyobb szög α). Mivel minden esetben az $\alpha > \alpha_0$, az energiakülönbséget az inga tengelye és ennek alátámasztása közötti súrlódás emészti fel. A fent írtak alapján a súrlódási együtthatót a következő egyenlet határozza meg:

$$\mu = \frac{m}{F} \cdot \frac{R}{D} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0) - \cos(\alpha)}{\alpha - \alpha_0} \tag{1}$$

ahol:

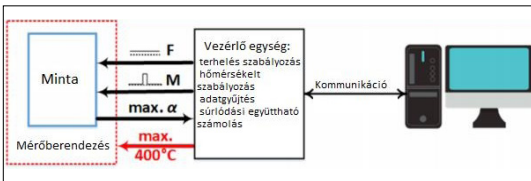
- μ – a kiszámolt súrlódási együttható
- m – az erőkar végén levő súly tömege [kg]
- F – a próbatestet terhelő erő [N]
- D – a próbatest átmérője [m]
- R – az erőkar hossza [m]
- α – a legnagyobb kitérési szög
- α_0 – a kezdeti szög, ahonnan a súlyt magára hagyjuk

A súrlódási együttható automatizált meghatározására az 1. ábrán látható rendszer szolgál. A berendezés három fő részét lehet megkülönböztetni: a mintát befogó és mozgató eszközt, a folyamatot irányító vezérlőt és az adatgyűjtő/adatmegjelenítő számítógépet.

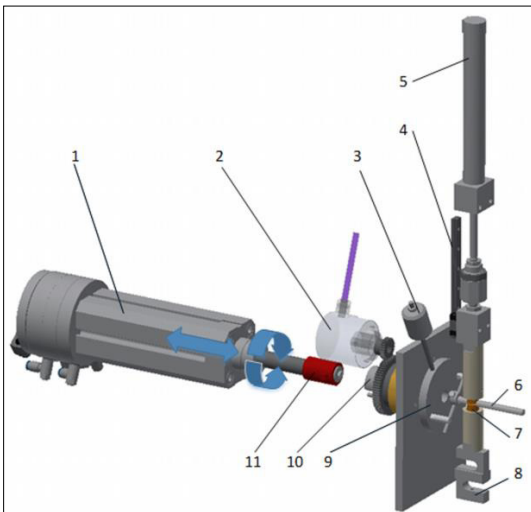
A mintát befogó és mozgató eszköznek biztosítania kell a mintadarab pozicionálását, megfelelő terhelését, valamint a minta 400 °C-ra történő melegítését.

A 2. ábra a fent említett befogó- (3. ábra) és mozgatórendszert szemlélteti.

A mérés során a minták (6) a „V” alakú befogópók (7) közé helyezve, egy pneumatikus mun-



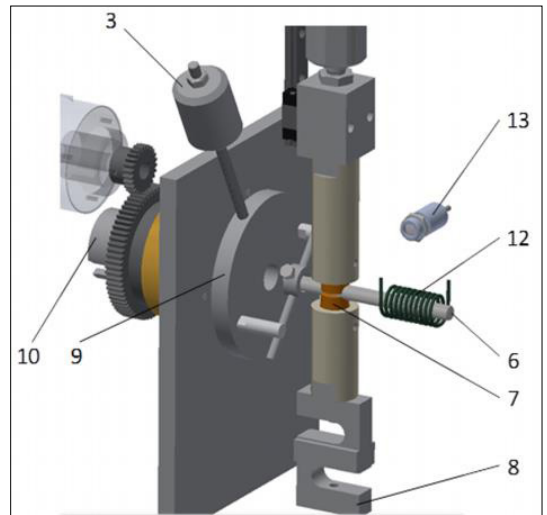
1. ábra. A mérőrendszer elvi felépítése



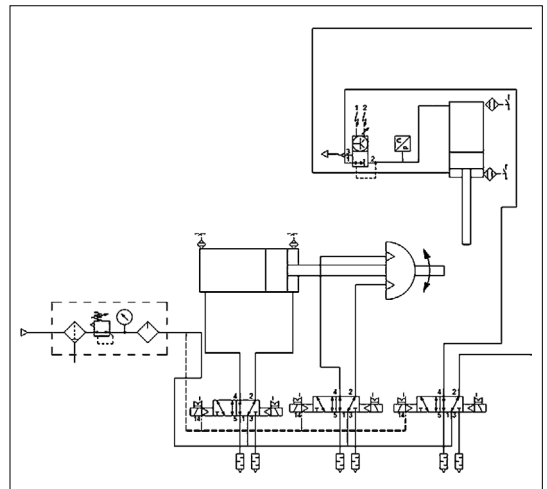
2. ábra. A befogó- és mérőrendszer

kahenger (5) segítségével egy előre meghatározott erővel lettek megszorítva. A szorítási erő egy mérőcella (8) segítségével mértük. Az erőt beállításához egy proporcionális nyomásszabályzót használtunk. A nyomás beállításával a pneumatikus munkahenger a megfelelő erővel szorította meg a próbatestet. Az inga (3 és 9) biztosította a nyomatékot a minta forgására. A mintatest szögelfordulását az inkrementális jeladó (2) szolgáltatta. A rendszer által szolgáltatott adatok alapján meghatározhatóvá vált a súrlódási együttható.

A rendszer pneumatikus (4. ábra) áramkörének a tervezésekor arra törekedtünk, hogy a rendszer a lehető legegyszerűbb legyen.



3. ábra. A befogórendszer



4. ábra. A mérőrendszer pneumatikus áramkörének a terve

A pneumatikus rendszer főbb elemei:

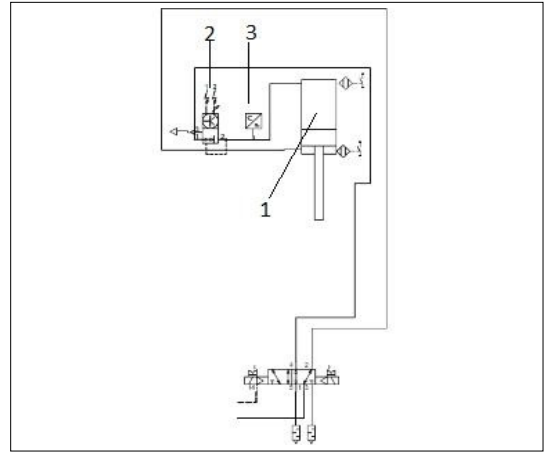
- Levegő-előkészítés (4.1. ábra). Ez az elem felel a rendszerbe érkező levegő üzemi nyomásának a beállításáért, valamint a levegő szárításáért.
- Pozicionálás (4.2. ábra). Ez a modul felel a próbatest pozícióba állításáért. Egy translációs (1), valamint egy rotációs (2) mozgást végző pneumatikus munkahenger található ebben a modulban az őket vezérlő két darab 5/2-es (3) szeleppel.
- Szorítás erőszabályozással (4.3. ábra). Ez a modul felel a munkadarab kellő megszorításáért. A szorítást egy translációs munkahenger (1) végzi, mértéke egy propocionális nyomásszabályozó (2) segítségével történik. A nyomás mérésére egy analóg nyomásmérő szenzort (3) alkalmaztunk.

A rendszer vezérlője (5. ábra) egy Rexroth L10-es logikai vezérlő (PLC). A PLC alapmoduljához kapcsolódik egy távvezérlő, amivel kézi üzemmódban vezérelhető a mérőrendszer.

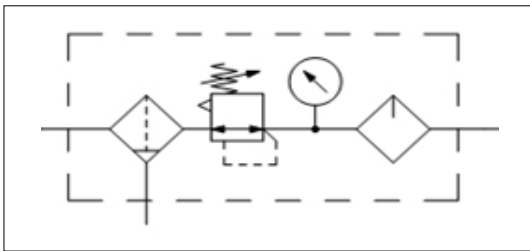
A PLC-hez kapcsolt digitális és analóg bővítőmodulokhoz kapcsolódnak a munkahengerek végál-láskapcsolói, a munkahengereket vezérlő szele-

pek, az erőmérő cella, egy nyomásmérő szenzor, valamint a proporcionális nyomásszabályozó.

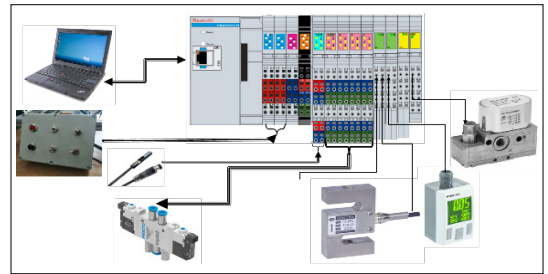
A rendszerhez tartozik még egy adatmegjelenítő program, amely a PLC-vel a saját protokollon keresztül kommunikál. A program az adatmegjelenítésen kívül (6. ábra) adatmentést is végez egy adatbázisba a későbbi adatfeldolgozás céljából.



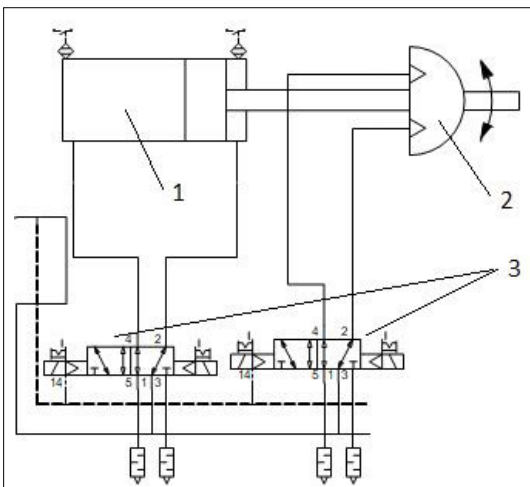
4.3. ábra. A szorító modul



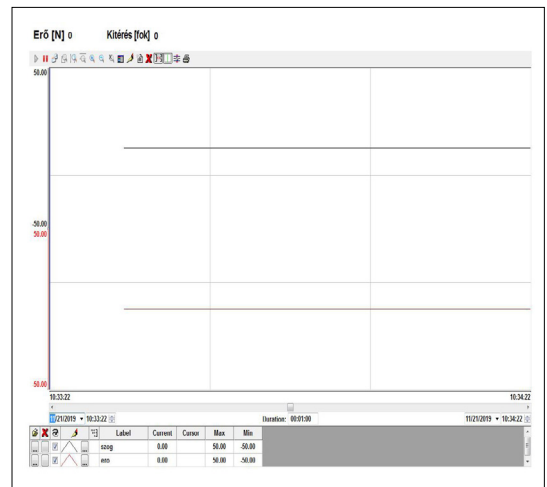
4.1. ábra. A levegő-előkészítő



5. ábra. A vezérlőrendszer



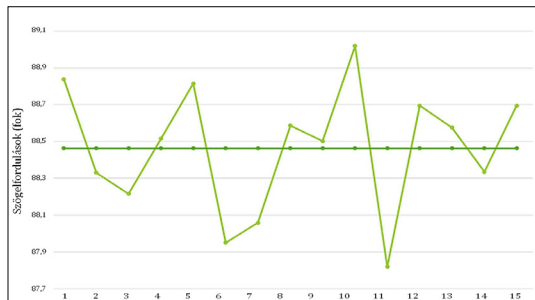
4.2. ábra. A pozicionáló modul



6. ábra. Adatmegjelenítő felület



7. ábra. A teljes rendszer 3D-modellje



9. ábra. Mérési eredmények acél befogók esetén

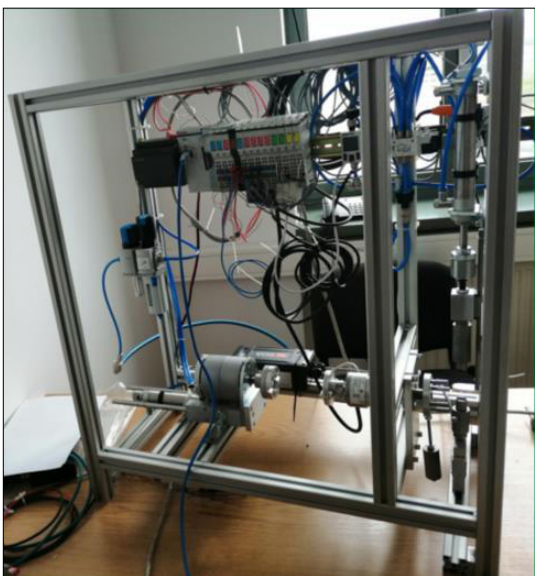
A 9. ábrán egy 15 mérésből álló méréssorozat eredménye látható. A próbatest is, valamint a befogópofák is acél anyagúak. Ennél a befogó-próbatest párosításnál a legkisebb kitérés $87,82^\circ$, a legnagyobb kitérés $89,02^\circ$. Ismerve a 15 mérés átlagát ($88,46^\circ$), valamint a kiindulási szöget, a próbatest átmérőjét, a terhelőerőt, az erőkar hosszát és az erőkar végén levő test tömegét, az (1)-es képlet segítségével meghatározható a próbatest és a befogópofák közötti súrlódási együttható.

3. Következtetések

Az elkészült automatizált rendszer bebizonyította, hogy a mérőrendszer jól automatizálható, ezáltal lehetőség nyílik a gyors és könnyen megismételhető mérésekre, valamint a mérési eredmények kiértékelésére. A rendszer továbbfejleszhető egy indukciós melegítőrendszerrel (12), valamint egy infravörös hőmérséklet-érzékelővel (13), amiknek a segítségével lehetőség nyílik a mintadarab előre meghatározott hőmérsékletre történő melegítésére, így magas hőmérsékleten is lehetséges lesz a súrlódási együttható mérése.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagyinszki Gy., Bitay Enikő: *Felületkezelés*. EME, Kolozsvár, 2009.
<https://doi.org/10.36242/mtf-05>
- [2] Jánosi S., Kolozsvary Z., Sándor V., Rusu A: *A few remarks on plasma nitriding behavior of austenitic and martensitic stainless steels*. Heat Treating. Proceedings of the 20th Conference, 1. (2000) 198–207.



8. ábra. A teljes rendszer

A GYÁRTÁS DIGITALIZÁLÁSA – KIHÍVÁS AZ IPAR ÉS AZ OKTATÁS RÉSZÉRE

DIGITALIZATION OF PRODUCTION – A CHALLENGE FOR THE INDUSTRY AND EDUCATION

Forgó Zoltán,¹ Tolvaly-Roşca Ferenc,² Farnos Rudolf³

Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ zforgo@ms.sapientia.ro

² tferi@ms.sapientia.ro

³ farnos_rudolf@ms.sapientia.ro

Abstract

Today's industry relies not only on raw material processing, but also on information. The huge amount of data obtained during the production process of goods and services; as well as information about the context of the production processes has made it necessary to account for, methodize, analyze and react in order to achieve a competitive market share. Fortunately, this technological leap has been able to support the above process, but the presence of those new technologies requires adequate preparation from the point of view of human resources too.

Keywords: *digitalization, Industry 4.0, information technology, education.*

Összefoglalás

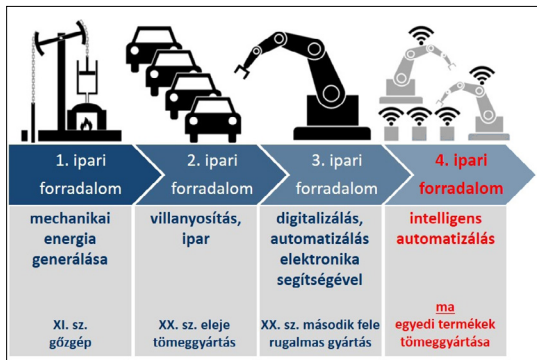
Napjaink termékeinek a megvalósítása nem csak a nyersanyag-feldolgozásra támaszkodik, hanem fontos szerepet játszik az információfeldolgozás is. A termékek vagy szolgáltatások előállításakor óriási mennyiségű adat lát napvilágot, illetve a gyártási környezet változásáról begyűjtött információk is mind szükségessé tették ezen adatok figyelembevételét, rendszerezését, vizsgálatát, és egy versenyképes piaci jelenlét érdekében elengedhetetlenek az ezek alapján tervezett válaszakciók. A fenti folyamatot lehetővé teszi az aktuális technológiai fejlődés, viszont ugyanennyire fontos a technológiák felügyeletében, felhasználásában részt vevő személyzet megfelelő felkészítése is.

Kulcsszavak: *digitalizáció, Ipar 4.0, információ-technológia, oktatás.*

1. A negyedik ipari forradalom

Amikor a számítógépeket a 20. század második felében bevezették az iparba, egy egészen új dimenziója valósult meg a gyártásnak. Ezek a hardvereszközök alapján véve nem sokat változtak, viszont azzal, hogy hálózatba szervezték ezeket és kommunikálni tudnak egymással, illetve döntéseket hozni emberi beavatkozás nélkül, egy újabb szintre emelték a gyártási folyamatok vezérlését. A kiberfizikai rendszerek, a dolgok internete (IoT – Internet of things) lehetővé tette, hogy a negye-

dik ipari forradalomról beszéljünk (1. ábra). Így az Ipar 4.0 keretén belül megvalósulhat a Smart Factory (intelligens gyár): a hálózatba kötött gyártóberendezések egyre több adathoz férnek hozzá, így a megfelelő algoritmusok segítségével nagyobb hatásfokú, nagyobb termelékenységű berendezésekké alakulnak, és mindez úgy történhet meg, hogy kevesebb hulladékot termelnek. Végül is az Ipar 4.0 erőssége abban áll, hogy lehetőségünk van ipari környezetben még több adatot generálni, gyűjteni és feldolgozni.



1. ábra. A 4. ipari forradalom elhelyezkedése az ipar fejlődésében

A fenti kijelentésből egyértelmű, hogy a Big Data (nagy adatmennyiség) fogalom egy alappillére a mai iparnak, és ez folytonos adatforrást szolgáltat a kiértékeléshez. Adatáramlatról beszélhetünk rendszerek, érzékelők és mobil eszközök felől, melyek a gyártóegységben és/vagy azon kívül helyezkednek el, illetve adatgyűjtés zajlik hagyományos és digitális forrásokból egyaránt. Ez a nagy adatmennyiség képezi a mai szakemberek egyik nagy kihívását, mivel új adatértelmezési módszerek kidolgozását teszi szükségessé, amelyek a releváns adatokat választják ki, és ezek alapján hozzák meg döntéseiket.

A kiértékelt adatokat alkalmazni is szükséges. A Smart Factory az az entitás, mely automata módon teszi ezt meg, ezen belül a berendezések automata módon optimalizálják a folyamatokat, melyek tökéletes módon kapcsolódnak egymáshoz. Ez természetesen nemcsak a fizikai érintkezést jelenti, hanem a további adatcserét is, mely veszteség és torzulás nélkül használandó fel a gyártóegység bármelyik pontjában. Ebben nemcsak a belső adatok segítségével növeli termelékenységét, hanem az alkalmazkodási folyamat eredményeképpen visszahat a környezeti változásokra is.

A számítástechnika fejlődése lehetővé tette a számítási kapacitás növekedését, melynek egyik hozadéka a számítógépes grafika széles körű elterjedése lett. Ezt sikerült kombinálni a nagy mennyiségű adatfeldolgozással, és olyan eszközök láttak napvilágot, amelyek lehetővé tették a termékek, gyártóberendezések, sőt a gyártóegységek élethű modellezését. Ezek segítségével megszülettek azok a virtuális modellek, amelyek vizsgálata, kiértékelése lehetővé tette a termékek/szolgáltatások vizsgálatát, még mielőtt ezek megvalósításra, gyártásra kerültek volna. Ez költségcsökkenéssel járt a termékek esetében,

illetve jelentősen lerövidítette a piacra vezetési időt (time-to-market). Az említett modellek a gyártórendszerek virtuális üzembe helyezését tették lehetővé, így korai fázisban sikerül elkerülni számos hibát, melyek a különböző berendezések összehangolásakor jelentkezhetnek, illetve lehetőséget adtak a vezérlések korai fejlesztésére, még mielőtt a berendezéseknek a hardver része fizikailag elkészülne. Olyan számítástechnikai eszközökről beszélhetünk napjainkban, melyek a kibernetikai modellek (cyber-physical models) [1] alkalmazását teszik tehát lehetővé, és melyekben a számítástechnikai eszközök, a hálózatok és a valós gyártórendszerek integrációja valósul meg. Ezen rendszerek automatizálása tulajdonképpen oda vezetett, hogy visszacsatolás révén számítógépek felügyelik, vezérlik és optimalizálják a valós folyamatokat, rendszereket. Ilyen például az ABB RobotStudio szoftvercsomag [2], mely keretén belül lehetőség van virtuálisan felépíteni egy robotizált cellát, illetve lehetőséget ad a cellában szereplő berendezések programozására és ezek együttműködése általi összehangolására. Ebben az esetben ugyanaz a vezérlőszoftver van beépítve a modellező eszközbe, mint amelyik a valós robotokat vezérli, így a cella megépítésekor gond nélkül át lehet vinni a vezérlőprogramot a virtuális világból a valós gyártósorra.

Mindezek mellett a mai fejlesztések azon irányba mutatnak, hogy a számítógépes hardver és szoftver beépítése a berendezésekbe elsősorban nem a számítási/vezérlési feladatra irányulnak, hanem alkalmazkodási és tanulási célokat is szolgálnak.

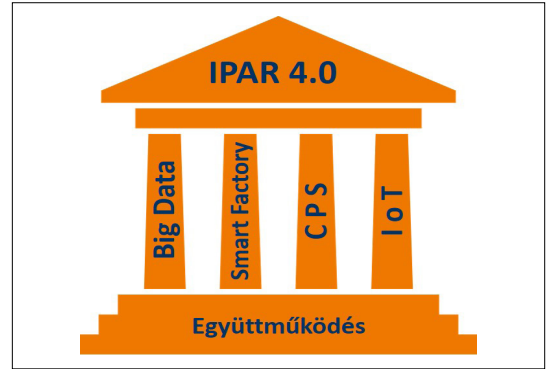
A fentiek alapján fontos az információ feldolgozása. De ennek előfeltétele, hogy az információ elérhető legyen időbeli és térbeli korlátok nélkül. Ehhez segít a dolgok internete (Internet of Things – IoT), mely gyűjtőfogalom a berendezések, mobil eszközök egymással és az internettel való összekötésére. Így, a felhő alapú szolgáltatásokon keresztül, elviekben korlátok nélkül, különböző érzékelőktől, adatbázisokból szolgáltatott adatok jelentik a berendezéseknek a bemenő információkat, melyek alapján automata módon, előre vagy valós időben tervezhetik működésüket. Mivel ezek a berendezések azonnali módon információt cserélhetnek, akár segíthetik is egymás működését, a dolgok internete mobil, azonnali csatlakozással rendelkező decentralizált számítástechnikai rendszernek tekinthető.

A felsorolt négy technológia (Big Data, Smart Factory, Cyber-Physical Systems, Internet of Things) már a 2000-es évek elején is létezett külön-külön.

Most érkezett el az idő, hogy az Ipar 4.0 korszak négy tartóoszlopa együttesen tudjon érvényesülni: a számítástechnikai eljárások lehetővé teszik a hibamentes adatáramlást az emberek, a kibernetikai rendszerek és az intelligens gyártás között, ezeknek a dolgok internete segítségével történő összekötése esetében (2. ábra).

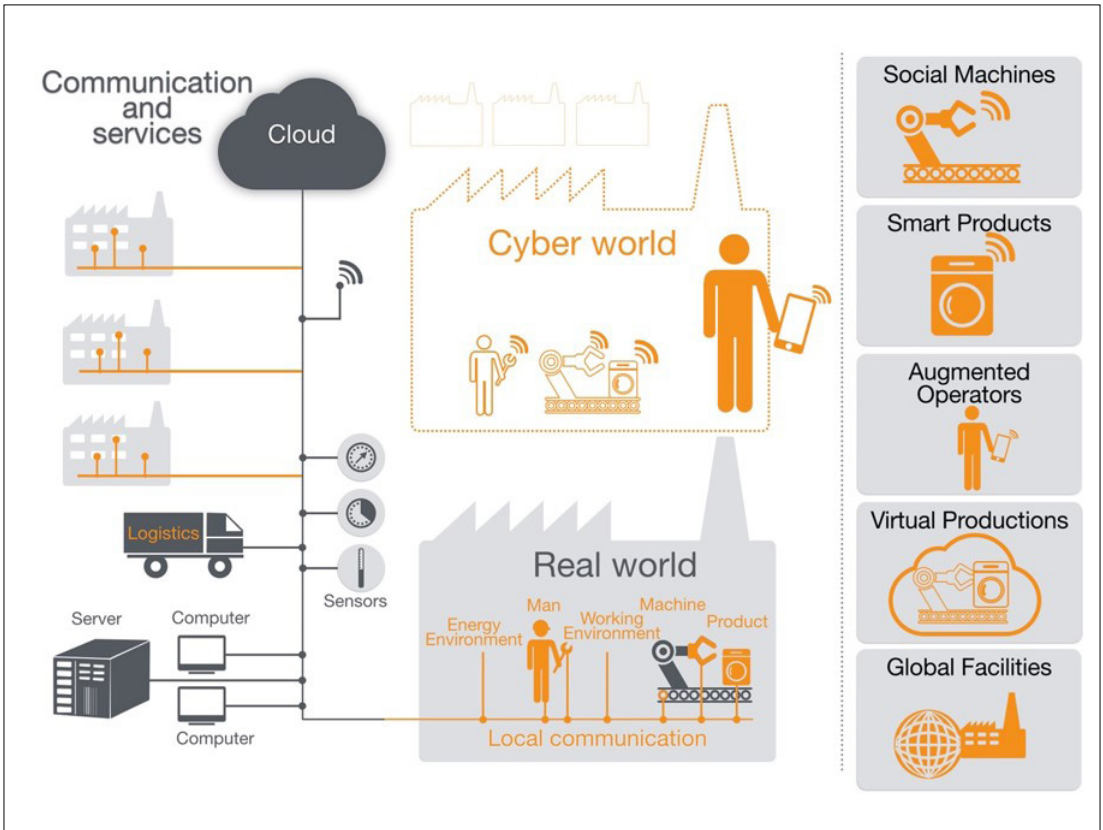
Az algoritmusok alkalmazása nagy változáson ment keresztül az utolsó évtizedben: a hagyományos IT-rendszerekről átkerült a mobil eszközökre és/vagy felhőszolgáltatássá alakult, és piacérett termékeként a behálózott új iparban alkalmazható.

Az Ipar 4.0 vázlatos képét tárja elénk a Clearpath Robotics cég, a németországi OTTO motors leányvállalata, melyben egyértelműen látható a valós és a virtuális üzem tükrözése, az információáramlás az üzemen kívülről (3. ábra). Ugyanitt vannak feltüntetve azon technológiák, melyek visszacsatolás révén a gyártást és a termékek minőségét is kedvezően befolyásolják: a kommunikálni tudó berendezések (Social Machines), az okostermékek (Augmented Reality – pl. egy szemüveg segítségével valós berendezésekhez kötve), a virtuális gyártás térbeli korlátok nélküli környezetben.



2. ábra. Az Ipar 4.0 nem más, mint négy technológiának (Big Data, Smart Factory, Cyber-Physical System, Internet of Things) a szoros és összefonódó együttműködése

képesek, így hatva a tervezésre, kivitelezésre), a kiterjesztett valóságot használó operátorok (Augmented Realty – pl. egy szemüveg segítségével lehetőséget ad plusz információt megjeleníteni valós berendezésekhez kötve), a virtuális gyártás térbeli korlátok nélküli környezetben.



3. ábra. Az Ipar 4.0 gyártóegysége és technológiai [3]

2. Kihívás az oktatás számára

Nagyon sok esetben a felsorolt technológiák és üzemi, ipari szintű megközelítések egyértelműen az Ipar 4.0 célját segítik és valósítják meg: egyedi termékeket tömeggyártó sorokon. Ennek megvalósítására egy gazdasági egységnek nemcsak a technológia szintjén kell felkészülnie, hanem a megfelelő humán erőforrással is kell rendelkeznie, hogy ezeket megfelelőképpen felügyelje és kiszolgálja.

A fentiek értelmében nehéz (de szükségszerűen rövid) út áll Románia előtt, mivel az Európai Bizottság 2019-es Human Capital Digital Inclusion and Skills (2017-es adatok) jelentése szerint Románia az utolsó helyen helyezkedik el a munkavállalók digitális kompetenciáinak kimutatásakor (6. old) – 26% nem rendelkezik egyáltalán digitális kompetenciával [4]. Ezek a kompetenciák pedig elengedhetetlenek az Ipar 4.0 céljainak megvalósításához.

A digitális kompetencia szintjét csakis az oktatással lehet növelni a munkavállalók körében, melyet az állam a formális oktatás (pl. számítástechnikai eszközhasználat) iskolába való bevezetésével vagy az állami hivatalok digitalizálásával érhet el. Ez utóbbi esetben a lakosság nagy része rákényszerül arra, hogy eredményes ügyintézés érdekében közelebb kerüljön a számítástechnikai eszközökhöz. Mindemellett a magánszektor is hozzájárulhat a digitális kompetencia oktatásához: ebben az esetben viszont már nem annyira széles körű oktatásról beszélhetünk, illetve profitorientált kezdeményezésről lévén szó, a különböző iparágak tovább szűkíthetik az oktatott digitális kompetenciákat.

Habár 2015. április 7-én a 245. kormányrendelettel létrejön a Nemzeti Stratégia a Digitális Romániáért 2020 (*Strategia Națională privind Agenda Digitală pentru România 2020*) [5], és létrehozzák a központi irodát (*Agenția pentru Agenda Digitală a României*), mely felügyeli a stratégia megvalósítását, a román ipar nem érzi ennek hatását, mivel a stratégiának nincs közvetlen módon rá fókuszáló pontja.

A stratégiában az iskolai oktatás és a felnőttoktatás terén kiemelt helyet kap a digitális kompe-

tenciák általános fejlesztése (pl. az internethasználat), viszont a dokumentum a mai, digitális korszakban a munkavállalók számára elengedhetlenül szükséges többi digitális ismeretre nem fókuszál.

Ezen akciók szükségességét nemcsak a kormányok szorgalmazzák, hanem a gazdasági szféra is felhívja a figyelmet az elkerülhetetlenre. Például Joe Kaeser, a SIEMENS AG elnöke és CEO-ja, folyó év júliusában a cég honlapján megjelenő *Öt tevékenység egy erősebb Európáért* dokumentumban [6] kifejti, hogy 2024-re a munkavállalók 50%-ának haladó digitális ismeretekkel kell rendelkezniük ahhoz, hogy Európának versenyképes ipara legyen. Ha Európának ez a szükséglete, akkor ez többszörösen is érvényes a közép-kelet-európai régióra.

Ezek értelmében a szakoktatás és az egyetemi oktatás kiemelt szerepet vállalhat és kell vállaljon a felnőttképzésben és a „lifelong learning” képzések és átképzések terén, hogy megtörténjen a felzárkóztatás a digitális kompetenciák terén.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] VisualComponents szoftvercsomag <https://www.visualcomponents.com/> (letöltve: 2020. február 26.)
- [2] ABB RobotStudio szoftvercsomag <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (letöltve: 2020. február 26.)
- [3] OTTO motors Blog <https://ottomotors.com/blog/understanding-industry-4-0> (letöltve: 2020. február 26.)
- [4] Európai Bizottság: *Human Capital Digital Inclusion and Skills*. 2019. https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=59976 (letöltve: 2020. február 26.)
- [5] *Nemzeti Stratégia a Digitális Romániáért 2020* <https://www.comunicatii.gov.ro/wp-content/uploads/2016/02/Strategia-Nationala-Agenda-Digitala-pentru-Romania-2020-aproabata-feb-2015.doc> (letöltve: 2020. február 26.)
- [6] SIEMENS AG: *Öt tevékenység egy erősebb Európáért* <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:af869324-cddb-4b73-a63b-f37871293cb7/Siemens-EU-Industrial-Policy-EN.pdf> (letöltve: 2020. február 26.)

A BIM GYÖKEREI

THE ROOTS OF BIM

Gobesz Ferdinánd-Zsongor

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia, go@mecon.utcluj.ro

Abstract

Today's architectural and civil engineering design is almost inconceivable without collaborative tools. Building Information Modeling supports this with a set of collaboratively usable data. The roots of this concept go back in the past, thus the present paper attempts to depict some of the milestones in its evolution.

Keywords: *building, information, modeling, history.*

Összefoglalás

A mai építészeti és építőmérnöki tervezés szinte elképzelhetetlen együttműködést biztosító eszközök nélkül. Az épületinformáció-modellezés ezt támogatja, együttműködően alkalmazható adatok halmazával. E fogalom gyökerei a múltba nyúlnak vissza, erről próbál néhány mérföldkövet ismertetni jelen kutatás.

Kulcsszavak: *épület, modellezés, informatika, történet.*

1. Bevezetés

A *BIM* (*Building Information Modeling*) legegyszerűbben fogalmazva az építmények fizikai és funkcionális jellemzőinek a digitális ábrázolása [1] egy olyan egységes modellben, amelynek a kezelésében és alkalmazásában az építőipar minden szereplője együttműködhet. Gyakorlati alkalmazása számítógéppel segédelt programcsomagok segítségével történik, akár tervezésről, építésirányításról, értékbecslésről, működtetésről és karbantartásról vagy más, építményekre vonatkozó tevékenységekről van szó. Azáltal, hogy egy építmény összes fizikai és funkcionális jellemzője egy kezelhető modellbe van foglalva, számos előny keletkezik. Ezek közül talán a legfontosabb a modell szerkesztési pontossága, ugyanis ezáltal kerülhetők el a kivitelezésnél felbukkanó kényszerhelyzetek és hiányosságok, melyek a minőség, a költségek és a kivitelezési idő rovására igényelnének beavatkozásokat.

Az építmények ilyen számítógépes modellezésének az ötlete az 1970-es évek elején kezdett megvalósulni, és az 1980-as évek közepén már olyan

cikkek láttak napvilágot, melyekben a gyakorlati lehetőségeket és konkrét példákat tárgyalták [2, 3]. A *Building Information Models* (építményinformáció-modellek) szókombináció 1992-ben látott napvilágot [4], majd 2002-től (az *Autodesk* cég nyilatkozatával [5]) került a köztudatba. A *BIM* rövidítés bevezetését Jerry Laiserinnek [6] tulajdonítják.

2. Termékadatok fejlődése

A 18. század végén jelent meg az első műszaki rajz könyv [7] Franciaországban, utat nyitva a műszaki grafikának. A műszaki rajz lett az egyik alappillére a műszaki tervezésnek. Egyrészt ezáltal lehetett részekre bontva ábrázolni a szerkezeteket, másrészt részletesebb termékleírát nyújtott (pontosítva a termékadatokat). A számítógéppel segédelt tervezés alapja is a grafikai szerkesztés volt eleinte. A számítógépes grafika több előnyt kínált tervváltoztatások, illetve tárolás szempontjából a kézi rajzoláshoz képest. Bár a kézi rajzokra könnyű volt észrevételeket, javaslatokat feljegyezni, ezeknek az értelmezése körülményesebb munkát igényelt. Az olyan cégek ke-

retében, ahol a műszaki tevékenységek nemcsak tervezést, hanem gyártást vagy karbantartást is felöleltek, a kézi rajzok nem nyújtottak megfelelő termelékenységet. Hasonló volt a helyzet a műszaki láncolatokban is, ahol több cég vett részt egy-egy termék tervezésében, kivitelezésében és karbantartásában. Amennyiben eltérő CAD/CAM eszközöket alkalmaztak, az adatkonverziók hátráltatták a hatékony együttműködést. Így merült fel az igény egy olyan semleges köztes formátum kialakítására, mely több számítógépes rendszer közti adatcserét segített volna.

1950-ben alakult meg Párizsban az AICMA, melynek neve 1973-ban AECMA (*Association Européenne des Constructeurs de Matériel Aérospatial*) lett. 1977-ben javasoltak egy adatcsere-formátumot, mely segítségével az együttműködő cégek felületi geometriákat tudtak közölni egymással. Bár néhány esetben alkalmazták, idővel feledésbe merült [8].

Az 1970-es években az Amerikai Nemzeti Szabványügyi Intézet (ANSI) X3/SPARC bizottsága elkezdett foglalkozni azzal, hogy miként lehetne az adatokat az adott felhasználástól vagy a számítógépes technológiáktól függetlenül leírni. Ez a bizottság egy háromlépcsős eljárást javasolt, amellyel egyazon információ különböző nézeteit (fogalmi, belső és külső) szűrők segítségével alkalmazhatnák a felhasználók különféle számítógépes technológiákban [8].

Az amerikai légierő az ANSI/X3/SPARC módszerre építve fejlesztette ki az információmodellelési eljárását, az integrált számítógépes gyártási (ICAM) program eredményeként. Az ICAM célja új gyártásautomatizálási technológiák kifejlesztése volt, amelyek csökkenthetik a beszerzések összköltségét. Az ICAM és az azt követő szerződések, ideértve a „Termékadatok meghatározási interfésze” (PDDI) és a „Geometriai modellező alkalmazás” (GMAP) programokat, nagyban hozzájárultak azoknak az eszközöknek és eljárásoknak a kialakításához, melyeket a későbbi szabványokba ültettek. A CAM-I (*Computer-Aided Manufacturing – International Inc.*) szervezet az 1970-es évek elején indult geometriai modellezési projekt révén járult jelentősen hozzá a B-REP (*Boundary Representation*) adatok formájához. A CAM-I által finanszírozott munka eredménye, mely a szabványos geometria és topológia matematikai ábrázolása volt, megelőzte korát, mivel egyértelműen több információt tartalmazott, mint amit az akkori CAD-rendszerek értelmezni tudtak. A CAM-I specifikáció a cserélhető adatok alapvető leírására vonatkozott, figyelmen kívül hagyva

a cseremechanizmust. Ezt a leírást benyújtották az ANSI „Y 14.26” (*Computer Aided Preparation of Product Definition Data*) bizottságának [8]. 1980-ban közölte az NBS (Egyesült Államok Nemzeti Szabványügyi Irodája) a termékmeghatározási adatok kommunikációjának digitális ábrázolására vonatkozó NBSIR 80-1978 szabványt, amit az ANSI IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) 1-es verzióként hagyott jóvá, a CAD-rendszerek közti digitális adatcserét szabályozó semleges adattömb formátumként.

Az Amerikai Egyesült Államokban az 1970-es évek végén alakult egy csoport az ipar, a kormány és az egyetemek irányításával. Célkitűzése olyan szabványok és technológiák kidolgozására irányult, melyek a termékadatok szabályozását és cseréjét biztosították volna különféle számítástechnikai rendszereken. Ez a csoport két projektre összpontosított, melynek eredményei az IGES, illetve a PDES (*Product Data Exchange Specification*) lett [9].

Németországban a gépjárműgyártók egyesülete a tetszőleges alakú görbék és felületek számára fejlesztette ki a VDA-FS (*Verband der Automobilindustrie – Flächenschnittstelle*) formátumot 1982-ben, hogy növeljék a CAD/CAM-rendszerek hatékonyságát és alkalmazhatóságát a tervezési folyamatokban [8]. Ezáltal Németország is hozzájárult a nemzetközi termékadat-modellek szabványosításához.

Szintén 1982-ben indultak Finnországban az építés terén alkalmazható számítástechnikai eszközökkel kapcsolatos elképzelések, így született a RACAD (Számítógéppel segédelt tervezés építőipari tanácsa) 1983-ban, illetve a VTT (Műszaki kutatási központ) közölt egy tanulmányt az integrált számítógéppel segédelt tervezésről [10]. E két szervezet némileg párhuzamos tevékenysége eredményeként alakult ki a RATAS (Épületek számítógéppel segédelt tervezése) projekt 1985–1991 között. Ennek javaslatai az adatátviteli formátumok struktúrájára vonatkoztak, miszerint az alkalmazásokon belül bármilyen adatszerkezetek lehettek, amennyiben megfelelő szűrőprogramok léteznek az adatcserékhez. Egy szabályalkotás alapú tudásleíró nyelvet, illetve egy általános adatmodellkeretet is kifejlesztettek. A termékadatok átvitelére vonatkozó szabvány javaslatában az objektumok egyenkénti kezelését feltételezték, a nyelvhez pedig egy LISP közeli szintaxist ajánlottak [10].

A francia SET (*Standard d'Echange et de Transfert*) projekt 1983-ban indult az Aérospatial keretében [8]. Az IGES alkalmazási problémáinak a

kezelésére fejlesztették ki, elsősorban az autóiipar meg a repülőgépgyártás számára. A *SET* a különféle CAD- és CAM-rendszerek közti adatcsere követelményeit és az adatok tárolásának az igényét tükrözte.

1984-re ezek a nemzetközi erőfeszítések annyi összevethető eredménnyel jártak, hogy lehetőség körvonalazódott egy közös megoldás kifejlesztésére a CAD-adatcserékhez. E közös nemzetközi szabvány fő mozzgatórugói a következők voltak [8]:

- globális kereskedelem és adatcsere;
- egyre összetettebb termékek;
- többcélú szoftver (például olyan tervezési vagy műszaki rendszerek, melyek több iparágban és tevékenységben alkalmazhatók);
- a szállítók iránti bizalom a termékfejlesztés minden szakaszában;
- az életciklus-támogatás szükségessége.

Sokan úgy érezték, hogy az *IGES* nem képes megfelelni ezeknek az igényeknek. A nemzetközi eredmények hatásaként az első termékadatcsere-specifikációt (*PDES*) 1984 júliusában adták ki az Amerikai Egyesült Államokban, majd ezt egy második változat követte novemberben. Ezek később beleolvadtak az ISO TC184/SC4 bizottság által kifejlesztett *STEP* (*Standard for the Exchange of Product model data*) előírásba, mely 1988-ban látott napvilágot „ISO 10303” jelöléssel [9].

1989-ben jelent meg a *BPM* (*Building Product Model*), mellyel nemcsak tervezést, hanem költségbecslést és kivitelezési folyamatot is kezelni lehetett, felölelve a teljes épületmegvalósítás fázisait. De ez az előírás inkább a termékmodellezésre összpontosított, még nem integrálta a tervezéshez és az építésirányításhoz szükséges információkat. A *CIC* (*Computer-Integrated Construction*) már egy fejlettebb elképzelés volt [11].

A termékadatokra vonatkozó szabványok és a műszaki szoftverpiac fejlődésének hatására 1994-ben az *Autodesk* javaslatára egy 12 cégből álló ipari konzorcium jött létre *Industry Alliance for Interoperability* (*IAI*) névvel, hogy olyan C++ osztályokat alakítsanak ki, amelyek az integrált szoftverfejlesztést támogatják. Ennek eredményeként jelent meg 1995-ben az építészeti és építőipari termékeket és szolgáltatásokat ábrázoló adatmodell, *IFC* (*Industry Foundation Classes*) néven [12]. A konzorcium neve 1997-ben *International Alliance for Interoperability* lett, majd 2005-től *buildingSMART*.

Szintén 1995-ben jelent meg a *GBM* (*Generic Building Model*) fogalma, lehetőséget kínálva a tervezés kezdetétől az építmény egész élettarta-

mának a végéig alkalmazható információhalmaznak az integrált és együttműködő alkalmazására. Ez adta meg a löketet a *BIM* megjelenéséhez az ezredforduló után.

A szöveges adatok leírására dolgozták ki a szabványos általános jelölőnyelvet, avagy a *SGML*-et (*Standard Generalized Markup Language*) 1986-ban. A világháló terjedésével a *HTML* (*HyperText Markup Language*) lett a legalkalmazottabb eszköz az információk terjesztéséhez. Mivel a használói nem csak adatközlést, hanem adatcserét is igényeltek, a *W3C* (*World Wide Web Consortium*) 1998-ban közölt egy fejlettebb, kiterjeszhető jelölőnyelvet *XML* (*Extensible Markup Language*) néven. Ennek több alkalmazása született, az építőipar számára a *Bentley Systems* által elkezdett, majd az *IAI* által kifejlesztett *aecXML* (*Architecture, Engineering and Construction XML*) volt az első. Európában az 1990-es évek végén indult be az *eConstruct* (IST-1999-10303) projekt. Ennek keretében alakították ki a *bcXML*-et (*Building and Construction XML*), mely egy rendszertan és szótár alapú rendszer lett [13]. A *bcXML* volt az alapja a *ceXML* (*Civil Engineering XML*) jelölőnyelvnek, melyet MSc-tézisként dolgozott ki Reinout van Rees [14]. Mivel az *eConstruct* alapját képező rendszertan nem bizonyult elég helytállóknak, 2000-ben továbbfejlesztették azt elképzelést egy újabb projekt (IST-2000-28671) keretében *E-COGNOS* névvel, ontológiával helyettesítve a taxonómiát [15].

A jelölőnyelv alapú adatszerkesztés nyitott, bővíthető és biztonságos fejlesztést kínált, hiszen nem igényelt különleges szoftvereket.

3. Szoftverek alakulása

A *BIM* alapötlete egyesek szerint Douglas C. Engelbartnak tulajdonítható, mivel ő írt a tárgy alapú tervezés, parametrikus kezelés és relációs adatbázis együttes építészeti alkalmazásáról, az 1962-ben megjelent írása [16] bevezető fejezetének 4–6. oldalain. 1962-ben jelent meg a *Sketchpad*, majd 1964-ben a *DAC-1*, utat nyitva a számítógéppel segédelt tervezésnek.

A legtöbben viszont Charles Eastmant tartják a *BIM* atyjának, ugyanis 1975-ben bemutattott egy általa fejlesztett úttörő alkalmazást, *BDS* (*Building Description System*) névvel [17]. Ez több ezer építészeti elemet foglalt magába, melyeket grafikusan össze lehetett illeszteni, különböző épületrajzokat hozva létre. Eastman szerint az építészeti rajzok nem feleltek meg hatékonyság szempontjából, mivel egyes részek különféle méretű vetü-

letei ismétlődtek több helyen rajtuk. Véleménye szerint a BDS alkalmazása csökkentette volna a tervezési költségeket a hatékonyság javára. A BDS még sem aratott sikert, mivel az építészeti meg szerkezeti elemeket tartalmazó tára korlátozott volt. Eastman 1977-ben mutatta be ennek a továbbfejlesztett változatát *GLIDE (Graphical Language for Interactive Design)* névvel [18], mellyel pontosabb szerkesztést és tervellenőrzést lehetett végezni, sőt költségbecslést is.

A *GMW Computers* 1977-től kezdte forgalmazni a *RUCAPS (Really Universal Computer Aided Production System)* szoftvert, melyet 1986-ban a Heathrow repülőtér 3-as termináljának a bővítési terveinél alkalmaztak is [3], bár más programcsomagok is léteztek már Angliában (*GDS, EdCAD, Cedar, Sonata, Reflex* stb.).

A gépipar fejlődése nagy lendületet adott a programfejlesztéseknek, és az 1980-as évek elején több térbeli grafikus modellezésre képes szoftvert hoztak létre. A személyi számítógépek megjelenése még jobban serkentette ezt.

Az 1980-as Hannoveri Vásáron mutatott be egy épületek tervezésére szánt integrált szerkesztési és számítási programcsomagot a Georg Nemetschek által 1963-ban alapított építéstudományi műszaki iroda, utat nyitva a mikrokomputereken történő számítógépes műszaki tervezésnek. E programcsomag 1984-től *AllPlan* néven lett közismert [19]. Az 1990-es évektől a cég látványosan fejlődik, 1997-ben mutatják be az adatbázis alapú *O.P.E.N.* csomagot, a mai *OpenBIM* elődjét, majd sorozatos cégátvételekkel és -felvásárlásokkal az egyik legnagyobb csoportra alakul [19].

Az 1980-as évek elején kezdte meg a *Bentley Systems* a *MicroStation* fejlesztését, bevezetve a *DGN (DesiGN)* formátumot. Ezt a programcsomagot később az *Intergraph* forgalmazta *MicroStation Triforma* néven. Az eredeti elképzelés szerint egy *IDGN (Interactive Graphics Design System)* adat-tömbszerkesztő volt PC-re, és 1992-ben már sajátos, *MDL (MicroStation Development Language)* programozási nyelvvel rendelkezett, amit az évtized végére *Javaval* is bővítettek [20]. A *Bentley System* integrált projektmodellezésnek nevezte a szoftvercsomagba ültetett eljárást [21], és 1998-ban egyike volt az *ODA (Open Design Alliance)* alapítóinak. Az *ODA* célja olyan műszaki szoftverfejlesztő eszközök és szűrők fejlesztése, melyek elősegítenék a kötetlen adatcserét különböző alkalmazások és platformok között [22]. Eredetileg *OpenDWG Alliance* névvel alakult, majd 2002-ben keresztelték át a jelenlegire.

A legismertebb talán az *AutoCAD*, melynek első változatát a *CP/M* operációs rendszerre írták és 1982-ben jelent meg, bevezetve a *DXF (Drawing Exchange Format)* formátumot. Egy év leforgása alatt már szinte 1000 felhasználója lett [23]. Az *Autodesk* fejlesztése egy előző program alapján történt, melyet Michael Riddle (az *Autodesk* egyik társalapítója, majd az *EasyCAD* és *FastCAD* fejlesztője) 1979-ben mutatott be *Interact* néven [24], a *DWG* formátum első változatával. 1986-ban jelent meg az *AutoCAD 2.1-es* kiadása, amiben az *XLISP* programozási nyelvből fejlesztett *AutoLISP* beépítése jelentett újdonságot. Az 1990-es évekre az *Autodesk* olyannyira felnőtt, hogy a legjelentősebb CAD-szoftverfejlesztőnek számított és az *AutoCAD* volt az egyik legismertebb program. Ezután kezdett építészeknek és építőmérnököknek szánt célzott programcsomagokat is fejleszteni, illetve sorozatos cégátvételekkel (*Micro Engineering Solution, Softdesk, Discreet Logic, Revit Technology Corporation* stb.), illetve programvásárlásokkal olyanokat is, amiknek nem az *AutoCAD* volt az alapja (*Revit, RoboBat, Graitec* stb.).

Budapesten 1982-ben alapította a *Graphisoft* szoftvervállalkozást Bojár Gábor és Tari István Gábor [25], melynek terméke 1984-ben *Radar CH* néven jelent meg, majd később *ArchiCAD* néven sikeresen továbbfejlesztették. Ez a szoftver a *BDS*-hez hasonló elképzelésen alapult, és az első személyi számítógépeken futó *BIM*-alkalmazásként tartják számon (bár a *Graphisoft* „virtuális építés”-ként jellemzi ezt a könyvtár alapú parametrikus szerkesztési módot [21]). A *GDL (Geometric Description Language)* segítségével lehetőséget nyújtott az építészeti elemeket tartalmazó tárának a bővítésére. 1996-ban csatlakozik az *IAI*-hez, majd az ezt követő években dobják piacra az *ArchiCAD for TeamWork*, majd *ArchiFM* szoftvereket [25]. 2002-ben az *ArchiCAD* megkapja az *IFC 2x* tanúsítványt. Az *ArchiCAD* sikerét és népszerűségét igazolja, hogy 2006-ban a *Graphisoft* szoftverfejlesztő vállalkozását felvásárolta a *Nemetschek*.

1984-ben alapították a *Data Design System AS* céget Norvégiában, melynek *DDS-CAD* nevű szoftvere elsősorban az épületgépészek tevékenységét célozta meg [26]. A cég fejlődése eredményeként 2013-tól a *Nemetschek* részévé vált, és a szoftverüknek építészeknek, illetve építőmérnököknek szánt változata is lett.

1985-ben jelent meg Bostonban a *PTC (Parametric Technology Corporation)*, mely 1988-ban dobta piacra a gépészmérnöki *Pro/ENGINEER* első változatát. A *PTC* felvásárolta és továbbfejlesztette a

Reflex csomagot, ezt kínálva építészeti tervezéshez, de nem sok sikerrel. 1997-ben Irwin Jungreis és Leonid Raiz kiváltak a *PTC*-ből, hogy egy olyan parametrikus programcsomagot fejlesszenek ki, amellyel komplexebb modelleket lehetne alkotni. Sikerük csak 2000-ben ért be, amikor piacra dobták a *Revit* első változatát, „parametrikus építés modellezésként” jellemezve az eljárásukat. A következő két év alatt gyorsan fejlődött e csomag, míg 2002-ben felvásárolta az *Autodesk*. Talán nem véletlen, hogy abban az évben tette közzé az *Autodesk* a *BIM*-re vonatkozó nyilatkozatát is [5].

A franciaországi *Robot Diffusion* (később *RoboBAT*) 1985-ben kezdte terjeszteni Toulouse-ban a *ROBOT CONCEPTION* programot, amely 1988-tól *ROBOT Structures* néven lett sikeres [27]. 1999-ben a *RoboBAT* is hivatalos *Autodesk*-partner lett, és egy évre rá *ROBOT Millennium* névvel fejlesztették tovább *AutoCAD* alapon a szoftvert. Sorozatos partnerszerződéseken keresztül más programcsomagokat is fejlesztettek (*CAO*, *RCAD*, *CBS Pro* stb.) 2000 után, míg 2014-ben egyesültek a *GRAITEC* csoporttal [27].

A *TurboCAD* fejlesztése Dél-Afrikában kezdődött az 1980-as évek első felében IBM PC-re. 1986-ban kezdték forgalmazni e névvel Angliában és Amerikában, majd az *IMSI (International Microcomputer Software)* által fejlesztett változat került a kereskedelembe 1990-től. A vele szinte egy időben megjelent *Generic CADD* az *AutoCAD* olcsóbb alternatívájaként lett közismert.

Bár 1974-ben alakult a belgiumi *SCIA (Scientific Applications)* cég, az első szoftverük 1987-ben látott napvilágot (acélszerkezetek kapcsolatainak a kialakításához). 1990-ben jelent meg az acél keretszerkezetek modellezésére alkalmas *SteelFab* szoftverük. Ez egy *UNICAD* alapú *CAD*-csomagként indult, majd később *AutoCAD*-re fejlesztették tovább. 2006-tól a *Nemetschek* lett a cég tulajdonosa, és legnépszerűbb termékük, a *SCIA Engineer* volt az első tartószerkezet-elemző szoftver, mely IFC 2x3 bizonyítványt kapott 2013-ban [28].

Francis Guillemard 1986-ban alapította a *GRAITEC* céget, mely három évvel később az *Effel* szoftvercsomagot kínálta vasbeton, acél és fa keretszerkezetek végeeselemes számítására. 1992-ben mutatta be az *Arche* programot építésszimulálásra és automatizált betonvasalás tervezésre, majd két évvel később a *Melody* programot sík acélkeretek kapcsolatainak automatikus tervezésére és ábrázolására. 1997-ben kezdett együttműködni az *Autodesk* céggel hivatalos fejlesztőként, majd 1999-ben Romániában alapított külképviseletet. 2001-től új termékeket kínál a cég

(*Advance Concrete*, *Advance Steel* stb.), mint *Autodesk*-partner [29].

A Kolozsvári Területi Elektronikus Számítógézpont (*C.T.C.E. Cluj*) keretében fejlesztették ki a *Polied* programot [30] *DAC*-modellek térbeli hálós megjelenítésére. 1984-ben készült el, és 1986-ban jelen voltam egy tesztelésén, ahol gyorsabbnak bizonyult az akkori *AutoCAD 2.1*-nél, de nem volt piaci esélye.

1988-ban alakult meg a svájci *Cadwork Informatik AG*, folytatva a *CSEM (Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique)* és az *EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)* által 1980-ban elkezdett *Cadwork* szoftver fejlesztését [31]. Eredetileg órák tervezésére szánták, de később az egyik legelismertebb faszerkezet-tervezést és -gyártást segítő program lett. 2004-től kezdték az úthálózatok tervezését segítő *Cadwork Ingénieur* meg a *Lexocad* [32] *BIM* alapú szoftverek fejlesztését is, de jelenleg is a *Cadworks Wood* a legismertebb termékük.

A *Tekla X-Steel* (a *Tekla Structures* elődje) 1993-ban jelent meg. A finn *Teknillinen Laskenta Oy* (Műszaki Számítás Kft.) 1966-ban alakult azzal a céllal, hogy egységes számítógépes programozási irodát kínáljon különféle műszaki tevékenységekhez. 2011-ben a *Trimble Navigation* cég megvásárolta a *Tekla* céget [33], majd megjelent a *Tekla BIMsight*, egy nyitott szoftveralkalmazás építési információs modelleken alapuló együttműködésre az építési projektekben. Ezzel modelleket lehetett importálni más *BIM*-alkalmazásokból az IFC formátum segítségével.

Az 1990-es évek elején jelent meg az *IntelliCADD* szoftverfejlesztő cég Kaliforniában. Egyik termékük az *AutoCAD Data Extension* volt, mellyel több felhasználó férhetett egy időben ugyanahhoz az *AutoCAD* rajzhoz. 1994-ben a *Softdesk* cég ezt felvásárolta, és (némi titokban) *AutoCAD*-klónként próbálta fejleszteni. Az *Autodesk* előbb perelni próbálta a *Softdesk*-et, majd 1996-ban felvásárolta, de az eredeti alkalmazottak egy része átvándorolt a *Visio*-hoz [34]. A *Visio IntelliCAD* 1998-ban került piacra, jóval alacsonyabb áron, mint az *AutoCAD*. Bár nem lett akkora sikere, mint amekkorára számítottak, a *Visio* nem volt képes egyedül biztosítani a fejlesztését, így alakult meg az *ITC (IntelliCAD Technology Consortium)*, mely a 2000-es változat teljes jogait átvette. Az *ITC* is az *ODA* alapítói közé tartozik, és idővel a szoftver egy közös fejlesztői eszközzé alakult [35]. A belga fejlesztésű *BricsCAD* is innen indult, valamint az épületgépesítési *FINE MEP (Mechanical Electrical and Plumbing)* sorozat.

Az 1980-as évek végén mutatta be az *AutoDesSys* (*Automated Design Systems*) cég az első személyi számítógépeken futó térbeli modellező és animációs szoftverét, melyet 1991-ben bocsátottak ki *form-Z* néven. Nemcsak az építészeti modellezésben, hanem a játék- és filmiparban is nagy sikere lett [36].

Frank Gehry világhírű építész cége 2005-ben kezdett együttműködni a *Dassault Systemes* céggel, melynek eredményeként fejlesztették ki a *Digital Projectet*, egy *CATIA* (*Computer-Aided Three-dimensional Interactive Application*) alapú CAD-csomagot, illetve a *GTeam* (projektkoordinálás) szoftvert. A *CATIA* egy többplatformos szoftvercsomag számítógépes tervezéshez (*CAD*), számítógépes gyártáshoz (*CAM*), számítógépes műszaki tervezéshez (*CAE*), termékélettartam-kezeléshez (*PLM*) és térbeli modellezéshez (*3D*), melynek gyökerei 1977-re nyúlnak vissza [37]. Miután 2012-ben a *Trimble* cég felvásárolta a *SketchUp* programcsomagot a Google-tól, 2014-ben megvette a *Gehry Technologies Gteam* szoftverét is, a *Tekla* (*BIM*-modellezés) és a *Vico Office* (*BIM*-adatkezelés) mellé [33].

E kezdeményezések eredményeként ma már nagyon sok *BIM* alapú szoftver létezik az építőiparban, felölelve számos érintett szakterületet is (*GIS*, *PIF* stb.). A *BIM* mellett népszerű lett az *OpenBIM* is, mely a *buildingSMART*-féle adatmodell szabadon fejleszthető változatát támogató szoftvergyártók által terjed.

4. Következtetések

Jelen kutatás célja, a *BIM* fogalmának és jelentőségének a tárgyalása mellett, az idevezető eszközfejlesztések rövid történeti áttekintése, mivel a világhálón fellelhető információk sok helyen ellentmondásosak vagy nem elég pontosak. Nem ismertettük az összes eszközt, csupán a szerző által fontosabbnak tartottakat említettük meg. Ezen előzmények ismeretében pontosabb képet lehet kapni a *BIM* jelentéséről és kialakításáról.

A 18. századtól a 20. század közepéig a műszaki rajz volt a legalkalmazottabb eszköz, alig változva a két évszázad során. Az elektronikus számítógépek megjelenése, majd a termékadat-technológiák (*PDT*) és a számítástechnika egyre gyorsabb fejlődése vezetett a ma alkalmazható épületinformáció-modellezéshez, mely által nemcsak pontosabb szerkesztés és költségbecslés lehetséges, hanem lényegesen jobb minőségű nyilvántartás, karbantartás és követés is az építmények teljes élettartama során.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] National Institute of Building Sciences. National BIM Standard – United States: *Frequently Asked Questions. About the National BIM Standard-United States*. National BIM Standard – United States. <https://www.nationalbimstandard.org/faqs/faq1> (letöltve: 2019. október 18.)
- [2] Ruffle S.: *Architectural Design Exposed: From Computer-Aided-Drawing to Computer-Aided-Design*. Environments and Planning B: Planning and Design, 13/4. (1986) 385–389. <https://doi.org/10.1068/b130385>
- [3] Aish R.: *Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD*. CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building, Bath, U. K., 7–9 July 1986. 55–67.
- [4] Van Nederveen G. A., Tolman F. P.: *Modelling multiple views on buildings*. Automation in Construction, 1/3. (1992) 215–224. [https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-B](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-B)
- [5] Autodesk Inc. White Paper: *Building Information Modeling*. San Rafael, CA, USA, 2002. http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf (letöltve: 2019. október 18.)
- [6] Laiserin J.: *Comparing Pommés and Naranjas*. The Laiserin Letter 15/December 16. (2002). <http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php> (letöltve: 2019. október 21.)
- [7] Monge G.: *Géométrie descriptive. Leçons données aux Écoles normales, l'an 3 de la République*. Baudouin, Imprimeur du Corps législatif et de l'Institut national, Paris, France, 1798. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5783452x.texteImage> (letöltve: 2019. október 18.)
- [8] Goldstein B. L. M., Kemmerer S. J., Parks C. H.: *A Brief History of Early Product Data Exchange Standards*, NIST, Gaithersburg, MD, USA, 1998. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6221.pdf> (letöltve: 2019. október 21.)
- [9] Mies D.: *Managing Materials Data. Materials Data Standards*. In: Handbook of Materials Selection (Ed: Kutz M.). John Wiley & Sons, New York, 2002. 497–498.
- [10] Björk B. C.: *RATAS, a longitudinal case study of an early construction IT roadmap project*. Journal of Information Technology in Construction, 14., Special issue “Next Generation Construction IT: Technology Foresight, Future Studies, Roadmapping, and Scenario Planning” (2009) 385–399. <https://www.itcon.org/paper/2009/25> (letöltve: 2019. október 22.)
- [11] Penttilä H.: *Computer-Aided Building Modeling*, ECAADE Conference 1989, PDF-Proceedings, School of Architecture in Aarhus, Denmark. 1989. 3.2.1–3.2.11. <http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf15.content.pdf> (letöltve: 2019. október 22.)

- [12] BuildingSMART International. Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/> (letöltve: 2019. október 21.)
- [13] van Rees R.: *New instruments for dynamic Building-Construction: computer as partner in construction*. PhD thesis. T. U. Delft, The Netherlands, 2006. <https://reinout.vanrees.org/proefschrift.pdf> (letöltve: 2019. október 21.)
- [14] van Rees R.: *ceXML – an XML vocabulary for building and civil engineering*. MSc thesis, T. U. Delft, The Netherlands, 2000. <https://reinout.vanrees.org/afstudeerverslag/book1.html> (letöltve: 2019. október 21.)
- [15] European Commission. *CORDIS EU Research Results. Methodology, tools and architectures for electronic consistent knowledge management across projects and between enterprises in the construction domain*. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/58393/factsheet/en> (letöltve: 2019. október 21.)
- [16] Engelbart D. C.: *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*. Summary Report, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, USA, 1962. http://www.doungengelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf (letöltve: 2019. október 22.)
- [17] Eastman C.: *The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design*. AIA Journal, 63/1. (1975) 46–50. https://www.researchgate.net/profile/Charles_Eastman/publication/234643558_The_Use_of_Computers_Instead_of_Drawings_in_Building_Design/links/54aff5690cf2431d3531c7a7/The-Use-of-Computers-Instead-of-Drawings-in-Building-Design.pdf (letöltve: 2019. október 22.)
- [18] Eastman C., Henrion M.: *GLIDE: A Language for Design Information systems*, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, =11/2. (1977) 24–33. https://www.researchgate.net/profile/Charles_Eastman/publication/234805111_GLIDE_a_language_for_design_information_systems/links/00b4952fe32fd50f61000000/GLIDE-a-language-for-design-information-systems.pdf (letöltve: 2019. október 22.)
- [19] Nemetschek Group. Company. History. <https://www.nemetschek.com/en/company/history> (letöltve: 2019. október 22.)
- [20] Sumbera S.: *Java/JMDL communication with MDL applications*. MicroStation Manager (MSM online), 11/12. (2001) 30–34. <http://www.sumbera.com/ustation/articles/JavaMDL/JavaMDL.pdf> (letöltve: 2019. október 22.)
- [21] Howel I., Batcheler B.: *Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations*. The Laiserin Letter 27/May 2011. http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf (letöltve: 2019. október 18.)
- [22] OpenDesignAlliance: *Formats Supported by ODA's 100-Year Commitment*. <https://www.opendesign.com/about/formats> (letöltve: 2019. október 25.)
- [23] Weisberg D. E.: *A Brief Overview of the History of CAD*. In: *The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering*, David Weisberg's e-publication, 2008. 2–19. <http://cadhistory.net/02%20Brief%20Overview.pdf> (letöltve: 2019. október 18.)
- [24] Michael Riddle's Thoughts. *The world of Software Design*. About. http://www.michaelriddle.com/?page_id=2 (letöltve: 2019. október 18.)
- [25] Graphisoft. *Vállaljuk a kihívásokat! Prospektus*, 2004, 36. (letöltve: 2019. október 22.) https://bse.hu/newkibdata/107142/7142_1_GRA040331AR01H.pdf
- [26] Data Design System A Nemetschek Company. *About Data Design System*. (letöltve: 2019. okt.22.) <https://www.dds-cad.net/company/>
- [27] BIMware. *Histoire de Robobat et BIMware*. <https://bimware.com/fr/societe/histoire.html> (letöltve: 2019. október 22.)
- [28] SCIA. *Innovation at Scia. History of Innovations*. <https://www.scia.net/en/company/innovation-scia> (letöltve: 2019. október 22.)
- [29] GRAITEC. *Products. Global CAD / Analysis & Design solutions for the construction engineering field*. (letöltve: 2019. október 22.) <https://www.graitec.com/products/>
- [30] C.T.C.E. Cluj. *Principalele realizări și activități prestate de CTCE – Cluj*. (letöltve: 2019. okt.18.) <http://www.ctcecluj.ro/?p=872>
- [31] Froidevaux Y.: *Bibliographie „Perret T. et al., Microtechnique et mutations horlogères. Clairvoyance et ténacité dans l'arc jurassien, Hautevoix, Editions Gilles Attinger, 2000, 333 pages (Cahiers de l'Institut neuchâtelois, 28, FLRH)”*. *Revue Historique Neuchâteloise*, 1. (2003) 88–91. http://www.histoirene.ch/uploads/rhn1-2003_cr_froidevaux.pdf (letöltve: 2019. október 25.)
- [32] Breit M., Vogel M., Häubi F., Märki F., Soldati M., Etesi L. I., Hochmuth N., Walther A.: *Enhancement of virtual design and construction methods*. In: *CIB W78 2008 International Conference on Information Technology in Construction. Improving the management of construction projects through IT adoption* (Ed: Rischmoller L.), 15–17 July 2008, Santiago, Universidad de Talca, Chile, 2008. 280–291. (letöltve: 2019. október 25.) <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB16896.pdf>

- [33] Trimble. Company History.
https://www.trimble.com/Corporate/About_History.aspx (letöltve: 2019. október 25.)
- [34] Newton R.: *Visio Acquires Assets of Boomerang Technology (01 mar 97)*. In: AECNEWS Archived, 1997. (letöltve: 2019. október 25.)
<http://aecnews.blogspot.com/2007/07/visio-acquires-assets-of-boomerang.html>
- [35] IntelliCAD Technology Consortium. (letöltve: 2019. október 25.)
<https://www.intellicad.org/>
- [36] Serraino P.: *History of Form* *Z. Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel–Boston–Berlin, Switzerland (ISBN 3-7643-6563-3), 2002.
- [37] Bernard F.: *The DASSAULT SYSTEMES Success Story*. ISICAD. From Russia with CAD. Articles, 26 Nov. 2010.
http://isicad.net/articles.php?article_num=14120 (letöltve: 2019. október 25.)

ROBOTOK ALKALMAZÁSA A HEGESZTÉSBN

ROBOTS APPLICATION FOR WELDING

Kafi Abdallah,¹ Kovács Tünde Anna,² Tóth László,³ Nyikes Zoltán⁴

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, abdallah.kafi@phd.uni-obuda.hu

^{2,3,4} Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország,

² kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

³ toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

⁴ nyikes.zoltan@phd.uni-obuda.hu

Abstract

In this work, the authors give an overview of the advancement of industrial robots and show the mechanization of welding processes, step by step. As manual welding is a physically exhausting professional work, engineers have sought to improve work conditions since the industrial revolution. Unfortunately, even today, many procedures can only be performed manually. In the welding process, the highest level of mechanization is represented by the use of robotics. The entrance of Robots in the history of welding is recent, though their spread and development is rapid.

Keywords: *welding, robot, sensor, security, danger.*

Összefoglalás

Jelen munkában a szerzők az ipari robotok fejlődéséről nyújtanak áttekintést, valamint bemutatják a hegesztési folyamat gépesítésének lépéseit. Mivel a kézi hegesztés fizikailag igen megterhelő szakmunka, ezért a mérnökök az ipari forradalom óta igyekeznek ennek gépesítésével javítani a munkakörülményeken. Sajnos mind a mai napig vannak olyan feladatok, melyek csak kézi hegesztéssel oldhatók meg. A hegesztés folyamatában a gépesítés legfelsőbb szintjének tekinthető a robotok alkalmazása. A robotok a hegesztésben rövid múltra tekintenek vissza, de fejlődésük és terjedésük igen jelentős ütemben zajlik.

Kulcsszavak: *hegesztés, robot, szenzor, biztonság, veszély.*

1. Bevezetés

A robotok vagy pontosabban fogalmazva: az automata gépek igen nagy múltra tekintenek vissza. Már az ókori Görögország történelmi dokumentumaiból ismert Talos, az óriási, bronzból készült automata (1. ábra), amely Krétát és Európát védte a kalóztól és a betolakodóktól úgy, hogy naponta háromszor „járta” körbe a sziget partjait [1].

Az időszámításunk előtti időkből (i. e. 77–100) fennmaradt, a tengerből előkerült mechanikus számológép-maradványok is azt bizonyítják, hogy az ember már rég képes automatákat alkotni. Ilyenek voltak Ctesibus orgonái és vízórái (i. e. 270), valamint egyéb mechanikus szerkezetek,



1. ábra.

Talos, a görög óriási robot [1]



2. ábra. Leonardo Da Vinci mechanikus oroszlánja [2]

melyeket a mai robotikában is használnak. Heron, aki matematikus, fizikus és mérnök volt, mobil színházat alkotott. Heron és Philon könyveket is írt az automatákról és a robotika alapjairól.

Leonardo Da Vinci a reneszánsz korában igen sok mechanikus szerkezetet készített, jelentős alkotása a mechanikus oroszlán (2. ábra) [1].

A Blaise Pascal által készített fogaskerekes számológép már komoly előrelépést jelentett a mechanikus berendezések sorában. Ez a számológép hasznos segítség volt, Pascaline-nek nevezték, és kb. 50 darab készült belőle.

A 18. században épített mechanikus berendezések, amelyek már kezdetleges robotoknak tekinthetők, főként szórakoztató céllal készültek. Ilyenek voltak Pierre Jaquet-Droz svájci órásmester humanoid robotjai vagy a Jacques de Vaucanson által készített robotkacsa.

Az első ipari alkalmazásban is helytálló robotnak az Unimate robotot nevezik, melyet George Charles Devol alkotott meg 1954-ben. Majd néhány évvel később Devol és társa, Joseph F. Engelberger céget alapított, és megszületett az Unimation [3]. Ezt követően kezdett kialakulni a robotika tudománya.

2. A robotika alapjai

A robot megnevezés Karel Čapek csehszlovák írótól származik, ő alkotta a szót az angol Rossum's Universal Robots R.U.R. rövidítéséből (1921). Azóta a köz-, illetve a szaknyelv is átvette a megnevezést [4].

Ezt követően a robotika alaptörvényeit (1942) Isaac Asimov három alaptörvényben írta le:

1. A robot nem okozhat emberi sérülést, és nem is engedheti, hogy az ember megsérüljön.
2. A robotnak végre kell hajtania az ember utasításait, az első törvény betartásával.

3. A robotnak védenie kell önmagát, miközben nem szegheti meg az előző törvényeket.

Ezek a törvények a robotikatudomány alappillérei. A robotika a mérnöki tudományok azon interdiszciplináris területe, mely magában foglalja a gépészmérnöki, villamosmérnöki, számítástechnikai területeket, illetve ma már az informatikával is kibővül, mivel a robotoknak távolról programozhatóknak és ellenőrizhetőknak kell lenniük.

Az ipari robotok a gyártási folyamatokba rendszert alkotva épülnek be. Az ipari robotok automatikusan működnek, programozhatók, mozgásokban többtengelyűek.

Az ipari robotokkal új ergonómiai és biztonsági előírások is szükségessé váltak, hiszen a robottal együttműködő emberek a hagyományostól jelentősen eltérő munkakörülmények közé kerültek.

Az ipari robotok működése során ki kell alakítani az emberi munkaerő biztonságos munkavégzési környezetét. Emellett a robotot is védeni kell, hiszen ismertek az ipari forradalmak során történt géprombolási esetek, amikor az emberek, a munkájukat féltve, tönkretették a gépeket. A rongálás természetesen nem csak akaratlagosan történhet, hanem a robot működésének nem megfelelő ismerete vagy véletlen baleset is okozhatja. A robotot működtető operátor mindenképpen jól képzett szakember, sok esetben mérnök, aki átfogó ismeretekkel rendelkezik a robot működéséről, programozásáról és a betartandó biztonsági előírásokról.

3. A hegesztés gépesítése

A hegesztés igen nagy múltra visszatekintő kéztéchnológiai eljárás. Hosszú ideig csak kézi hegesztés létezett. A hegesztett kötés minősége a hegesztő képességeitől függően változott. A kézi hegesztés igen komoly fizikai megterhelést jelent a hegesztő számára, ezért nem tudja folyamatosan, pihenődök beiktatása nélkül végezni ezt a munkát. Az ipar azonban egyre nagyobb teljesítményt kíván, melyet automatizálással lehet megvalósítani.

A gépesítésnek különböző szintjei ismertek.

A gépesítés eszköztárából – alkalmazási jellemzői miatt – kitűnnek a manipulátorok, illetve a perifériákkal együttműködő, rugalmasan programozható ipari robotok (3. ábra). Alkalmazásukkal növekszik a termelékenység, csökken a gyártás ciklusideje, javul a minőség, a reprodukálhatóság, nő a termelési rendszer rugalmassága, csökkenthető a monoton és nehéz fizikai munka,

és az egészségre fokozottan ártalmas helyeken segítségükkel kiváltható az emberi tevékenység [5, 6].

A robothegesztés egy viszonylag új irány a robotos alkalmazások területén, az ipari robotokkal együtt fejlődött ki. 1962-ben a General Motors alkalmazott ellenállás-ponthegesztő robotokat az összeszerelő gyártósoron.

Az autógyártásban jelentős számú ponthegeztő robotot találunk, és számuk folyamatosan növekszik [7]. Az autóiipar alkalmazta leginkább a ponthegeztő robotokat, melyek a '80-as évektől kezdődően igen népszerűek lettek. A GM sikerét felismerve, a többi autógyár is alkalmazni kezdte a hegesztő robotokat. Hamarosan megtérült a beruházás, és ennek köszönhetően már más fémipari technológiáknál is alkalmazni kezdték a robotokat. Ezután igen gyors fejlődés következett. A szenzorok fejlődése pedig tovább növelte a robotok termelékenységét, és az alkalmazási lehetőségük köre is bővült.

A hegesztő robotok az első ponthegeztő robotok óta (1962) igen nagy fejlődésen mentek keresztül. A gyártók felismerték a robotalkalmazások előnyét és hasznát. Emellett a robotok nagy

választéka is megjelent, széles körben lefedve az ipar igényeit.

A továbbiakban a robothegesztés néhány fontos előnyét mutatjuk be.

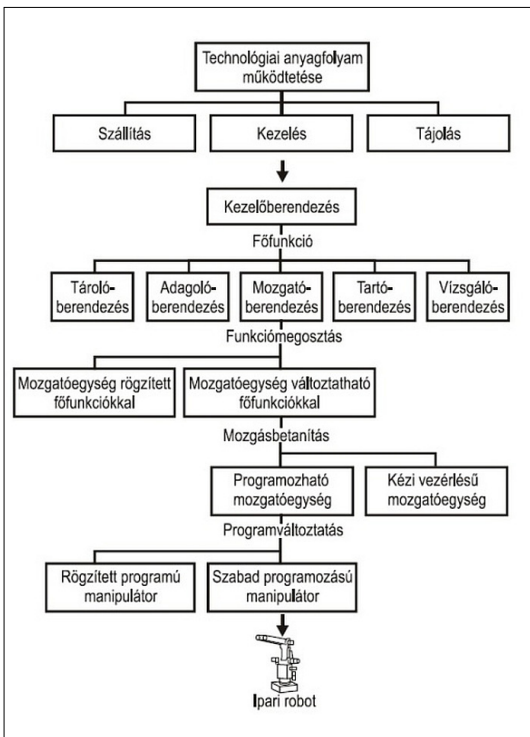
A minőség: a robotok kiváló minőségű, pontos hegesztéseket tudnak készíteni. Ezeket a hegesztéseket nagy pontossággal képesek ismételni.

A termelékenység: a robotok fáradhatatlanul dolgoznak a nap 24 órájában, azonos sebességgel és minőségben.

A kézi hegesztés számos kérdést vet föl ergonomiai szempontból, melyekre a megoldás a robothegesztés. A hegesztés során képződő toxikus gázok, az ergonomiailag nem megfelelő testtartás, valamint a hő, az ultraibolya sugárzás nem okozzák a robot károsodását. További előny pedig, hogy a robot alacsonyabb áron, ismételhetően és produktívan dolgozik.

4. Hegesztőrobot alkalmazása

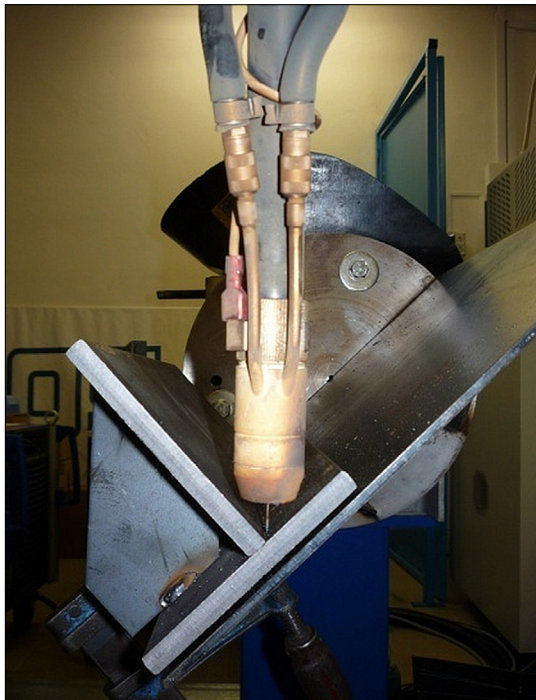
A Cloos International számos hegesztőberendezést, köztük áramforrásokat és robotokat is gyárt és fejleszt. Nagy teljesítményű eljárásokhoz a kézi hegesztéstől eltérő eljárásokat fejlesztettek ki.



3. ábra. Technológiák gépesítésének eszköztára [8]



4. ábra. Cloos hegesztő robot



5. ábra. Vályú helyzetű (PA) hegesztés [9]

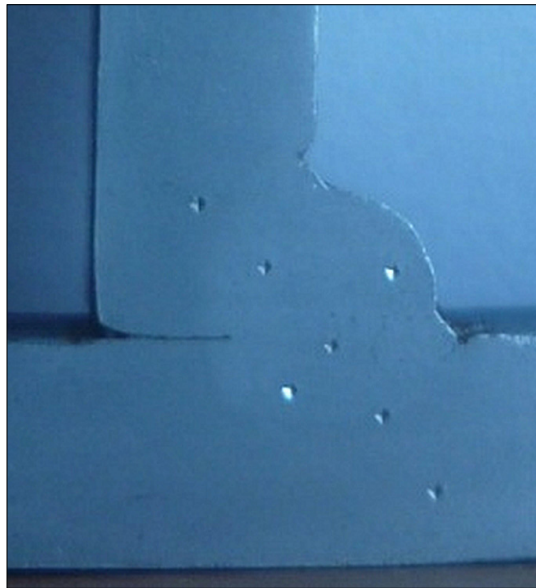
Emellett a különböző szenzorok segítik a hegesztő robotok munkáját.

A 4. ábrán bemutatott hegesztő robot 7 tengely körüli elmozdulást képes megvalósítani. A robot munkatere egy félgömbbel írható le, melynek minden pontját eléri. A hegesztési kísérleteink során azt ellenőriztük, hogy a robot minden pozícióban képes hegesztetni. A bemutatott és általunk alkalmazott robot digitális vezérlésű. A programozást a Cloos cég által fejlesztett programnyelven kell megvalósítani, mely során a koordináta-geometria ismerete mellett hegesztési ismeretek is szükségesek.

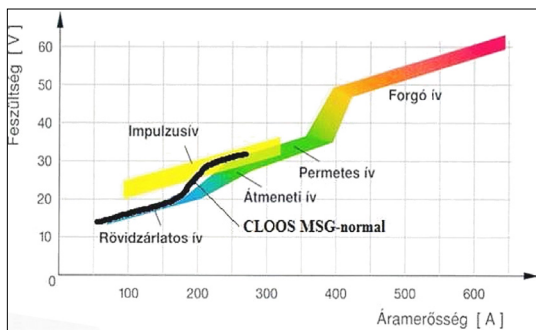
A hegesztést a robot huzalelektrodás ívhegesztési technológiával valósítja meg. A hegesztés során beállítható áramerősség jelentősen meghaladja a kézi áramforrások áramerősségét, és, a hegesztési sebességnek köszönhetően, a termelékenység is jelentősen meghaladja a kézi ívhegesztés lehetőségeit.

A hegesztés során elért eredményeink azt mutatták, hogy a vályúhelyzetben (5. ábra) elkészült varratok minősége előnyös. Ezért a hegesztés során célszerű a munkadarabokat ebben a pozícióban hegesztetni.

A hegesztés során a gázvédelem is nagyobb hatékonysággal érvényesül, mint más pozíciókban.



6. ábra. PA helyzetben végzett hegesztés eredménye [9]



7. ábra. Az alkalmazott robot szinergiagörbéje MSG normál üzemmódban [10, 11]

A 6. ábrán látható, hogy a PA helyzetben végzett hegesztés eredményes volt.

A paraméterek beállítása során szükséges volt ismerni az áramforrás ívkarakterisztikáját.

A szinergiagörbe alapján (7. ábra) meghatározható a hegesztési áramerősség. A hegesztési pozíció a külső tengely alkalmazásával vályú helyzetben (PA) megvalósítható. Az alkalmazott védőgáz a huzalelektrodás ívhegesztéshez a Linde ajánlása alapján M23. A kísérletben alkalmazott acél (S235JR) lemez 8 mm vastagságú volt.

5. Összefoglalás

Megállapítható, hogy a robottal végzett hegesztés, termelékenység ergonomiai szempontból is előnyös. A pozíció megválasztásánál igyekeznek

a munkadarabot PA helyzetbe mozgatni, melyhez külső tengelyek is alkalmazhatóak, hogy a varrat minősége megfelelő legyen. A varrat minőségének biztosítása érdekében szükséges a megfelelő áramerősséget a hegesztő áramforrás szinergiagörbéje szerint meghatározni.

Terveink között szerepel, hogy további kísérleteket végezzünk a robottal történő hegesztés korlátainak elemzéséhez.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Mayor A.: The World's First Robot: Talos Wonders & Marvels contributor,
<http://www.wondersandmarvels.com/2012/03/the-worlds-first-robot-talos.html>
- [2] Hernandez D.: *500 Years Later, da Vinci's Mechanical Lion Is Brought to Life. The automaton-reimagined from the inventor's mechanical sketches-is on display at the Italian Cultural Institute in Paris.*
<https://www.popularmechanics.com/technology/a29020685/leonardo-da-vinci-mechanical-lion-display/>
- [3] <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>
- [4] The Evolution of Robotic Welding UK. 2017.
<https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Evolution-of-Robotic-Welding/33> (letöltve: 2019. december 22.).
- [5] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés.* Műszaki Tudományos Füzetek 9., EME, Kolozsvár, 2010.
<https://doi.org/10.36242/mtf-09>
- [6] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések.* Műszaki Tudományos Füzetek 10., EME, Kolozsvár, 2010.
<https://doi.org/10.36242/mtf-10>
- [7] Bitay E., Bagyinszki Gy.: *Robotok és a sajtoló hegesztések fejlesztései/Developments of industrial robots and pressure welding processes.* Műszaki Tudományos Közlemények 5., EME, Kolozsvár, 2016. 101–104.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.16>
- [8] Bagyinszky Gy.: *A hegesztés robotosításának fogalmi háttere.* Hegesztés Technika folyóirat Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesülés, 19/1. (2008).
- [9] Szilágyi G., Kovács-C. T., Pinke P.: *Az összeállítási pontatlanság hatása a hegesztési paraméterek korrekciójára sarokvarratok esetén.* FMTÜ XVIII. Erdélyi Múzeum-Egyesület. Kolozsvár, 2013. 383–386.
- [10] Szilágyi G., Kovács-C. T., Pinke P.: *A hegesztés hatása az alapanyagra.* FMTÜ XVIII. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2014. 373–376.
- [11] Gyura L., Fehérvéri G., Balogh D.: *Szabályozott anyagátvitelű fogyóelektródás védőgázos hegesztések vizsgálata.* 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, Óbudai Egyetem, 2010. 236–240.

A HENGERFELÜLETTEL ÉLEZETT EGYENES FOGÚ METSZŐKERÉK MODELL NUMERIKUS KIÉRTÉKELÉSE

NUMERICAL EVALUATION OF THE SHAPER CUTTER WITH CYLINDRICAL RAKE FACE

Máté Márton,¹ Hollanda Dénes²

*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
Marosvásárhely, Románia*

¹ mmate@ms.sapientia.ro

² hollanda@ms.sapientia.ro

Abstract

This paper deals with the geometric built-up of a theoretically profile errorless shaper cutter. Its proposed rake face is a cylindrical surface for each tooth. The setting parameters of this are the axis inclination angle and the grinding wheel's radius. The possible domain of the setting parameters is computed from geometrical restrictive conditions. The proposed numerical evaluation consists in the computing of the orthogonal rake angle variation, together with the deviation of the generating pro-file from the perfect involute. The obtained results allow the formulation of some conclusions regarding the influence of the cylinder radius and the axis inclination: the best rake angle distributions are obtained when using increased radius values, while profile deviation becomes minimal when using smaller radii and axis inclination angles.

Keywords: *shaper cutter, rake face, rake angle, distribution, profile error.*

Összefoglalás

Jelen tanulmány a hengerfelülettel élezett egyenes fogú metszőkerék geometriájának és várható profilpontosságának numerikus vizsgálatát mutatja be. Az elméleti profilhibamentes metszőkerék javasolt homlokfelülete mindegyik fogra külön álló körhengerfelület. Ennek beállítási paraméterei a henger tengelyének dőlésszöge és sugara. A paraméterek lehetséges intervallumának számítása geometriai korlátfeltételek alapján történik. A kapott tartományban az ortogonális konstruktív homlokszög értékeket és az evolvens profiltól való eltérést értékeltük ki. Az eredmények alátámasztják azt a következtetést, miszerint a legmegfelelőbb homlokszögeloszlások a nagy köszőrűkorong-sugarak esetében, míg az evolvenstől való legkisebb eltérés a kis sugarak és kis értékű tengelydőlésszögek esetében keletkeznek.

Kulcsszavak: *metszőkerék, homlokfelület, homlokszög, eloszlás, profilhiba.*

1. A hengerfelülettel élezett egyenes fogú metszőkerék modell áttekintése

A metszőkerék elméleti profilhibával rendelkező szerszámok. A profilhiba tűrőhatáron belül tartására alkalmazott klasszikus megoldás a kis homlokszög- és hátszögértékek használata [1, 2]. A klasszikus egyenes fogú metszőkerék homlokfelülete és fejszalag-hátfelülete egyenes körkúpok,

melyek a $\gamma_v = 5^\circ$ és $\alpha_v = 6^\circ$ csúcsgéometriát biztosítják, aminek következtében az oldalhomlokszög az oldalélcsúciban sem éri el a 2° -os értéket, bármely más pontjában pedig ennél is kisebb. A jelen közleményben javasolt metszőkerék modell előnye abban áll, hogy az oldalgeometria jobb forgácsképződést biztosít, az elméleti profilhiba pedig – az új szerszám esetében – nulla, a kopott szerszám esetében pedig elhanyagolható.

A hengerfelülettel élezett metszőkereket nem a generáló lécz képezi, hanem a generálókerékről származtatjuk. A modell részletes matematikai leírása [3] a következő geometriai elveken alapszik:

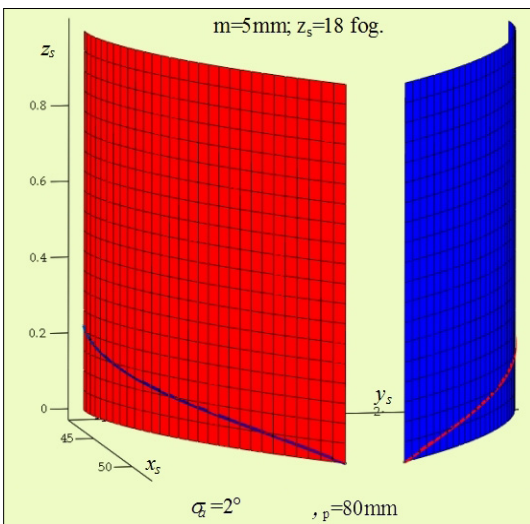
- a generálókerék a metszőkerék fogszámával megegyező, a szükséges szerszámfejszalag-méret alapján számított lehető legnagyobb profiltololású fogaskerék;
- a homlokfelület ρ_p sugarú hengerfelület, melynek tengelye γ_a szöget zár be a szerszám tengelyére merőleges síkkal;
- a szerszám élei a generáló fogaskerék oldalfelületeinek (evolvens hengerek) és a homlokfelület metszéseként jönnek létre;
- a szerszám oldalfelületei olyan csavarfelületek, melyek menetemelkedését a szabadon választott oldalhátszögértékből számítjuk ki.

A generálókerék felületeit és az ezekre illeszkedő éleket az 1. ábrán szemléltettük.

Megfigyelhető, hogy adott beállítás esetén az él alig emelkedik ki az alapsíkból, vagyis az evolvens síkjából, és ennek ellenére a homlokszög lényegesen nagyobb, mint a klasszikus metszőkerék esetében.

A szerszám fogoldalait és a homlokfelületet a 2. ábrán szemléltettük. A menetemelkedést 2° -os oldalhátszögértékre számítottuk ki.

Az ábrán két homlokfelületet tüntettünk fel: a ráccsal reprezentált, z-tengely pozitív irányításának megfelelően eltolt felület a metszőkerék vég-ső élezési stádiumának felel meg.



1. ábra. A származtató kerék fogoldalait és a metszőkerék oldalélei

2. A beállítási határok kiszámítása

Matematikai szempontból kijelenthető, hogy a két független paraméter kétszeres végtelenségnyi homlokfelület-beállítást enged meg; ezek közül ki kell választanunk azokat, amelyek műszaki szempontból lehetségesek. A korlátfeltételek felállításakor két szempontot vettünk figyelembe:

- a hengerfelület és a generálókerék metszéspontjába a teljes fogmagasságra ki kell hogy terjedjen;
- az oldalhomlokszögnek az élcsúcsban megadott értéket kell felvennie.

Belátható, hogy az első feltétel a körhenger lehetséges legkisebb sugarát adja, míg a második a tengely dőlési szögét határolja le. A számításokat részletesen a [3] közlemény tartalmazza. Az első feltételhez tartozó egyenlőtlenség a következő képletekkel írható fel:

$$\sqrt{\rho_p^2 - \left(\sqrt{\rho_p^2 - \frac{s_a^2}{4}} - \Delta H_c \sin \gamma_a \right)^2} \geq y_c$$

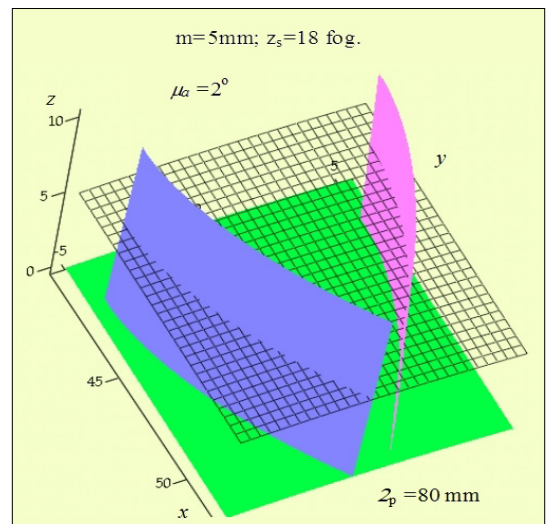
$$y_c = R_b \sin \varepsilon - (R_b \operatorname{tg} \alpha_t + \rho_f) \cos \varepsilon + \rho_f \cos(\psi_1)$$

$$\rho_f = \frac{R_t^2 - R_f^2}{2 \left(R_f - \sqrt{R_t^2 - R_f^2} \right)} \quad (1)$$

$\angle BOC$

$$\psi_1 = \operatorname{tg} \alpha_t - \eta + \arcsin \frac{R_b}{R_f + \rho_f}$$

Az (1) képletekben a t index a talpkörre, az f index pedig a lábkörre vonatkozik. A fogprofil



2. ábra. A metszőkerék oldal-hátfelületei és a homlokfelületek

lánggörbéjét egy ρ_f sugarú körívvel közelítjük meg [4], [6].

A második feltétel kapcsolatot teremt a ρ_p sugár és a γ_a tengelydöntési szög között:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_{Oa} &= \operatorname{tg} \gamma_a \sin \psi + \frac{s_a}{2\sqrt{\rho_p^2 - \frac{s_a^2}{4}}} \cos \psi \\ \psi &= \operatorname{tg} \alpha_a - \eta \end{aligned} \quad (2)$$

Az (1) feltételt $m = 5 \text{ mm}$, $Z_s = 18$ fogú metszőkérekre, $\gamma_a \in [2^\circ, 10^\circ]$ és $\rho_p \in [20, 100]$ paraméterértékek között ábrázoltuk. Az F_1 feltételértékeket a 3. ábrán szemléltettük.

A felület és a független változók síkjának metszégörbéje a határgörbe, amely meghatározza a lehetséges (γ_a, ρ_p) párok értékeinek mértani helyét. Belátható, hogy ez a határgörbe által definiált azon félsík, mely nem tartalmazza az origót.

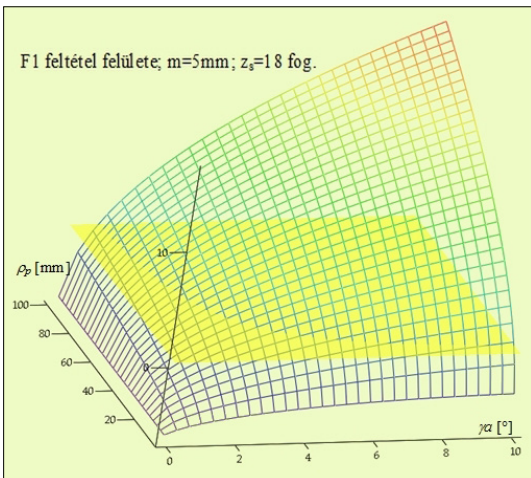
A határgörbe pontjait numerikusan számítottuk ki. E célból a γ_a szög intervallumán $N = 30$ ekvidisztáns értéket vettünk fel, melyekhez a lehetséges elméleti legkisebb sugárértéket társítjuk, majd pedig ezt az értéket addig növeljük, amíg az

$$F_1(\gamma_a, \rho_{pmin}) F_1(\gamma_a, \rho_{pmin} + \delta_p) < 0 \quad (3)$$

feltétel teljesül. Ezután a húrmódszer segítségével, 10^{-4} pontossággal számítjuk ki a határsugárértéket. A kapott határgörbét a 4. ábrán szemléltettük.

A második feltételből megkapjuk a lehetséges (γ_a, ρ_p) párokat, amelyekre teljesül egy adott ortogonális csúcshomlokszögérték.

A további számítások megkönnyítése végett a határgörbe $N=30$ pontjára felírjuk a



3. ábra. Az F_1 feltételhez csatolt felület

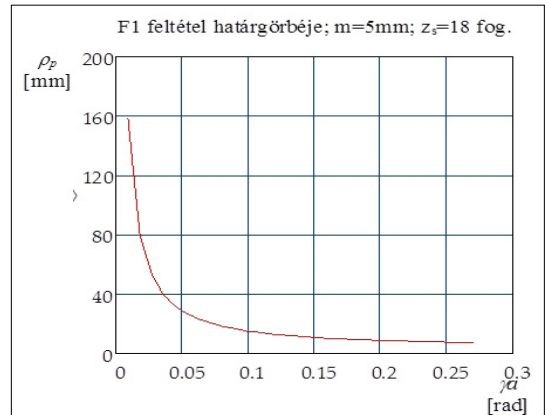
$$\begin{aligned} \gamma_a(\rho_p) &= Sp_1(\rho_p) \\ \rho_p(\gamma_a) &= Sp_2(\gamma_a) \end{aligned} \quad (4)$$

spline függvényeket. A szerszám felépítésében alkalmazható ortogonális csúcshomlokszögértékeket a $\gamma_{Oa} \in [3^\circ, 9^\circ]$ értéktartományban tekintjük, és a tartományt szintén 30 pontra osztottuk fel, ezáltal közel 12 szögpercnyi távolságú egyenletes beosztást nyerünk.

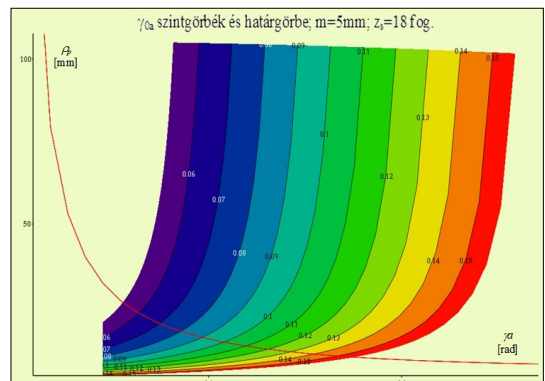
Adott γ_{Oa} értékre megvizsgáljuk a lehetséges értékeket. A (2) feltételben szereplő gyök alatti kifejezés mindig pozitív kell hogy legyen. Ez akkor teljesül, ha

$$\operatorname{tg} \gamma_{Oa} - \operatorname{tg} \gamma_a \sin \psi > 0 \quad (5)$$

Innen számítjuk ki a tengely dőlésszögének a legnagyobb értékét. A legkisebb érték értelemszerűen a műszaki szempontból elfogadható érték. Az adott γ_{Oa} értékre felállított intervallumban, $N = 30$ egyenlő elosztású pontban kiszámítjuk a (2) feltételből a megfelelő (γ_a, ρ_p) értékeket. A kapott szintgörbéket és a határgörbét az 5. ábrán tüntettük fel.



4. ábra. Az F_1 feltételből származó határgörbe



5. ábra. A $\gamma_{Oa} = \text{konst.}$ szintgörbék és a korlátfeltétel

3. Az oldalhomlokszög változása

Az oldalfelület, a homlokfelület és az él kifejezéseinek ismeretében a homlokszöget a konstruktív élszögrendszer bázisvektoraival, valamint az él érintő- és a homlokfelület normális vektorával írjuk fel [5], [7], [8]:

A konstruktív ortogonális homlokszög számítását a

$$\sin \gamma_o = \frac{\mathbf{n}_\gamma \cdot \mathbf{j}}{|\mathbf{n}_\gamma \times \mathbf{i}|} \quad (6)$$

vektorképlettel számoljuk ki [7], [8]. A kifejezés felépítésében szereplő vektorokat a 6. ábrán tüntettük fel. A konstruktív koordináta-rendszert az él tetszőleges M pontjában vettük fel, ahol \mathbf{k} az alapsík, \mathbf{j} az érintősík, \mathbf{i} pedig az ortogonális sík normál-egységvektorai, $\boldsymbol{\tau}$ az él érintővektora, \mathbf{n}_γ pedig a homlokfelület normálvektora. Az említett vektorok számításához szükség van a származatófelület, az él és a homlokfelület egyenleteire. Ezek részletes számítása a [3] közleményben található. A vektorokat a metszőkerék fogára tájolt koordináta-rendszerben írjuk fel. A konstruktív koordináta-rendszer bázisvektorait a következő módon számítjuk:

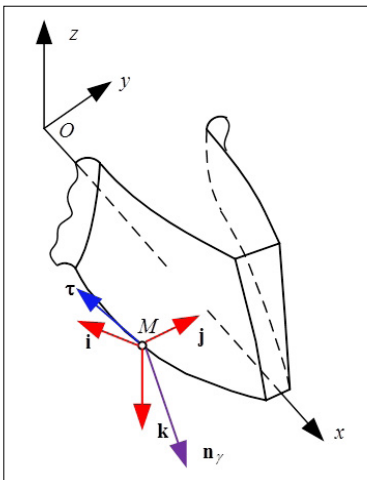
$$\mathbf{k} = (0 \ 0 \ -1)^T \quad (7)$$

$$\mathbf{j} = \frac{\mathbf{k} \times \boldsymbol{\tau}}{|\mathbf{k} \times \boldsymbol{\tau}|} \quad (8)$$

$$\mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{k} \quad (9)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \left(\frac{\partial F_h}{\partial x} \quad \frac{\partial F_h}{\partial y} \quad \frac{\partial F_h}{\partial z} \right)^T \quad (10)$$

A (10) képletben F_h -val jelöltük a hengerfelület implicit egyenletét.



6. ábra. Az oldalhomlokszög számítási képlete

A továbbiakban különböző tengelydőlésszög- és köszörűkorongsugar-értékekre vizsgáltuk az ortogonális homlokszögeloszlást.

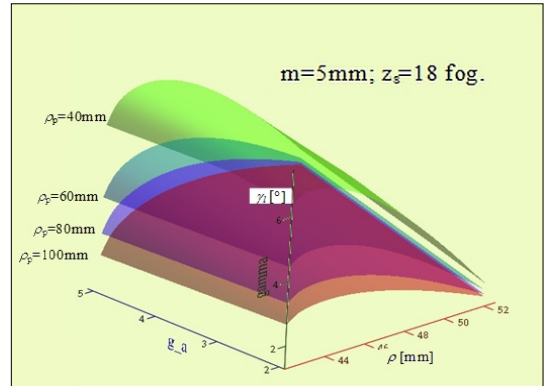
Az értelmezési tartományon belül a $\gamma_a \in [2^\circ, 5^\circ]$ és a $\rho_p \in [\rho_{pmin}, 100]$ intervallumokra definiált $\{2^\circ; 3^\circ; 4^\circ; 5^\circ\} \times \{\rho_{pmin}; 40; 60; 80; 100\}$ párokra végeztük el az értékek elemzését. A ρ_{pmin} érték a γ_a dőlésszög értékével fordítottan arányos.

A 7. ábra az ortogonális homlokszög-eloszlásokat ábrázolja. A felületek alakja és kölcsönös helyzete az eloszlás következő sajátosságaira enged következtetni:

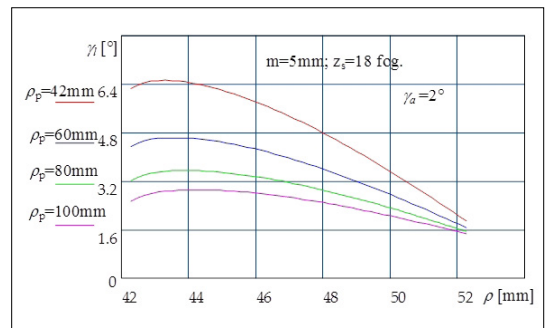
- az oldalhomlokszög variációs intervalluma annál jobban tolódik el a számtengelyen jobbra, minél kisebb a köszörűkorong sugara;
- a variációs intervallum annál nagyobb, minél kisebb a köszörűkorong sugara;
- a vizsgált szög eloszlása az él mentén parabolikus.

Az él menti értékeloszlásokat részleteiben a 8., 9., 10. és 11. ábrákon szemléltettük.

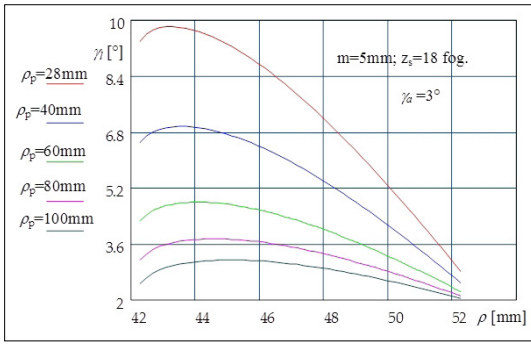
A következőkben az eloszlásokat statisztikai szempontok szerint is megvizsgáljuk. A várható értékek eloszlását a 12. ábra tartalmazza.



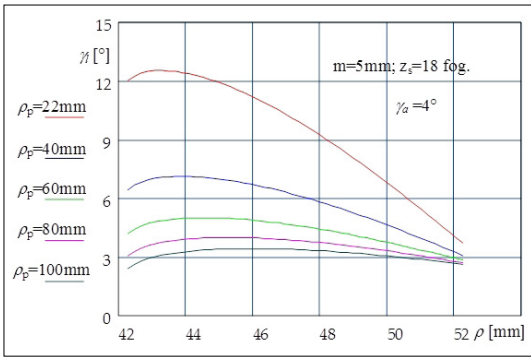
7. ábra. Az ortogonális homlokszögeloszlások az él mentén



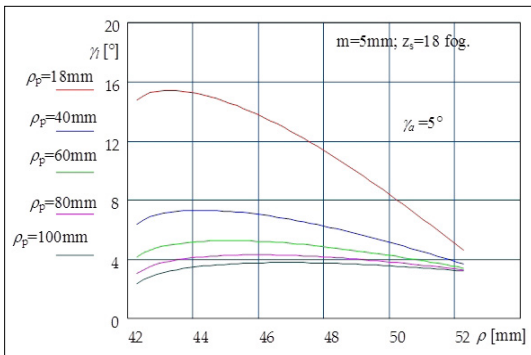
8. ábra. A homlokszögeloszlás 2°-os tengelydőlésszögre



9. ábra. A homlokszögeloszlás 3°-os tengelydőlés-szögére

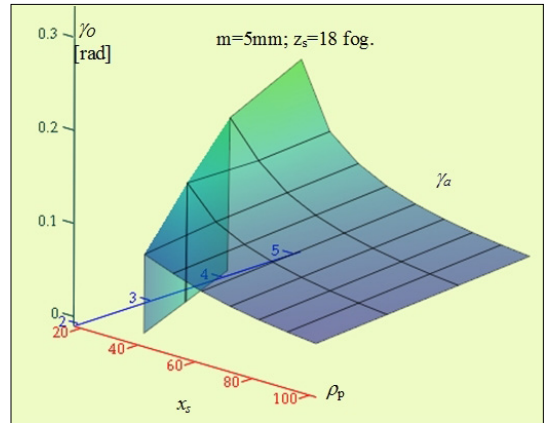


10. ábra. A homlokszögeloszlás 4°-os tengelydőlés-szögére

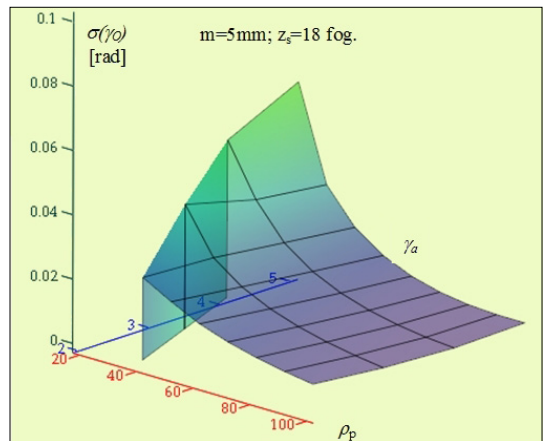


11. ábra. A homlokszögeloszlás 5°-os tengelydőlés-szögére

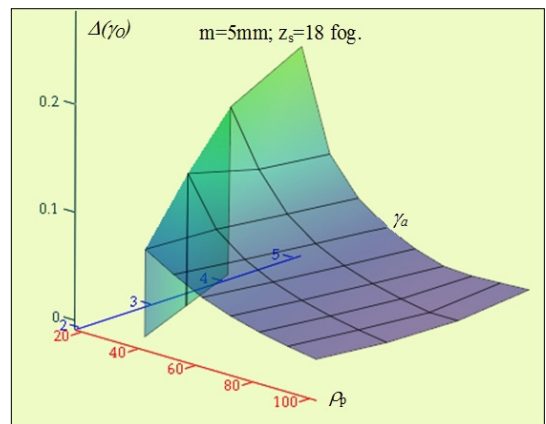
Amint az előzőekben is említettük, a lehetséges legkisebb körszűrűkorongsugár-értékek a tengely dőlésszögének függvényei. Azokban a pontokban, ahol a legkisebb sugárérték nem alkalmazható, a várható értéket nullának vettük. A nem nulla értékek alakulása azt mutatja, hogy a várható érték növekedik a tengely dőlési szögével és csökken a körszűrűkorong sugarával.



12. ábra. A homlokszög várható értékeinek eloszlása



13. ábra. A homlokszögeloszlás szórásértéke



14. ábra. A variációs intervallumok szélességének eloszlása

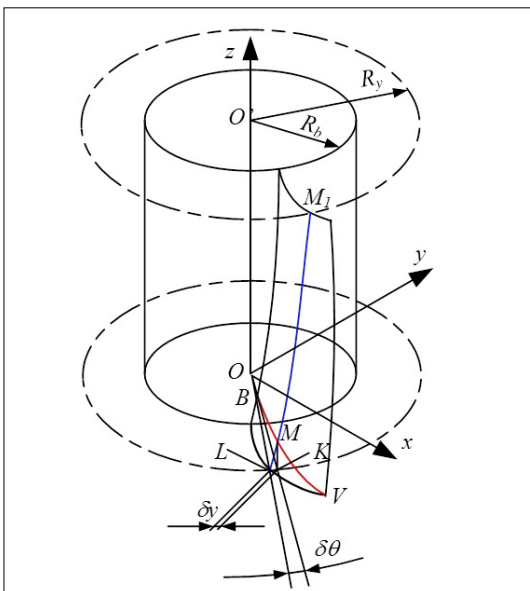
A szórások eloszlása a 13. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a szórások értékeloszlása ugyanazt a törvényt követi, mint a várható értékek eloszlása. Így a nagyobb várható érték nagyobb

szórást is eredményez. A szórástérképpel ekvivalens információt nyújt a variációs intervallumok szélességének eloszlása, amit a **14. ábrán** szemléltettünk.

Az intervallumszélesség válaszfelületén észre lehet venni, hogy a $\gamma_a \in (4^\circ, 6^\circ)$ és $\rho_p \in (80, 100)$ intervallumokkal kijelölt értelmezési tartományban lokális minimumot észlelünk. Egyébként a variációs intervallum szélessége a tengely dőlési szögével növekedik, míg a hengerfelület sugarával csökken.

4. A fogprofil

A metszőkerék esetében két fogprofil definiálunk: a szerszámprofil és a származtató profil. A szerszámprofil az oldal-homlokfelületeknek a szerszám tengelyére merőleges síkkal való metszése során jön létre, míg a szerszám származtató profilja alatt a szerszám oldalélei által a főmozgás során leírt generáló fog profilját értjük. A szerszám technológiai burkolása lécskerék kapcsolódási elv alapján történik. Ennek különböző leírásait a [6], [9], [10], [11] közleményekben részletesen megtalálhatjuk. Amennyiben a szerszámprofil az evolvens profiltól megengedhetetlen mértékben tér el, a fogoldalakat nem lehet egyenes profilú köszörútárcsával köszörülni, ennél fogva a metszőkeréknek a fogmagassága is változó kell hogy legyen. Ha viszont a szerszámprofil eltérése az evolvenstől a gyártási pontosság alatt van, akkor el lehet képzelni a köszörülést a Maag-



15. ábra. A szerszámprofil kiszámítása

vagy a Niles-féle elven, és gyártható az állandó fogmagasságú metszőkerék.

A szerszámprofil előállítását az él parametrikus koordináta-függvényeinek és az oldal-hátfelület csavarparaméterének ismeretében számítjuk ki, a **15. ábra** alapján.

Tekintsük az új szerszám élének parametrikus egyenleteit az evolvens henger és a henger-homlokfelület metszéseként:

$$\begin{cases} x(\varphi) = R_b(\cos(\varphi - \eta) + \varphi \sin(\varphi - \eta)) \\ y(\varphi) = jR_b(\sin(\varphi - \eta) - \varphi \cos(\varphi - \eta)) \\ z(\varphi) = -x(\varphi) \operatorname{tg} \gamma_a + \frac{-E + \sqrt{\rho_p^2 - y^2(\varphi)}}{\cos \gamma_a} \end{cases} \quad (11)$$

$$E = \sqrt{\rho_p^2 - \frac{s_a^2}{4}} - R_a \cos \eta_a \sin \gamma_a \quad (12)$$

Az M élpont sugara, adott φ_y ,

$$0 < \varphi_y < \sqrt{\frac{R_a^2}{R_b^2} - 1} \text{ paraméter értékre,}$$

$$R_y = R_b \sqrt{1 + \varphi_y^2} \quad (13)$$

A vizsgált élpont ugyanakkor az MM_1 csavarvonalszakaszon is illeszkedik. Az M élpontot a $z = 0$ alapsíkra a csavarvonal mentén vetítjük, így a vizsgált pont az L szerszámprofilpontot képezi le. Amennyiben az M pontot a z tengellyel párhuzamosan vetítjük, a K pontot képezi le, ami a metszőkerék származtató profiljának, vagyis – új metszőkerék esetében – a tökéletes evolvensnek pontja. A profileltérést az R_y sugarú körön, a KL körív hosszával mérjük. Ismervén a hátfelület csavarparaméterét, $p = R_b/\operatorname{tg} \alpha_1$, a KL ívet a következőképpen számítjuk ki:

$$KL \equiv \delta_y = \frac{z(\varphi_y)}{p} R_y \quad (14)$$

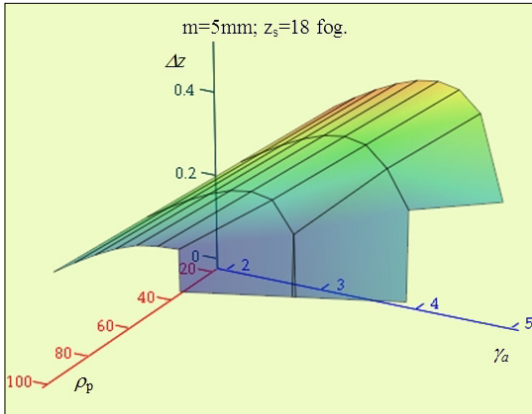
A (14) összefüggésből észrevehető, hogy minél nagyobbak a z -koordináták értékei, a szerszámprofil annál jobban eltér az evolvenstől.

Az előbbieken kijelölt kísérleti beállításokban kiszámítottuk a z -koordináták eloszlását is (**16. ábra**).

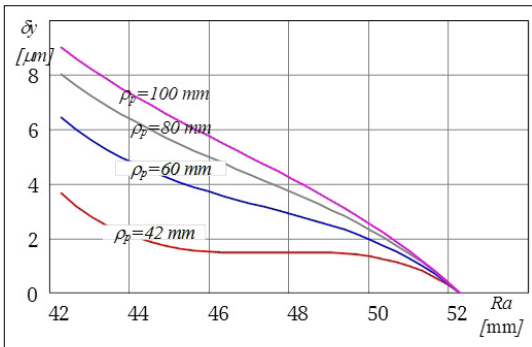
Észre lehet venni, hogy kis dőlésszögekre és kis hengersugárértékekre a z -koordináták 0,2 mm alatti értékűek. Az eloszlást a **17. ábrán** tüntettük fel. A dőlésszög értéke $\gamma_a = 2^\circ$.

A négy eltérésgörbe alakjáról és helyzetkedéséből észre lehet venni a következőket:

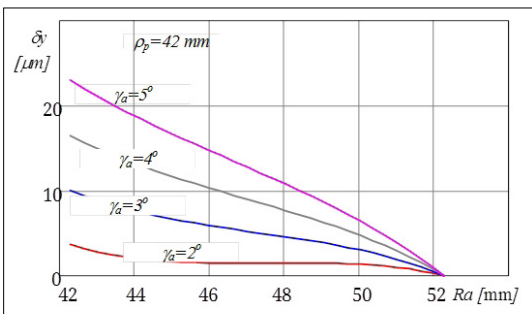
- a köszőrükörong sugarának növelésével az eltérés növekedik;
- az eltérés csúcsban mindig nulla, hiszen az élcsúcs a $z = 0$ síkban található;
- a legnagyobb eltérés értéke $9 \mu\text{m}$, ami nem megengedhető;
- a legkisebb hengersugár esetében a hiba megközelítőleg $4 \mu\text{m}$, ami szerintünk belefér a tűrés-határba.



16. ábra. A z -koordináták eloszlása



17. ábra. Az eltérésgörbék



18. ábra. Az eltérés változása a tengely döntési szögével

Ha a hengerfelület sugarát állandó értéken tartjuk, $\rho_p = 42 \text{ mm}$, és a tengelydőlésszöveget változtatjuk, kimutatható az eltérés növekedése a szöggel (18. ábra).

Következtetések

A fogankénti hengerfelület alkalmazása a közös kúpfelület helyett homlokfelületként számos előnnyel jár. Ezek között a legfontosabb az oldal-homlokszög beállításának lehetősége.

Be kell azonban ismerni, hogy a homlokszögváltozás az él mentén nem állítható be tetszés szerint: minél kisebb a hengerfelület sugara, annál nagyobb a változás. Így a kis dőlésszögeket és a nagy sugarakat kell előnyben részesíteni.

Másrészt, a 18. és a 17. ábrák összevetésével az látszik, hogy kis sugarak és kis dőlésszögek esetében a szerszámot – elfogadható hibával – klasszikus egyenes profilú köszőrűtárcsával lehet megmunkálni. Ez esetben a szerszám fogmagassága a szerszám tengelye mentén állandó.

Amennyiben az eltérést elfogadhatatlannak tartjuk, a hátfelületek megmunkálása görbe profilú tárcsával lehetséges.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával, Domus-ösztöndíj segítségével valósult meg.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Radzewich S. P.: *Gear Cutting Tools*. CRC Press, NY, 2010.
- [2] Máté M.: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámjai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2016.
- [3] Máté M., Hollanda D., Forgó, Z., et.al.: *Synthesis of a Profile Errorless Involute Shaper Cutter with Cylindrical Rake Face*. CINTI-MACRO 2019, Konferenciakötet, megjelenés alatt.
- [4] Chung-Biau Tsay Wen, Yao Liu Yi-Cheng Chen: *Spur gear generation by shaper cutters*. Journal of Materials Processing Technology, 104/3. (2000) 271–279.
- [5] Máté M., Kántor A., Laczkó-Benedek B.: *Metszőkerekkel lefejtett fogaskerekek profilpontosságának vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények, 7. (2017) 279–282. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.07.62>
- [6] Zhou Yuansheng, Wu Yuanhang, Wang Liming, Tang Jinyuan, Ouyang Hongwuab: *A new closed-form calculation of envelope surface for modeling face gears*. Mechanism and Machine Theory, 137/ July (2019) 211–226.
- [7] Máté M.: *A possible modelling of the constructive cutting geometry of the gear hobs*. In: Proceedings of the 4-th International Scientific Conference on

- Advances. Mechanical Engineering. Debrecen, Magyarország. 2016.
- [8] Máté M., Hollanda D.: *A hengeres fogaskerék-lefejtő csigamaró működő élgeometriájának vizsgálata*. In: A XVII. Műszaki Tudományos ülészek előadásai. Műszaki Tudományos Közlemények 6. (2017) 115–120.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2017.06.15>
- [9] Balajti Zs.: *Examination and adjustment of the bearing pattern in case of helicoid drives*. 8th CIRP Conference on High Performance Cutting, Budapest, Hungary, June 25-27. 2018. Procedia CIRP, appearance is in progress
- [10] Forgó Z., Kakucs A., Máté M., Tolvaly-Roşca F.: *Development of Helical Teethed Involute Gear Meshed with a Multi-Edge Cutting Tool Using a Mixed Gear Teeth Modeling Method*. Elsevier Procedia Engineering, 181. (2017) 1–60.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.421>
- [11] Dudás I.: *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*. Kogan Page US, Sterling, USA, ISBN 1 9039 96619 9, 2004.

NÖVÉNYVÉDELMI FÚVÓKÁK CSEPPMÉRETÉNEK ELEMZÉSE

DROPLET SIZE ANALYSIS OF SPRAY NOZZLES

Pásztor Judit,¹ Kakucs András,² Timár Zoltán,³ Egyed-Faluvégi Erzsébet⁴

Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ pjudit@ms.sapientia.ro

² kakucs2@ms.sapientia.ro

³ timar.zoltan@yahoo.com

⁴ faluvegi.erzsebet@ms.sapientia.ro

Abstract

In this paper we present laboratory equipment illustrating the operation of spraying nozzles, which is suitable for studying the basic processes of spraying and for measuring and evaluating the methods used in the control of sprayers. The equipment allows the monitoring of the spray film formed by the nozzles, measuring the yield of the nozzle and determining the size of the droplets formed. In the dissertation we explore the factors influencing the droplet size. We compare the average droplet diameter of the droplets formed by the three hydraulic principle nozzles. Based on the average droplet diameters, the operation of the spray nozzles is analyzed and conclusions are drawn.

Keywords: *plant protection, nozzles, droplet size, water-sensitive paper.*

Összefoglalás

Jelen dolgozatban egy növényvédelmi szórófúvókák működését szemléltető laboratóriumi berendezést mutatunk be, amely alkalmas a permetezés alapvető folyamatainak tanulmányozására, illetve a permetezőgépek ellenőrzésénél alkalmazott mérési, értékelési módszerek szemléltetésére. A berendezés lehetővé teszi a fúvókák által létrehozott permethártya megfigyelését, a fúvóka hozamának mérését, valamint a keletkezett cseppek méretének a meghatározását. A cikkben feltárjuk a cseppméretet befolyásoló tényezőket. Három, különböző hidraulikus elven működő fúvóka által képzett cseppek közepes cseppátmérőjét hasonlítjuk össze. A cseppek közepes átmérőinek alapján a szórófúvókák működését elemezzük és következtetéseket vonunk le.

Kulcsszavak: *permetezés, szórófúvóka, cseppméret, vízerzékeny papír.*

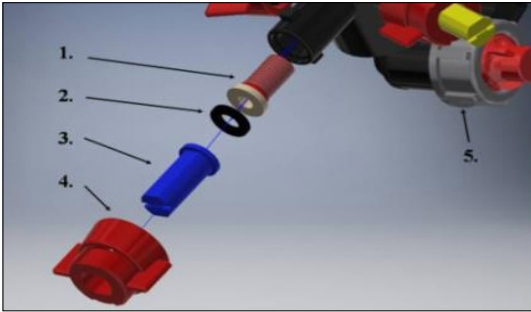
1. Bevezetés

A növényvédelmi szórófúvókák a permetlé cseppekre való bontását valósítják meg.

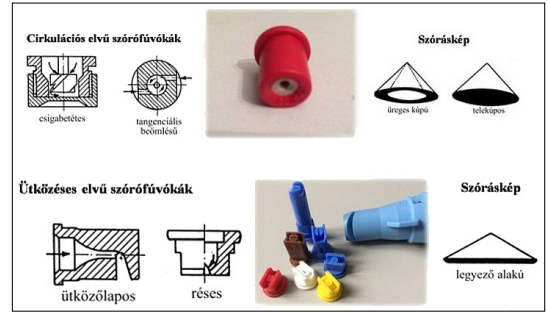
A cseppek átlagos átmérője alapján megkülönböztetnek: permetezést, a cseppek mérete 80%-ban 150–750 µm közötti; porlasztást, a cseppek 80%-a 50–150 µm közötti; ködképzést, a cseppek 80%-a 0,5–50 µm közötti. [1]

A cseppképzés történhet hidraulikusan, pneumatikusan, mechanikusan, illetve termikusan [1].

A permetezőgépek általában hidraulikusan képzett cseppeket juttatnak a növényzetre. A cseppek képzése szórófúvókák segítségével történik. Egy szórófúvóka felépítése a következő (1. ábra): 1 – szűrő; 2 – tömítés; 3 – szórófúvóka; 4 – bajonettzár; 5 – utáncsepegés-gátló.



1. ábra. A szórófej felépítése



2. ábra. Hidraulikus cseppképzésű szórófúvókák felépítése, nyílása, szórásképe [1]

1.1. A hidraulikus cseppképzés elméleti háttere

A hidraulikus cseppképzés során a permetlé cseppekre bontása a szórófúvóka nyílásán nyomás alatt átáramló folyadékra ható erők hatására történik. A hidraulikus cseppképzés cirkulációval, örvényléssel vagy ütközéssel történhet.

Az örvényléssel képződő cseppek kör keresztmetszetű fúvókanyíláson keresztül haladva üregek kúp hártját képeznek (2. ábra).

Az ütközéssel képződő cseppek a folyadék szilárd felülettel, illetve folyadék folyadékkal való ütközése során, egy nyíláson keresztül haladva sík, legyezőszerű hártját képeznek. Ezeket a fúvókákat használják a leggyakrabban. Réses fúvókáknak is nevezik őket (2. ábra).

1.1.1. Áramlástechnikai összefüggések

A hidraulikus cseppképzésű szórófúvókák által képzett cseppek közepes átmérőjének összefüggése:

$$d_{csepp} = \frac{8 \cdot \sigma_f}{\rho_{levegő} \cdot v^2 \cdot \alpha_k} \quad [m] \quad (1)$$

ahol: σ_f – a permetlé felületi feszültsége, [N/m],
 $\rho_{levegő}$ – a levegő sűrűsége, [kg/m³];
 v – a folyadék kilépési sebessége, [m/s];
 α_k – a légellenállási együttható.

A cseppképzőből kilépő folyadékáram sebessége

$$v = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{permetlé}}} \quad \left[\frac{m}{s} \right], \quad (2)$$

ahol: μ – szűkítési tényező, [-],

Δp – a cseppképző nyomáskülönbség, [Pa];

$\rho_{permetlé}$ – a permetlé sűrűsége, [kg/m³].

A szűkítési tényező a fúvókán kilépő folyadéksugár átmérője és a fúvóka kilépési átmérőjének aránya:

$$\mu = \frac{d_{sugár}}{d} \quad [-], \quad (3)$$

ahol: $d_{sugár}$ a fúvókán kilépő folyadéksugár átmérője, [m] és d a fúvóka kilépési átmérője, [m].

Összegezve az (1), (2) és (3) összefüggéseket:

$$d_{csepp} = \frac{8 \cdot \sigma_f}{\rho_{levegő} \cdot \left(\mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{permetlé}}} \right)^2 \cdot \alpha_k} \quad [m], \quad (4)$$

$$d_{csepp} = \frac{4 \cdot \sigma_f \cdot \rho_{permetlé} \cdot d^2}{\rho_{levegő} \cdot \mu^2 \cdot \Delta p \cdot \alpha_k} \quad [m]. \quad (5)$$

Az (5) összefüggés feltárja a hidraulikusan képzett csepp közepes cseppátmérőjét befolyásoló fizikai mennyiségek közti kapcsolatot. A közepes cseppátmérőt befolyásolja a permetlé felületi feszültsége, a cseppképző nyomáskülönbség, a permetlé sűrűsége, a fúvóka kilépési átmérője, nyílása.

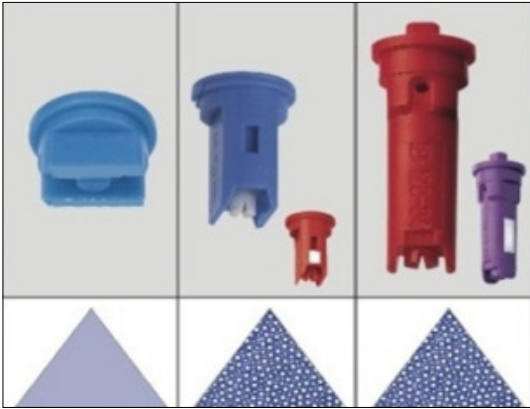
A cseppképzés történhet kis nyomáson, 5 bar-értékig, közepes nyomáson, 5–15 bar között, és nagy nyomáson, 15 bar fölött [1].

Cél a cseppátmérő csökkentése, ugyanis adott térfogatú permetlével nagyobb felület fedhető be. A befedhető felület összefüggése:

$$A = 1,5 \cdot V_f \cdot \beta^2 \cdot d_{csepp}^{-1} \quad [m^2] \quad (6)$$

ahol V_f a folyadékmennyiség, [m³], β pedig a szétterülési tényező (adimenzionális).

Az apró cseppek könnyen elsodrónak, ami veszteséget és fokozott környezetterhelést jelent. Ennek kiküszöbölésére terjedtek el a réses légbeszívásos szórófúvókák és a kompakt réses légbeszívásos szórófúvókák, amelyek légzárványokat hoznak létre az áramló permetlében. A légzárványos permetlé nagyobb cseppekre bontva érzékeny a növény felületére, ott a légköri nyomás hatására szétrobban, és jó fedést biztosít (3. ábra). A nagy cseppek érdekében a réses fúvókák kilépő nyílásainak mérete nagyobb, mint az azonos jelzésű standard fúvókáké.



3. ábra. Réses standard és légbeszívásos fűvókák szórásképe

2. A cseppméret vizsgálata

Dolgozatunkban a hidraulikus elvű, réses szórófűvókák által képzett cseppek méretét kívánjuk tanulmányozni.

A cseppméret meghatározása történhet:
– kamerával;
– vízérzékeny papír segítségével.

A kamerával való cseppmeghatározás igen költséges, ezért vízérzékeny papír segítségével elemezzük, tanulmányozzuk a réses fűvókák cseppméretét.

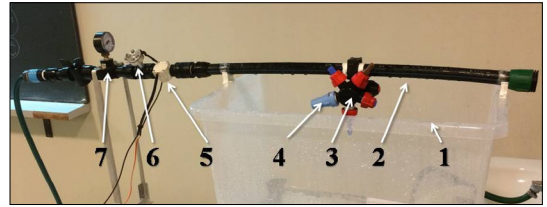
A vízérzékeny papír 26x76 mm² területű merev papír, amely sárga színű speciális bevonattal van ellátva. Vízrel érintkezve kékre színeződik. Ezt a módszert terepen való használatra fejlesztették ki. A papírt kihelyezik a permetezendő területre, majd permetezés után a megszáradt papírt összehajtogatják. Az eredmények kiértékelése történhet:

– referenciamintákkal való összehasonlítással;
– cseppek nagyító segítségével való számolásával, mérésével;
– számítógépes képfeldolgozással [2].

A vízérzékeny papír alkalmas a permeteloszlás, a cseppek sűrűségének és méretének ellenőrzésére [3].

2.1. Kísérleti berendezés

Létrehoztunk egy laboratóriumi berendezést, melynek segítségével a permetezést szimuláltuk. A berendezés lehetővé teszi a hidraulikus elvű, ütközéses cseppképzés megfigyelését. A növényvédelem alapvető folyamatainak a tanulmányozása érdekében a berendezésen nyomásmérés, hozammérés történik. A cseppképző nyomást egy centrifugál-szivattyú hozza létre. A berendezés részei a következők: 1 – tartály; 2 – csővezeték;



4. ábra. Kísérleti berendezés

3 – szórófej, benne a 4 – szórófűvóka. A felszerelt szórófej négy fűvóka fogadására alkalmas. A berendezés átfolyásmérő szenzorral (5), nyomásmérő szenzorral (6) és analóg nyomásmérővel (7) van felszerelve. A víz elvezetését lefolyóval oldottuk meg (4. ábra).

Az adatok gyűjtése Arduino Mega 2560 típusú mikrovezérlővel történik.

2.2. A vizsgálat módszere, menete

A dolgozatban laboratóriumi körülmények között történő cseppképzést vizsgáltunk, vízérzékeny papíron megjelenő vízfolt méretének meghatározása alapján.

A cseppképzést egy kisebb és egy nagyobb cseppképző nyomás esetén vizsgáltuk. Mérésenként 8 nyomás-adatot rögzítettünk, átlagot számoltunk. Az eredményeket a 7–9. ábrákon és az 1–2. táblázatokban tüntettük fel.

A vizsgálatot három szórófűvókán végeztük (5. ábra):

– Lechler SC-110-03 standard fűvókán;
– Lechler IDK-120-03 kompakt légbeszívásos fűvókán;
– Lechler ID-120-03 légbeszívásos fűvókán.

A 03-as számcsoport a keletkező csepp méretére enged következtetni, amelyet a fűvókák szabványos kék színével tesznek szemléletessé.

A laboratóriumi permetezés során a szórófejet manuálisan mozgattuk a vízérzékeny papír fölé 50 centiméter magasságban, mivel ilyen magasságban történik valós üzemeltetés közben is a permetezés [4]. A mozgást gyorsan végeztük, annak érdekében, hogy kevés csepp ülepedjen le a papírra. A vízérzékeny papírt mindig a szórófűvóka permethártyájának függőleges szimmetriatengelyébe helyeztük, a tengelyre merőlegesen.



5. ábra. A vizsgált szórófűvókák

A vízerzékeny papírlapok alá nedvszívó papírt helyeztünk, azért, hogy a szilárd felületről visszapattanó cseppek ne befolyásolják a mérés pontosságát (6. ábra).

A permetezéssel kezelt papírokat száradás után kemény alapra ragasztottuk, a szerszámmikroszkóppal való mérések elvégzése érdekében (7. ábra).

2.3. Adatok gyűjtése és feldolgozása

Szerszámmikroszkóp segítségével minden lapon összesen 10 darab vízfolt méretét határoztuk meg. A méréseket egy Carl Zeiss gyártmányú szerszámmikroszkóppal végeztük.

Azokat a foltokat mértük, amelyek szabályos kör alakot mutattak és rendelkeztek egy sötétebb, határozott körvonallal. A többi folt feltehetően több csepp egyesüléséből jött létre, és a vizsgálat szempontjából nem fontos a méretük meghatározása. A körvonal fontos a szerszámmikroszkóp szállkeresztjének pontos elhelyezésében (8. ábra).

A mérésre kiválasztott foltok körvonalán három helyzetet határoztunk meg. A három ponthelyzetből AUTOCAD program segítségével a d_{folt} átmérőt számoltuk ki.

A foltméret segítségével cseppátmérőt számoltunk. A cseppátmérő meghatározásánál figyelembe vettük, hogy a cseppek a felületen szétterjednek, így az elemzéshez szükséges a β szétterülési tényező. A szétterülési tényező a foltméret és a cseppek mérete, d csepp közötti különbség korrigálására alkalmas. A gyártó foltméret-intervallumokhoz állapít meg szétterülési tényezőt. A vízpermet szétterülési tényezőjének értékei, 20 °C-on, 40% relatív páratartalom, és ülepedési sebesség mellett az alábbi regressziós összefüggéshez vezetnek [3]:

$$\beta = 0,000857 \cdot d_{folt} + 1,633333 \quad (7)$$

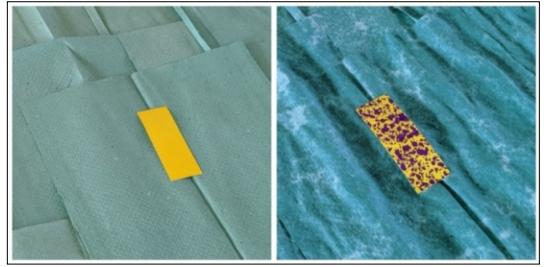
A cseppméret meghatározásának összefüggése:

$$d_{csepp} = \frac{d_{folt}}{\beta} \quad [mm]. \quad (8)$$

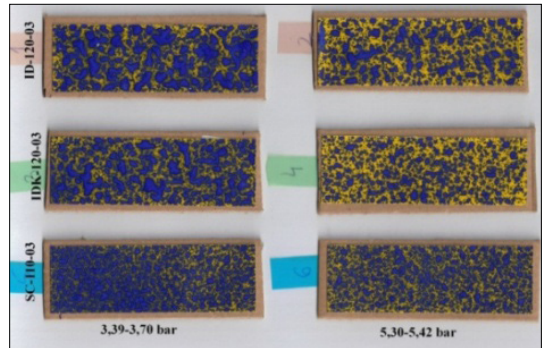
A mért és számolt adatokat az 1. táblázatba gyűjtöttük.

Az eredményeket összevetettük a gyártó által megadott adatokkal. A szavatolt cseppméretet a vizsgált szórófúvókák esetében a 2. táblázat tartalmazza.

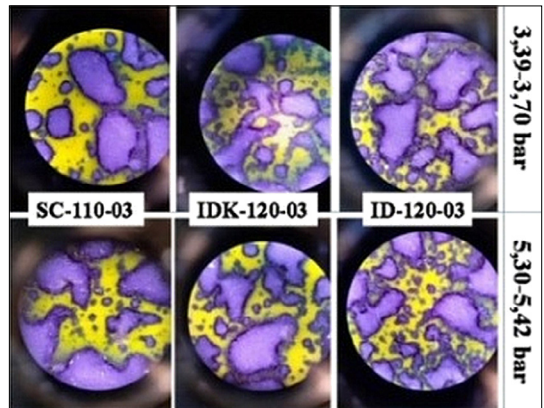
Végül az adatokat megjelenítettük (9. ábra).



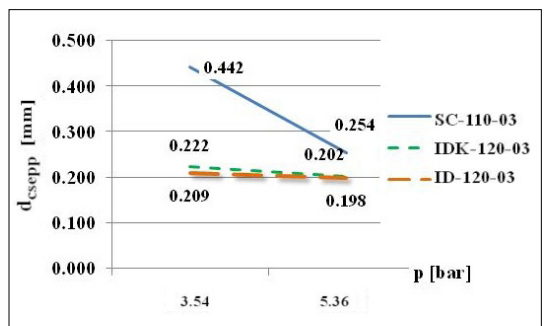
6. ábra. Vízerzékeny papír kezelés előtt és után



7. ábra. Permetezéssel kezelt vízerzékeny papírok



8. ábra. Foltméretek meghatározása



9. ábra. Kísérlet során a vízerzékeny papíron felfogott cseppek mérete

1. táblázat. Mért és számolt adatok

p [bar]	SC-110-03				IDK-120-03				ID-120-03			
	3.39		5.3		3.77		5.42		3.66		5.37	
d [mm]	d _{folt}	d _{csepp}	d _{folt}	d _{csepp}	d _{folt}	d _{csepp}	d _{folt}	d _{csepp}	d _{folt}	d _{csepp}	d _{folt}	d _{csepp}
1	0.274	0.168	0.410	0.251	0.447	0.274	0.280	0.171	0.465	0.284	0.353	0.216
2	0.411	0.252	0.574	0.351	0.354	0.217	0.397	0.243	0.262	0.160	0.248	0.152
3	0.341	0.209	0.534	0.327	0.282	0.173	0.410	0.251	0.284	0.174	0.317	0.194
4	0.722	0.442	0.516	0.316	0.335	0.205	0.362	0.222	0.337	0.206	0.332	0.203
5	0.647	0.396	0.400	0.245	0.458	0.280	0.295	0.180	0.324	0.199	0.329	0.201
6	0.943	0.577	0.429	0.262	0.408	0.250	0.334	0.205	0.323	0.197	0.359	0.220
7	0.335	0.205	0.234	0.143	0.323	0.198	0.344	0.210	0.308	0.188	0.331	0.202
8	0.319	0.196	0.384	0.235	0.363	0.222	0.238	0.146	0.303	0.185	0.284	0.174
9	1.104	0.675	0.276	0.169	0.302	0.185	0.342	0.209	0.535	0.328	0.332	0.203
10	2.123	1.299	0.388	0.238	0.357	0.219	0.298	0.182	0.267	0.163	0.344	0.211
átlag [mm]	0.442		0.254		0.222		0.202		0.209		0.198	
szórás [mm]	0.121		0.004		0.001		0.001		0.003		0.000	

2. táblázat. A gyártó által szavatolt cseppméretek [5], [6]

p [bar]	d _{csepp} [mm]		
	SC-110-03	IDK-120-03	ID-120-03
3,39-3,70	0,200-0,250	0,400-0,450	0,500-0,550
5,30-5,42	0,190-0,200	0,300-0,350	0,450-0,500

3. Következtetések

A cseppképzés nagyon összetett folyamat.

A cseppképzés elmélete alapján a kisebb kilépő nyílás mellett apróbb cseppek képződnek. A megfigyelésünk esetében ez nem igazolódott. Az SC-110-03 típusú standard réses fűvóka, a legkisebb nyílással rendelkező fűvóka által kezelt vírzékeny papíron határoztuk meg a legnagyobb cseppméretet. Ez azzal magyarázható, hogy a gyártó ezt a fűvókát 2 bar alatti nyomásra javasolja. Valószínűsíthető, hogy a nagyobb nyomáson keletkezett igen kicsi méretű cseppek az ülepedés során egyesültek, így alkothattak nagyobb méretű foltokat.

A cseppméret alakulása a nyomás függvényében mindhárom fűvóka esetében igazolódott, nagyobb nyomáson kisebb méretű cseppek keletkeznek.

Az IDK-110-03 és ID-110-03 fűvóka közel azonos méretű cseppeket hozott létre. Ezek a cseppméretek kisebbek, mint a gyártó által szavatoltak. A jelenség azzal is magyarázható, hogy az általunk mért cseppek az utólagos csepprobbanás eredményei.

A kísérlet magyarázza a szakirodalomban leírt és ismertetett folyamatokat, azonban nem szem-

lélteti a légzárványokat, csak következtetni lehet a jelenlétükre.

A megvalósított berendezés alkalmas a permetezés laboratóriumi körülmények közötti megfigyelésére, a fűvókátípus és cseppméretek közötti összefüggések tanulmányozására, a permethártya megfigyelésére, azonban a cseppméret meghatározása a vírzékeny papír és mikroszkóp segítségével pontatlansághoz vezethet.

A mérési módszer pontosabbá tétele érdekében további kutatást javasolunk.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Láng Z.: *A zöldség-, dísznövény- és szaporítóanyag-termesztés berendezései és gépei*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999. 142–155.
- [2] Hoffmann W. C., Hewitt A. J.: *Comparison of Three Imaging Systems for Water-Sensitive Papers. Applied Engineering in Agriculture*. American Society of Agricultural Engineers, ISSN 0883-8542. 21(6) 2005. 961–964.
https://www.researchgate.net/publication/43254997_Comparison_of_three_imaging_systems_for_water-sensitive_papers
- [3] Instructions for Water Sensitive Paper, 9950-0028, 2006.
<http://www.frostserv.com/WSPinstructions.pdf> (letöltve: 2019. november 15.).
- [4] https://www.lechler.com/fileadmin/media/kataloge/pdfs/metallurgy/EN/lechler_brochure_rolling_en.pdf (letöltve: 2019. november 19.)
- [5] Pályi B.: *Permetezőgépek üzemi beállítása, ellenőrzése*. Agrónapló, 2019/2.79–82.
<https://www.agronapló.hu/szakfolyoirat/2019/02/gepesites/permetezogepek-uzemi-beallitasa-ellenorzese> (letöltve: 2019. november 15.).
- [6] <https://www.awri.com.au/wp-content/uploads/2016/11/spray-application-workshop-liquid-flow.pdf> (letöltve: 2019. november 19.)

FORGÁCSOLÓSZERSZÁM-TESTMODELL VÁGÓÉL- PONTJAINAK MEGHATÁROZÁSA CAD-MÓDSZEREKKEL

CAD SOLUTION TO DETERMINE POINTS FROM CHIPPING TOOL SOLID MODEL CUTTING EDGES

Tolvaly-Rosca Ferenc,¹ Máté Márton,² Forgó Zoltán,³ Pásztor Judit⁴

Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ tferi@ms.sapientia.ro

² mmate@ms.sapientia.ro

³ zforgo@ms.sapientia.ro

⁴ pjudit@ms.sapientia.ro

Abstract

The Mixed CAD Generating Method, developed and presented in previous papers, it is able to generate gears teeth gaps in form of a special points cloud. The generation method needs only some specific points from the cutting edges of the generating tools. These points can be obtained, in a first approach, simply, drawing the cutting edges. The drawings can use either mathematical equations, either simple constructive and designing principles of the cutting tools. In case of more complex, multi-edge cutting tools, or in case of tools where we don't have the equations, could be simpler to build a solid model, or to get the solid model of the tools, from the tool's designer or manufacturer. In these cases, it will be useful to get the generating points directly from tools solid models. The paper presents two possibilities to determinate these points with usual CAD methods.

Keywords: *mixed CAD generating method, generating points, tool edge, solid model.*

Összefoglalás

A vegyes CAD generálási módszer, amelyet a szerzők dolgoztak ki és mutattak be korábbi közleményekben, a fogaskerekek fogai közötti, különleges típusú pontfelhők generálására alkalmas. A módszer csupán a vágószerszám élein található pontok egy részének meghatározását igényli. Ezen pontok egyszerű vágószerszámok esetén CAD-rajzolással, egyenletek vagy egyszerű tervezési elvek alapján készíthetők el. Többélű vagy bonyolult forgácsolószerzőszámok esetén, vagy amikor nem áll rendelkezésünkre matematikai modell, egyszerűbb lenne a generálóélen található pontok meghatározása a vágószerszám testmodelljéről. E cél elérése érdekében jelen dolgozat két CAD-eljárást javasol.

Kulcsszavak: *vegyes CAD-módszer, generálopontok, vágóél, testmodell.*

1. Bevezetés

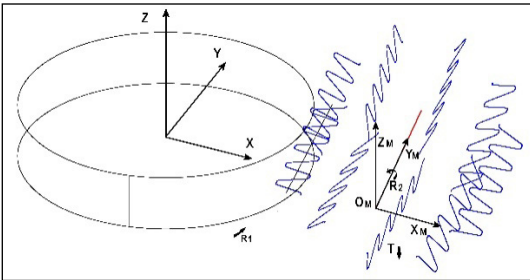
Korunkban széles körűen elterjedtek a virtuális környezetben végzett fogaskerékgyártás- és hajtásvizsgálatok, napjaink alapvető gépészeti fejlesztéseinek és kutatásainak fontos eszközüvé váltak a számítógépes szimulációk. A forgácsolással gyártott alkatrészek, így a fogaskerekek is, először számítógépes környezetben, modellezés-

sel készülnek el [1, 2]. Ahhoz, hogy a különböző fogaskerék-hajtás-alkalmazások és kutatások eredményei megfelelő pontosságúak legyenek, alapvető követelmény, hogy az előállított fogaskerekek felülete nemcsak kielégítő pontossággal, hanem gyorsan is megépíthető vagy módosítható legyen. A folytonos fejlődés mellett ezek a nagyszámú modellezési eljárások korlátokkal is rendelkeznek.

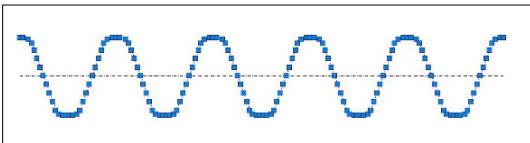
A nem matematikai egyenleteken alapuló felületgenerálási módszerek között ismert a szerzők által kidolgozott, további fejlesztés alatt álló és már publikált eljárás, a vegyes CAD-módszer [3, 4]. A megnevezés a merevtest-kivonás módszerének relatív mozgásait, pontfelhő-feldolgozását és az utólagos CAD-modellezési eljárások ötvözését igyekszik lefedni. A módszer előnye, hogy mivel nem igényel matematikai dedukciókat és a felületek matematikai egyenleteit (fogaskerék fogfelületei sem), alkalmazható ismételt és nagyszámú módosítások szinte azonnali modellezésére. A merevtest kivonásával ellentétben a modellezési idő töredékére rövidült, illetve lehetőség van igen rövid idő alatt a részleges vizuális ellenőrzésre is.

Az eljárás az előgyártmány és a forgácsolószerző szám lépésekben elvégzett, relatív lineáris és forgómozgásainak szimulálásával történik (1. ábra).

A vágóéleken csak korlátozott számú pontok vannak meghatározva, amelyek a mozgások lépései során jól meghatározott helyzetben helyezkednek a térben, ezeket a kidolgozott számítógépes program segítségével rögzítjük. Ezek a pontok egy sajátságos térfogatban (a fogárokbán) elhelyezkedő pontfelhőt alkotnak, amelyeket saját pontszűrő algoritmussal feldolgozva, megkapjuk a fogoldalakon található pontok halmazát. Ezekre a pontokra CAD-eljárásokkal NURBS-felületeket építünk, amelyek segítségével a fogaskerék testmodelljét építjük majd fel.



1. ábra. Egyenes fogú hengeres fogaskerék fogárkainak generálása vegyes CAD-módszerrel



2. ábra. Csigamaró éleinek megközelítése AutoCAD-síkrajzzal

2. A generálopontok meghatározása

A [3, 4] publikációkban a csigamaró éleit az [5]-ben ismertetett tervezési adatok alapján rajzoltuk meg, viszonylag durva megközelítéssel, alapvető AutoCAD-parancsokat használva (2. ábra).

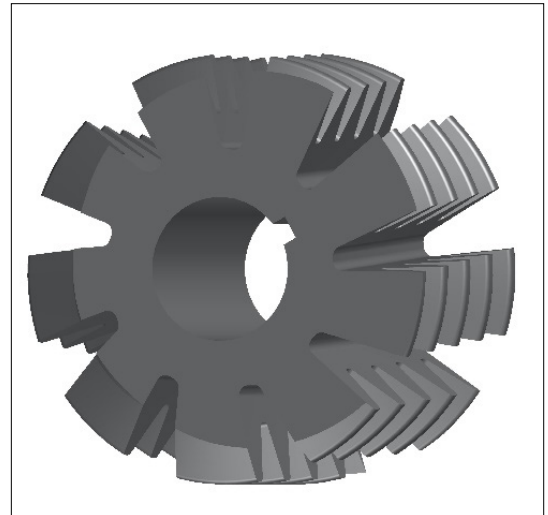
Habár a vonalakból és körvekből épített élek 3d polyline-ként készültek, ezeket igen bonyolult lenne térben megrajzolni, így csak síkban épültek fel, elfogadható hibával. A következő lépésekben alapos munkával kellett sokszorozni, majd megfelelő térpozícióban elmozdítani és elforgatni őket, a szerszám csigavonalának megfelelően kiszámított helyekre.

Egyértelmű, hogy az elkerülhetetlen pontatlanság miatt ez a teljes modellezési eljárás legnagyobb részét követelte, bármilyen módosítása már valamivel könnyebb volt, de elmaradt attól a pontosságtól és rugalmasságtól, amelyet az eljárás céljaul tűztünk ki.

Ezen nehézségek és pontatlanságok kiküszöbölését, bonyolult és többelű szerszámok esetén, egy későbbi kutatási időpontra halasztottuk, elsőbbséget élvezve a pontthalmazok szűrése és a fogfelületek visszaépítése.

Jelen dolgozat a pontfelhő-generálopontok egyszerűbb és pontosabb meghatározásának eljárását javasolja, a vágószerszámok testmodelljeiből.

A testmodellek egyszerűen felépíthető parametrikus modellezőprogramok segítségével, az aktuális szakirodalomban található leírások és tervezési segédletek alapján [6, 7, 8]. Azonban használhatók tetszés szerint testmodellek külső



3. ábra. Csigamaró testmodellje

forrásokból is: szerszámtervezők- vagy akár szerzőszámgyártók testmodelljei is.

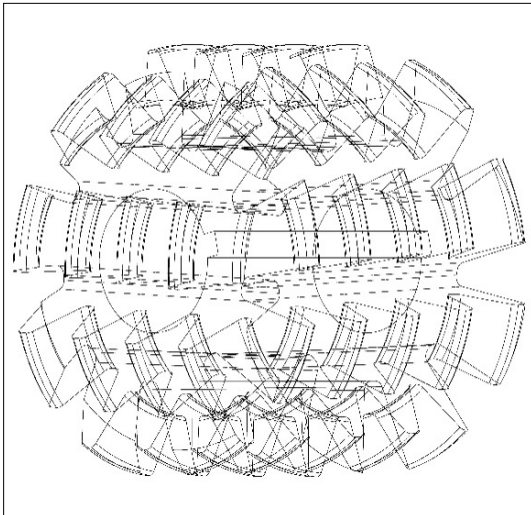
A **3. ábrán** a [7, 8] alapján modellezett csigamáró testmodellje látható, amelyet egyszerű Autodesk Inventor utasításokkal néhány perc alatt építettünk meg.

A csigamáró testmodelljét az általános testmodell használhatósági alapelve alapján importáltuk ACIS *.sat file-ba, majd ezt importáltuk AutoCAD-be. Célunk az volt, hogy egy tetszőleges modellezési környezetben épített file formátumban importáljuk, ezzel alátámasztva, hogy az eljárás egyetemesen alkalmazható bármilyen rendszerben előállított testmodell esetén is. Innen a cél, a vágóélek azonosítása, azok kiemelése, majd a rajta található generálopontok meghatározása volt.

Először is a [9]-et tanulmányozva azonosítottuk, hogy a vágóélek kubikus spline formájában jelennek meg AutoCAD környezetben, majd rátérünk a céljaink elérésében használható AutoCAD parancsok keresésére. Habár közel húszéves tapasztalattal rendelkezünk az AutoCAD API programozásában, igyekeztünk teljesen szokványos parancsokat alkalmazni az élek kinyerésére.

Ezek egyike a [11]-ben ismertetett Copy Edges parancs, amely a 2016-os AutoCAD változatunkban a Modify → 3DOperations → Copy úton érhető el, ezzel egy testmodell minden éle kinyerhető (**4. ábra**).

Az így kapott élek száma 1080 darab térbeli spline görbe, amelyek közül ki kell majd választani és eltávolítani azokat, amelyek nem vágóélek. Megállapítható, hogy a kezdeti rajzolásos



4. ábra. Csigamáró-testmodell Extract Edges utasítással kinyert összes éle

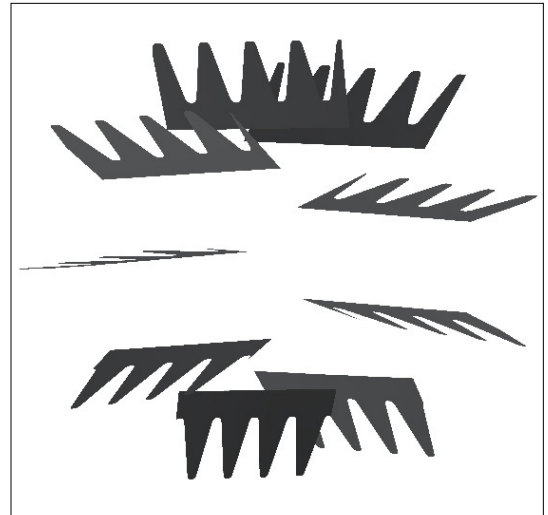
módszerrel épített élekhez képest a pontosság műszaki szempontból teljesen kielégítő, az így kapott élek egyértelműen térgörbék, a kubikus spline-okra jellemző pontossággal, kiválóan közelítik a testmodell éleit.

Az első eljárás során nagyon sok spline-t kell azonosítani és törölni, ami eléggé bonyolult és időigényes feladat és nagy odafigyelést igényel. Ugyanazon élek elérésére egyszerűbb, ha a testmodellt átalakítjuk NURBS-felületekre. Ezekből sokkal kevesebb lesz: 362 darab, mely mennyiségből könnyebb a fölöslegesek törlése, majd ezek éleinek kinyerése.

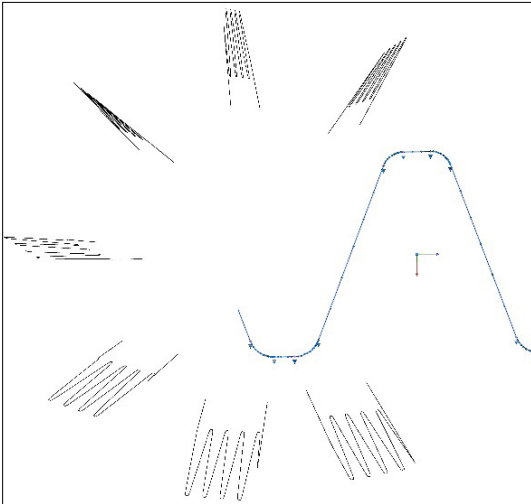
A testmodell átalakítását Modify → Surface Editing → Convert to NURBS utasítással végeztük [12], amelyet egy 20 másodperces kézi szelektálás követett (**5. ábra**), majd a fennebb ismertetett utasítással az élek kinyerése és a felesleges vonalak egyszerű kézi törlése történt meg.

A végeredmény a **6. ábrán** látható. Az ábra közepén egy kiemelt részlet látható az egyik élről, amelyen jól megfigyelhető a módszer helyességét bizonyító generálopontok elhelyezkedése a spline görbékben.

A kezdeti generálóprogramban csupán egyetlen módosítást kell eszközölni: az entitások azonosításában ki kell cserélni a 3dpolyline típust a spline-ra, és a DXF groupcode-ból, az egymást követő 10-es kódcsoportokból kell kiolvasni a pontok koordinátáit minden diszkrét lépés után.



5. ábra. A vágóéleket tartalmazó NURBS-felületek



6. ábra. A spline vágóélek és az egyik nagyított képe a generálopontokkal

3. Következtetések

A bemutatott egyszerű CAD-eljárás a vegyes CAD-módszer pontosságát várhatóan magasra emeli, és leegyszerűsíti a legkülönbözőbb szerzsámtípusok modellezését a módszer alkalmazásaiban.

Mivel a szerzsámok megépítése testmodellként sokkal gyorsabban történik, mint rajzelemek összeállításából, jelentősen nő a generálási módszer flexibilitása is, lehetővé téve a szerzsámok esetleges profil- vagy egyéb módosításainak rövid időn belüli modellezését.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bouzakis K. D., Lili E., Michailidis N., Friderikos O.: *Manufacturing of cylindrical gears by generating cutting processes: A critical synthesis of analysis methods*. CIRP Annals 2008 – Manufacturing Technology, 57/2. (2008) 676–696.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.001>
- [2] Mohan L. V., Shunmugam M. S.: *CAD approach for simulation of generation machining and identification of contact lines*. International Journal of

Machine Tools and Manufacture, 44/7–8. (2004) 717–723.

<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.02.013>

- [3] Tolvaly-Rosca F., Forgó Z.: *Mixed CAD Method to Develop Gear Surfaces Using the Relative Cutting Movements and NURBS Surfaces*. Elsevier, Procedia Technology, 19. (2015) 20–27.

<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.004>

- [4] Tolvaly-Rosca F., Máté M., Forgó Z., Kakucs A.: *Development of Helical Teethed Involute Gear Meshed with a Multi-Edge Cutting Tool Using a Mixed Gear Teeth Modeling Method*. Elsevier Procedia Engineering, 5/2. (2017) 153–158.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.421>

- [5] Secară Gh.: *Proiectarea sculelor aşchietoare*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979. 447–457.

- [6] Radzevich P. S.: *Dudley's Handbook of Practical Gear Design*. CRC-Press, London, 2016. 368–379.

- [7] Máté M., Hollanda D.: *A hengeres fogaskerék-lefejtő csigamaró működő élgeometriájának vizsgálata*. In: A XVII. Műszaki tudományos ülés szak előadásai. Erdélyi-Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 2017. 137–147.

<https://doi.org/10.33895/mtk-2017.06.15>

- [8] Máté M.: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámjai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. 187–206.

<https://doi.org/10.36242/mtf-12>

- [9] Omura G., Benton B. C.: *Mastering AutoCAD 2016 and AutoCAD LT 2016*. Autodesk Official Press, SYBEX Inc. Alameda, CA, USA 2015. 753–799.

- [10] Wilson J.: *3D Modeling in AutoCAD: Creating and Using 3D Models in AutoCAD 2000, 2000i ..., 2nd Edition*. CRC Press, London 2011. 110–125.

- [11] Autodesk Knowledge Network: *Extract edges*.
<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/screencast/Main/Details/f75e7349-8c8d-4ece-a468-65e05d416f6d.html>

- [12] Autodesk Knowledge Network: *To Convert a Solid Into a NURBS Surface*.

<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloud-help/2016/ENU/AutoCAD-Core/files/GUID-334FBE9A-656E-4870-B732-99050F2E7520-hm.html>

SZERZŐK JEGYZÉKE
LIST OF AUTHORS

A, B

BAGYINSZKI Gyula 15
BAKOS Levente 23
BITAY Enikő 15

D, E, F

DÓSA János 28
EGYED-FALUVÉGI Erzsébet 34, 63
FARMOS Rudolf 34, 38
FORGÓ Zoltán 34, 38, 68

G, H

GOBESZ Ferdinánd-Zsongor 42
HODGYAI Norbert 34
HOLLANDA Dénes 55

K

KAFI Abdallah 50
KAKUCS András 63
KOVÁCS Tünde Anna 50

M, N, P

MÁTÉ Márton 55, 68
NYIKES Zoltán 50
PÁSZTOR Judit 63, 68

S, T

TIMÁR Zoltán 63
TOLVALY-ROȘCA Ferenc 38, 68
TOMUȘ Ovidiu Bogdan 28
TÓTH László 50



ISSN 2393-1280



9 772393 128012