

## FELÜLETI ÉRDESSÉG VIZSGÁLATA IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSÁNÁL

### INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS WHEN DRILLING OF INDUSTRIAL PLASTICS

**RAVAI NAGY Sándor<sup>1</sup>, SZIGETI Ferenc<sup>2</sup>, VARGA Gyula<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD., egyetemi adjunktus, nagy.sandor@nye.hu  
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem,  
H-4400, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

<sup>2</sup>CSc., főiskolai tanár, szigeti.ferenc@nye.hu  
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem,  
H-4400, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

<sup>3</sup>PhD egyetemi docens, gyula.varga@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet  
H-3515, Miskolc- Egyetemváros

**Kivonat:** A dolgozat kriogén technológiával hűtött polietilén alapanyag furatmegmunkálási kísérleteinek eredményeit mutatja be. A vizsgálatok a leválasztott forgács alakjára, a megmunkált furat pontosságára és felületi érdességére terjedtek ki. A -35C-on történő megmunkálás eredményeként javult a polietilén próbatest forgácsolhatósága, a furat felületi érdessége csökkent, méretpontossága növekedett.

**Kulcsszavak:** felületi érdesség, kriogén hűtés, furatmegmunkálás, ipari műanyag, PE-HD1000

**Abstract:** The paper presents the results of cryogenic hole machining experiments of polyethylene material. The tests contained the shape of the removed chip, the accuracy and surface roughness of the machined hole. As a result of machining at -35°C the the machinability of polyethylene specimen improved, the surface roughness of the hole reduced, and the accuracy increased.

**Keywords:** surface roughness, cryogenic cooling, drilling, industrial plastic, PE-HD1000

## 1. BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás, a széndioxid-kibocsátási előírások és a magas üzemanyagárak ösztönzik a gyártókat alacsony tüzelőanyag-fogyasztású járművek előállítására. Az egyik hatékony módszer a kis sűrűségű anyagok felhasználása az üzemanyag-fogyasztás csökkentés érdekében [1].

A karbonszálás műanyagok a repülőgépiparban és az autóiparban széles körben használt anyagokká váltak, mivel az alumíniumtól kisebb a sűrűségük és nagyobb a szilárdság/tömeg arányuk. Továbbá ezen anyagok kiváló tulajdonságai közé tartoznak például, hogy nagy a fáradási szilárdságuk, jó a csúszási képességük és a korrózióállóságuk, nagy a merevségük valamint kémiaileg semlegesek. Ezen egyedülálló tulajdonságoknak köszönhetően alkalmazzák a karbonszálás műanyagokat a repülőgépek hordozó szerkezetében, a külső szárnyak alkatrészeiként, valamint a spoilereknél. Az autókban karosszériaelemek, szerkezeti elemek és motoralkatrészek [2] készülhetnek belőlük.

A karbonszálás műanyag alkatrészek majdnem kész alakját fröccsöntési eljárással készítik el, azonban a marást, esztergálást, illetve fúrást a kívánt méretek és tűrések elérése céljából alkalmazzák [3]. Morkavuk és társai a karbonszálás műanyag kompozitok kriogén

megmunkálásával foglalkoztak, különösen azt figyelték meg, hogyan hat a kriogén kezelés az így készített munkadarabok szakítóvizsgálati jellemzőire [4].

A karbonszálás műanyagok megmunkálásakor előfordulhat rétegszétválás, szálkiszakadás valamint mátrix-repedés jellegű károsodás. Ezek a károsodások csökkenthetik a megmunkálás minőségét és a megmunkált alkatrészek selejtté válását okozhatják. Mindezek azt mutatják, hogy a karbonszálás műanyagok megmunkálása nagy figyelmet igényel [5]. Ezen kívül a polimer mátrix hőállósága korlátozott, ezért a megmunkálás során a hőképződés termikus károsodáshoz vezethet.

A fémforgácsoláshoz használt hagyományos hűtő-kenő folyadékok a kompozitok méretpontosság változását és a kompozit részek mechanikai tulajdonság változását okozhatják a nedvességfelszívás miatt [3]. A hagyományos megmunkálás alternatívájaként a kriogén megmunkálást fejlesztették ki a nehezen megmunkálható anyagok, például titán, lágy alumínium és a kompozitok megmunkálhatóságának növelése érdekében. Az ilyen anyagok megmunkálása során fellépő magas hőmérséklet károsan befolyásolhatja a megmunkáláshoz használt szerszám kopását, a munkadarab felületminőségét és geometriai pontosságát.

A kriogén megmunkálás egyik célja a megmunkálás során keletkező hő elvezetése a forgácsolási zónából. A kriogén megmunkálás során hűtőfolyadékként az extrém hideg, cseppfolyósított gázokat használják, mint például az oxigént, a nitrogént, a hidrogént vagy héliumot. Az ilyen cseppfolyósított gázok közül leggyakrabban használt a folyékony nitrogén, mivel bőséges, tiszta és környezetbarát. Ha a folyékony nitrogént megmunkálásnál hűtőközegként használják, akkor a gáznemű anyag a környezet károsítása nélkül elpárolog [6]. A kriogén hűtőfolyadékok különböző módon alkalmazhatók: pl. a munkadarab hűtésére, a szerszám visszahűtésére (közvetett), a forgácsolási zóna hűtésére injektálással és kriogén forgácsolószerszám kezeléssel. Ezek a módszerek önmagukban vagy kombinációban alkalmazhatók [7].

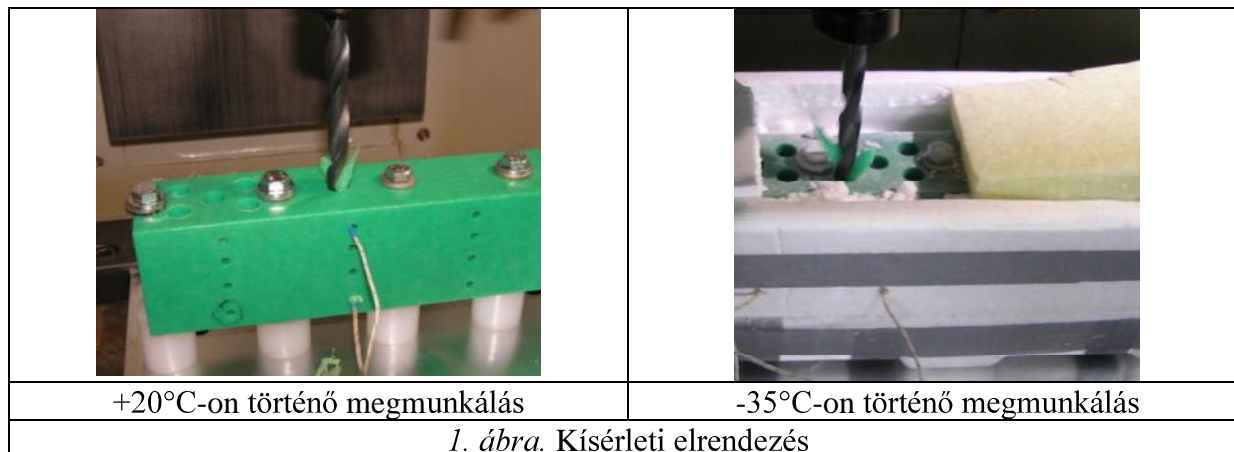
A szakirodalomban látható, hogy a kriogén megmunkálással kapcsolatos vizsgálatok többsége az acél és a titán-ötvözetek esztergálására összpontosított. A kompozitok kriogén megmunkálásához szükséges ismeretek nagyon hiányosak. Ishida és társai [8] az ultrahangos vibráció és a kriogén szerszámhűtési módszer hatását vizsgálták a karbonszálás műanyagok helikális marásakor. Khairusshima és társai [9] hűtött levegőt alkalmaztak a karbonszálás műanyag panelek marására. Kísérletükben a megmunkálás során a kriogén hűtőfolyadék helyett a  $-10^{\circ}\text{C}$ -ra hűtött levegőt juttatták a forgácsoló szerszámra vortexcső alkalmazásával.

Kumaran és társai [10] a rotációs ultrahangos megmunkálást adaptálták a karbonszálás műanyagok esetén, amelyeket préselési eljárással állítottak elő a kriogén fűrés előtt. Az összetétel szál orientációja  $0^{\circ}/90^{\circ}$ . A megmunkálás során a folyékony nitrogént a munkadarabra permetezték. Xia és társai [11] megvizsgálták a kriogén hűtés hatását a karbonszálás műanyagok fűrésére  $0^{\circ}/+45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}$  szál orientációk esetén is. Tanulmányukban közlik, hogy a folyékony nitrogént permetezték a forgácsolási zónába a fűró hűtő-kenő csatornáiból. Basmacı és társai [12] a fűró átmérő és a kriogén környezet hatását vizsgálták a karbonszálás műanyagok fűrésére  $0^{\circ}/90^{\circ}$  szál orientáció esetén. A munkadarabot folyékony nitrogénnel töltött kriogénfürdőben fűrták.

Ebben a dolgozatban a PE-HD 1000 típusú polietilén próbatest hűtött, kriogén állapotban történő furatmegmunkálási kísérleteit végeztük el. A munkadarab hűtését szilárd széndioxiddal (szárjazéggel) végeztük. A kísérletek során a hűtésnek a furat pontosságára, felületi érdességére gyakorolt hatását vizsgáltuk, továbbá tanulmányoztuk a kriogén hűtés forgács leválasztási tulajdonságokra gyakorolt hatását is.

## 2. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS ÉS VIZSGÁLATI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A kísérleteket két beállításban végeztük el, először „szobahőmérsékleten”, 20°C-on, utána hűtve, kriogén környezetben -35°C-on, az 1. ábrán bemutatott kísérleti beállításban.



### A furatmegmunkálási kísérleteknél használt berendezések:

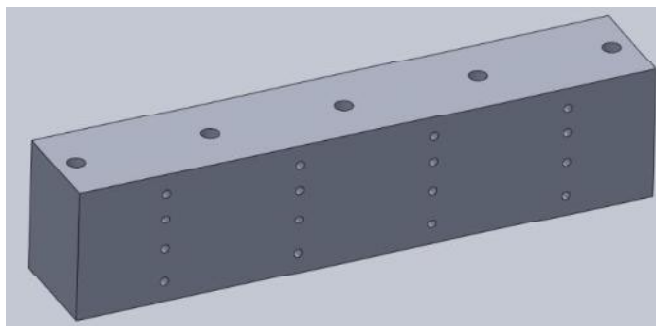
- NCT EmL510B típusú, CNC vezérlésű szerszámgép;
- A próbatest rögzítésére és hűtésére tervezett készülék;
- Hőmérő, K típusú szonda, mérési pontosság 0,1 C°, mérési tartomány -200 C°tól 1200 C°ig.

A kísérlet során Ø12mm-es átmérőjű furatokat készítettünk DIN 388 szabvány szerinti csigafúróval L=2,5D furatmélységig.

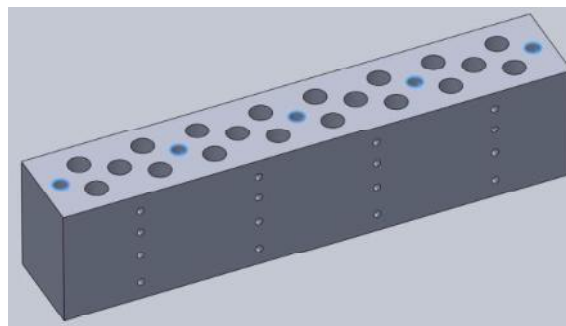
### Technológiai paraméterek:

- Megmunkált anyag: PE-HD1000
- Forgácsolási sebesség (főorsó fordulatszám):
  - $v_{c1}=6,78$  m/perc (180 fordulat/perc);
  - $v_{c2}=18,55$  m/perc (500 fordulat/perc);
- Előtolás:  $f_1=0,32$  mm/fordulat;  $f_2=0,62$  mm/fordulat;
- Munkadarab hőmérséklete: +20°C; -35°C;
- Hűtő közeg: szilárd széndioxid (száraz jég,  $SCO_2$ )

A kísérletek során a fenti paraméterek kombinációi alapján 8 kísérleti beállításban végeztünk megmunkálásokat. Minden egyes kísérleti beállításban 5 furatot készítettünk azért, hogy a kísérletekre vonatkozó statisztikai követelményeknek eleget tegyünk. A 2. ábrán bemutatjuk a munkadarab modelljét és a kísérletek során megmunkált furatok helyeit.



Kísérlet elvégzése előtt



Kísérlet elvégzése után

2. ábra. A kísérleteknél használt munkadarab, próbatest

A felületi érdesség mérését AltiSurf 520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezéssel végeztük, az érdességi mérésekre az optikai fejet használtuk.

A fűrt próbadarabok kettévágása után mindkét oldalon megmértük a felületi érdességet (Ra) és az eredményt átlagoltuk.

A furatok pontosságát Aberlink Axiom tooCNC 3D koordináta mérőgéppel ellenőriztük.



AltiSurf®520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezés



Aberlink Axiom too CNC 3D koordináta mérőgép

### 3. ábra. A kísérleteknél használt mérőberendezések

A kísérletek során a hűtésnek a furat pontosságára, felületi érdességére gyakorolt hatását vizsgáltuk, továbbá tanulmányoztuk a kriogén hűtés forgács leválasztási tulajdonságokra gyakorolt hatását is.

A kísérlet során vizsgáltuk:

- a furat pontosságát,
- a leválasztott forgács alakját és furatból történő eltávolodási mechanizmusát,
- a megmunkált furat felületi érdességét.

## 3. FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

A kutatási eredményeket az alábbi sorrendben ismertetjük:

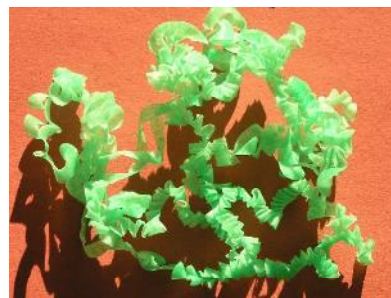
- A forgács alakváltozása és a leválasztott forgács furatból történő eltávolodása a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében.
- A megmunkált furatok pontossága a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében.
- A megmunkált felület érdessége.

### 3.1. A forgács alakváltozása és a forgács furatból való eltávolodása a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében

A furatmegmunkálási kísérletnél a PE-HD1000 anyagú próbatestről a forgács a forgácstípusok szerint folyóforgácsként válik le. A kialakuló folyóforgács a hőmérséklet és az előtolás, valamint a forgácsoló sebesség függvényében különböző módon gyűlik, tekeredik, szálasodik, könnyítve vagy megnehezítve a forgács furatból való eltávolodását (4. ábra).



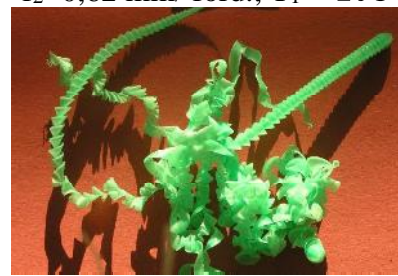
$v_{c1}=6,78$  m/min ( $n_1=180$  ford./min);  
 $f_2=0,62$  mm/ford.;  $T_2=-35C^\circ$



$v_{c1}=6,78$  m/min ( $n_1=180$  ford./min);  
 $f_2=0,62$  mm/ford.;  $T_1=+20C^\circ$



$v_{c2}=18,85$  m/min ( $n_2=500$  ford./min);  
 $f_2=0,62$  mm/ford.;  $T_2=-35C^\circ$



$v_{c2}=18,85$  m/min ( $n_2=500$  ford./min);  
 $f_2=0,62$  mm/ford.;  $T_1=+20C^\circ$



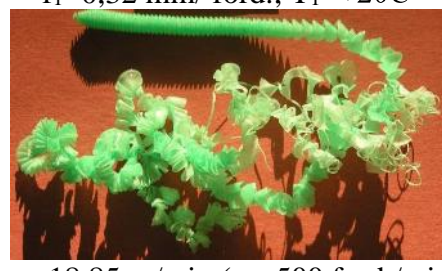
$v_{c1}=6,78$  m/min ( $n_1=180$  ford./min);  
 $f_1=0,32$  mm/ford.;  $T_2=-35C^\circ$



$v_{c1}=6,78$  m/min ( $n_1=180$  ford./min);  
 $f_1=0,32$  mm/ford.;  $T_1=+20C^\circ$



$v_{c2}=18,85$  m/min ( $n_2=500$  ford./min);  
 $f_1=0,32$  mm/ford.;  $T_2=-35C^\circ$



$v_{c2}=18,85$  m/min ( $n_2=500$  ford./min);  
 $f_1=0,32$  mm/ford.;  $T_1=+20C^\circ$

4. ábra. Forgács alakváltozása a forgácsoló sebesség, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében (furatmélység  $L=2,5 D$ ).

A leválasztott forgács a megmunkálási paraméterek szerint különbözőképpen távolodik el a furatból és a szerszámról. Észrevehető a 4. ábrán, hogy  $f_2=0,62$ mm/fordulatnál  $T_2=-35C^\circ$ -on történő megmunkálásnál a forgács a csigafűrő hornyából eltávolodik, nem csavarodik fel a szerszámról, forgácsolási sebességtől és fordulatszámtól függetlenül. Ez a normaidő szempontjából is előnyös, mivel nincs idővesztés a forgács eltávolítása során és a munkavédelem szempontjából is előnyös, mert a gépkezelőnek nem kell a forgácshoz érnie.

### 3.2. A megmunkált furatok átmérője és hengeressége az előtolás, a hőmérséklet és a forgácsolósebesség függvényében

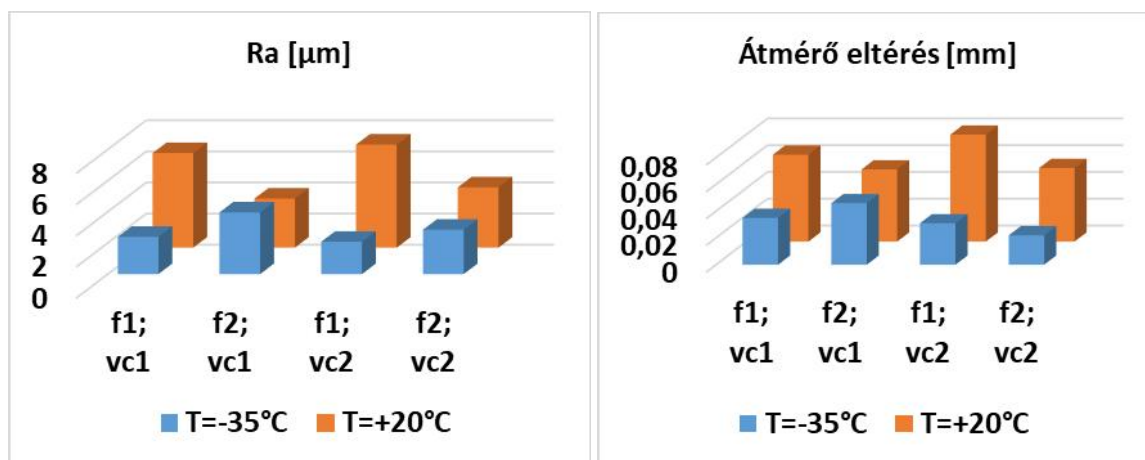
Az 1. táblázatban feltüntetett mérési adatokból kitűnik, hogy a kriogén környezetben megmunkált furatok pontossága nagyobb valamennyi vizsgált forgácsolási paraméter-kombináció esetén, illetve az elméleti henger átmérőtől mért eltérések lényegesen kisebbek, mint a szobahőmérsékleten megmunkált furatoké  $L=2,5D$  méretű furatoknál. A mért henger átmérő eltérések  $T=-35^{\circ}\text{C}$ -nál közelítően feleakkorák, mint  $20^{\circ}\text{C}$ -on történő megmunkálásnál, kivéve az  $f_2$  és  $v_{c1}$  paraméter kombinációnál mért értékeket. Az eltérések okának kiderítése további vizsgálatot igényel.

1.táblázat. Hengerátmérő eltérések és felületi érdesség értékek

Forgácsolási paraméterek	Henger átmérő eltérések [mm]		Felületi érdesség értéke, Ra, [ $\mu\text{m}$ ]	
	L/D=2,5		L/D=2,5	
	T=20C°	T=-35C°	T=20C°	T=-35C°
$f_1=0,32$ mm/ford; $v_{c1}=6,78$ m/min	0,065	0,035	7,076	3,388
$f_2=0,62$ mm/ford; $v_{c1}=6,78$ m/min	0,054	0,046	4,148	4,961
$f_1=0,32$ mm/ford; $v_{c2}=18,85$ m/min	0,087	0,031	7,616	3,075
$f_2=0,62$ mm/ford $v_{c2}=18,85$ m/min	0,055	0,022	4,872	3,849

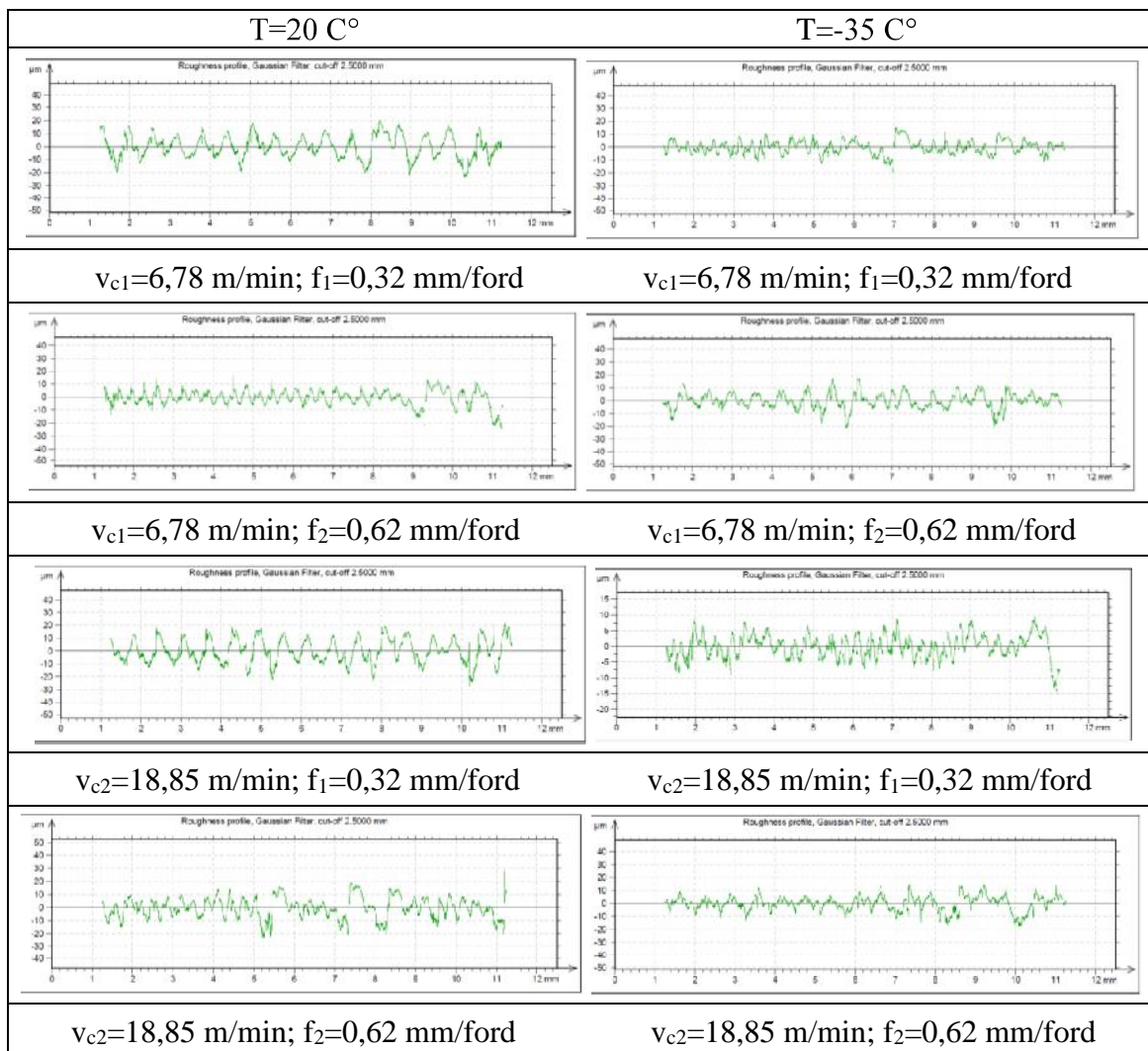
### 3.3. A megmunkált furatok érdessége az előtolás, a hőmérséklet és a forgácsolósebesség függvényében

Az 5. ábrán a megmunkált furatok felületi érdességének és átmérő eltéréseinek mért értékeit ábrázoltuk a forgácsolási paraméterek függvényében. Az ábrák alapján megállapítható, hogy egy forgácsolási paraméter kombináció kivételével valamennyi esetben számottevően kisebb a furatok felületi érdessége kriogén környezetben való megmunkáláskor.



5.ábra. A megmunkált furatok felületi érdességének és átmérő eltéréseinek ábrázolása

Az 5. ábrán feltüntetett két oszlopdiagram összehasonlítása alapján megfigyelhető, hogy a felületi érdességek átlaga és az átmérő eltérés (terjedelem) hasonló jelleget mutat a különböző forgácsolási paraméter kombinációknál.



6.ábra. A megmunkált furat mért felületi érdesség értékei

A 6. ábrán az AltiSurf 520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezéssel a furatok felületén felvett érdesség-görbéket mutatjuk be. A 20°C-on és -35°C-on megmunkált furatok felületén felvett érdességi görbék összehasonlításából jól látszik, hogy a kriogén környezetben megmunkált furatok felületi egyenetlensége jelentősen kisebb ( $f_2$ ;  $v_{c1}$  paraméterkombináció kivételével).

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az L=2,5D furatok szobahőmérsékleten és kriogén környezetben történő megmunkálása során a kísérleti eredmények elemzése alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- A hideg környezetben (-35°C) leválasztott forgácsok nem szálasodtak, a forgácsolás során keletkező hő nem olvasztotta meg őket. A 20 C°-on történő forgácsolásnál a forgácsok tömörültek, megszorultak a csigafűrő hornyában és a furatból nehezen voltak eltávolíthatók.

- A forgács nem csavarodik fel a szerszámra  $f_2=0,62$  mm/f előtolásnál hűtött állapotban, azonban  $f_1=0,32$  mm/f előtolásnál még hűtött állapotban is megfigyelhető a forgács csigafúróra történő felcsavarodása.
- A forgács szerszámra történő felcsavarodása jelentős hátrányt jelent a CNC vezérlésű szerszámgépeken történő megmunkálásoknál, mert a forgács eltávolítása miatt a szerszámgépet meg kell állítani, így megnövekszik a normaidő.
- A kriogén környezetben megmunkált furat átmérőjének változása lényegesen kisebb, mint a szobahőmérsékleten megmunkált furaté.
- A kísérleti eredményekből látszik, hogy kriogén hűtés során a legtöbb paraméterkombináció esetén kisebb átlagos érdesség értékeket mértünk.
- Megfigyelhető, hogy a középhosszú furat ( $L/D=2,5$ ) megmunkálásánál,  $f_2=0,62$  mm/ford előtolás és  $v_{c1}=6,78$  m/min forgácsoló sebesség esetén mindkét hőmérsékletnél közel azonos felületi érdesség adódott, mely jelenség okának meghatározása további vizsgálatot igényel.

„Az NKFI-125117 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K\_17 pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

## 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **JACQUES K, BAX L, HARILAOS V, IGNACIO M, KELVIN O.** *Polymer composites for automotive sustainability.* Eur J Platform Sustain Chem 2017: 31–32.
- [2] **BAKER A, DUTTON S, KELLY D.** *Composite materials for aircraft structures.* second ed. American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2004. p. 436–448.
- [3] **SHEIKH-AHMAD JY.** *Machining of polymer composites.* New York: Springer; 2009. pp. 802–808.
- [4] **SEZER MORKAVUK, UĞUR KÖKLÜ, MEHMET BAĞCI, LOKMAN GEMI** *Cryogenic machining of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites and the effects of cryogenic treatment on tensile properties: A comparative study,* Composites Part B 147 (2018) 1–11
- [5] **SLAMANI M, CHATELAIN J-F, HAMEDANIANPOUR H.** *Comparison of two models for predicting tool wear and cutting force components during high speed trimming of CFRP.* Int J Material Form 2015; 8 (2): 305–316.
- [6] **JEON Y, PARK HW, LEE CM.** *Current research trends in external energy assisted machining.* Int J Precis Eng Manuf 2013; 14 (2): 337–342.
- [7] **SHOKRANI A, DHOKIA V, MUÑOZ-ESCALONA P, NEWMAN ST.** *State-of-the-art cryogenic machining and processing.* Int J Comput Integrated Manuf 2013; 26 (7): 616–648.
- [8] **ISHIDA T, NOMA K, KAKINUMA Y, AOYAMA T, HAMADA S, OGAWA H,** et al. *Helical milling of carbon fiber reinforced plastics using ultrasonic vibration and liquid nitrogen.* Procedia CIRP 2014; 24: 13–18.
- [9] **KHAIRUSSHIMA MN, HASSAN CC, JAHARAH A, AMIN A, IDRIS AM.** *Effect of chilled air on tool wear and workpiece quality during milling of carbon fibre-reinforced plastic.* Wear 2013; 302 (1): 1113–1123.
- [10] **KUMARAN ST, KO TJ, LI C, YU Z, UTHAYAKUMAR M.** *Rotary ultrasonic machining of woven CFRP composite in a cryogenic environment.* J Alloy Comp 2017; 698:984–993.

- [11] **XIA T, KAYNAK Y, ARVIN C, JAWAHIR I.** *Cryogenic cooling-induced process performance and surface integrity in drilling CFRP composite material.* Int J Adv Manuf Technol 2016; 82 (1–4), pp.: 605–616.
- [12] **BASMACI G, YORUK AS, KOKLU U, MORKAVUK S.** *Impact of cryogenic condition and drill diameter on drilling performance of CFRP.* Appl Sci 2017; 7(7) p.: 667.

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ  
ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI  
RÉGIÓBAN  
2018**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

**Szolnok, 2018. május 31.**

**Szerkesztette:  
Edited by**

*Dr. Bodzás Sándor  
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke*

*Dr. Antal Tamás  
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Titkára*

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

**ISBN 978-963-7064-37-1**

**Debrecen 2018**

**A konferencia szervezői:**

*A Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi  
Bizottság (DAB) Műszaki Szakbizottsága,*

*a Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézete*

**A konferencia fővédnöke:**

**Dr. Palik Mátyás**  
*Intézetigazgató*

**A konferencia elnöke:**

**Dr. Bodzás Sándor**  
*az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke*

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>ANTAL Tamás, CZIÁKY Zoltán, SZÖLLŐSI István</b> A KÍMÉLETES VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRÍTOTT ANYAG BELTARTALMI ÉRTÉKEIRE	<b>1</b>
<b>BERÉNYI László</b> AZ ISO 14001 SZABVÁNY ELTERJEDÉSE EURÓPÁBAN	<b>9</b>
<b>BEZZEG Pál, L. SZABÓ Gábor</b> EGYENSÚLYI FANEDVESSÉG ÉS FŰTŐÉRTÉK TÉLEN	<b>16</b>
<b>BODZÁS Sándor</b> FERDE FOGAZATÚ FOGASKERÉKPÁROK SZÁMÍTÓGÉPPLEL SEGÍTETT TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE	<b>25</b>
<b>BUDAYNÉ BÓDI Erika, BUDAY Tamás</b> A GEOTERMIKUS POTENCIÁL MEGHATÁROZÁSÁNAK GYAKORLATI PROBLÉMÁI A KÖZÉP-TISZÁNTÚLI FELSŐ-PANNÓNIAI VÍZADÓK ESETÉBEN	<b>41</b>
<b>CSANÁDY Gábor Mátyás</b> ANTI-K ZSINAGÓGÁK TÉRSTRUKTÚRÁI IZRAELBEN	<b>49</b>
<b>CSATÁRI Nándor, HAGYMÁSSY Zoltán, VÁNTUS András</b> TEJELŐ TEHENÉSZETEK ENERGIAHATÉKONYSÁGA HAJDÚ-BIHAR MEGYÉBEN	<b>58</b>
<b>DEÁK Dávid Péter, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla</b> A FAN-COIL-OS HŰTÉSI FOGYASZTÓI RENDSZER VIZSGÁLATA ELTÉRŐ MUNKAKÖZEGEK ESETÉN	<b>65</b>
<b>DUDÁS László, KAPITÁNY Pálma, BENOTSMANE Rabab</b> KOMPLEX KAPCSOLÓDÓ FELÜLETPÁROK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ELEMZÉSE	<b>77</b>

<b>FALUDI Tamás</b> SZERZŐDÉSTÍPUSOKKAL TÖRTÉNŐ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓ ÖSSZEHASONÍTÓ ELEMZÉSE	84
<b>FARAGÓ Enikő, BUDAY Tamás, MAKAI Levente</b> HOMOKMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELÉSÉNEK, VÍZTARTALMÁNAK ÉS HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA	92
<b>HAGYMÁSSY Zoltán, VÁNTUS András, CSATÁRI Nándor</b> PRECÍZIÓS TÁPANYAGVISSZAPÓTLÁS MŰSZAKI VETÜLETEI	99
<b>ILOSVAI Mária Ágnes, PEKKER Péter, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László</b> SZUPERPARAMÁGNESES NANORÉSZECSKÉK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA NANOKOMPOZITOK FEJLESZTÉSE SORÁN	105
<b>KISS Adrienn, ZAUER Károly</b> A GYÖMBÉR KÉT KOMPONENSÉNEK ÚJ SZINTÉZIS LEHETŐSÉGEI	113
<b>KOVÁCS Zoltán, SZEGEDI Attila</b> KERÉKBEPATTOGÁSI JELENSÉG KIALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA MEZŐGAZDASÁGI ERŐGÉPEKEN	118
<b>KOVÁCS Zoltán, KALMÁR Imre, LAJTOS István, SIKOLYA László, SZILÁGYI Attila</b> SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYE ENERGIAFOGYASZTÁSBÓL EREDŐ ÜHG KIBOCSÁTÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA	126
<b>KULCSÁR Balázs</b> A NEM ENGEDÉLYKÖTELES, MEGÚJULÓ ENERGIÁT HASZNOSÍTÓ KISERŐMŰVEK TERÜLETI ELHELYEZKEDÉSE MAGYARORSZÁGON	132
<b>LÁMER Géza</b> AZ ÉPÜLET TARTÓSZERKEZETI VÁZÁNAK MODELLEZÉSE CELLÁK SEGÍTSÉGÉVEL	140

**LÁMER Géza**

FOLYTONOS ÉS DISZKRÉT MODELLEK A DEFORMÁLHATÓ SZILÁRD  
TESTEK MECHANIKÁJÁBAN 159

**METSZÓSY Gabriella**

NEM TERMELÉSI FOLYAMATOK FEJLESZTÉSI SIKERTÉNYEZŐINEK  
VIZSGÁLATA 178

**MOLNÁR András, BARKÓCZY Péter, BATTÁNE GINDERT-KELE  
Ágnes, PÁLINKÁS Sándor**

TERMIKUS SZÓRÁSSAL ACÉL SZERKEZETEKRE FELVITT CINK ÉS  
ALUMÍNIUM KORROZIÓÁLLÓ BEVONATOK VIZSGÁLATA ÉS  
ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE 186

**MOLNÁR András, KAVAS László, ÓVÁRI Gyula, FAZEKAS Lajos**

A HIDEGSZÓRÁS (COLD GAS DYNAMIC SPRAYING) ALKALMAZÁSI  
LEHETŐSÉGEI HELIKOPTER ALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSÁNÁL 201

**MOLNÁR Viktor**

A DÖNTÉSI TÉNYEZŐK KÖZÖTTI INTERAKCIÓ KEZELÉSÉNEK  
VIZSGÁLATA TÖBBTÉNYEZŐS DÖNTÉSI MÓDSZEREK ESETÉN 213

**MURÁNYI Klaudia**

A KRIPTOVALUTÁK MŰKÖDÉSI HÁTTERE 221

**MURVAY Csanád, RADNAY László**

OLDALIRÁNYÚ MEGTÁMASZTÁSOK MEREVSÉGÉNEK HATÁSA  
EGYSZERŰ TARTÓK KRITIKUS NYOMATÉKÁRA 226

**MUSINSZKI Zoltán**

A TÁMOGATÓ TEVÉKENYSÉGEK KÖLTSÉGFELOSZTÁSI PROBLÉMÁI 234

**NEMES Dániel, BODZÁS Sándor, GÉRESI Zoltán Gergő**

AUTOMATIZÁLT RETESZHORONY MEGMUNKÁLÁSI TECHNOLOGIÁK  
TERVEZÉSE 241

<b>PÁLINKÁS Sándor, FAZEKAS Lajos, GINDERT-KELE Ágnes, JÁSZAI Zoltán István, MOLNÁR András</b> MELEG FÉMPORSZÓRÁSSAL FELÜLETKEZELT KULTIVÁTOR KAPÁK VIZSGÁLATA TALAJMŰVELÉS UTÁN	<b>248</b>
<b>PREKOB Ádám, SÁNDOR Csaba, SIKORA Emőke, PEKKER Péter, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László</b> IPARI KOROM KOLLOIDKÉMIAI ÉS MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE	<b>252</b>
<b>RAVAI NAGY Sándor, SZIGETI Ferenc, VARGA Gyula</b> FELÜLETI ÉRDESSÉG VIZSGÁLATA IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSÁNÁL	<b>259</b>
<b>ROMÁN Krisztina, ROMÁN László</b> ÜVEGSZÁL ERŐSÍTÉSŰ PVC KOMPOZITOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSA	<b>268</b>
<b>ROMÁN Krisztina, ZSOLDOS Gabriella</b> PVC/KUKORICACSUTKA LISZT KOMPOZITOK TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA	<b>274</b>
<b>ROZGONYI Valentin, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla</b> A FAN-COIL ÉS A KLÍMAGERENDÁS RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	<b>280</b>
<b>RUGÓCZKY Péter, LASSÚ Gábor, LAKATOS János</b> WC-Co FELÜLETI RÉTEG VIZSGÁLATA SPEKTRÁL ANALITIKAI MÓDSZEREKKEL	<b>288</b>
<b>RUGÓCZKY Péter, MURÁNSZKY Gábor, LAKATOS János</b> GYÉMÁNT FELÜLETI RÉTEG LEVÁLASZTÁSÁT LEHETŐVÉ TEVŐ ELŐKÉSZÍTŐ MŰVELETEK WC-Co KOMPOZIT ANYAGOKON	<b>295</b>
<b>SÁNDOR Zoltán Barnabás, TAMÁSI Kinga, VANYOREK László</b> SZÉN NANOCŐVEKKEL ERŐSÍTETT POLIURETÁN NANOKOMPOZIT ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA	<b>302</b>

<b>SIKORA Emőke, PREKOB Ádám, VANYOREK László, MURÁNSZKY Gábor, BÁNHIDI Olivér, HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna, PEKKER Péter</b> KLOORÁTMENTESÍTÉSRE ALKALMAS HIDROGÉNEZŐ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE	<b>308</b>
<b>SOMLYAI-SIPOS László, BAUMLI Péter</b> AZ ÓN-NIKKEL FORRASZANYAG NEDVESÍTÉSVIZSGÁLATA RÉZ SZUBSZTRÁTON	<b>316</b>
<b>SÜVEGES Gábor Béla</b> HŐSZOLGÁLTATÓK KÖRNYEZETI ELEMZÉSE - TECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETI TÉNYEZŐK	<b>323</b>
<b>SZEGEDI Attila, KOVÁCS Zoltán</b> ÜZEMI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA POWERSHIFT NYOMATÉKVÁLTÓK TENGELYKAPCSOLÓINÁL	<b>330</b>
<b>SZÖLLŐSY Zsófia, BODÓ Béla</b> OFFSZET NYOMÓGÉPEK BELSŐ LÉGÁLLAPOTÁNAK BEFOLYÁSA A PAPIRRA	<b>338</b>
<b>TAMÁSI Kinga, SÁNDOR Zoltán Barnabás, ZSOLDOS Gabriella</b> SZÉN NANOCŐVEL ÉS IPARI KOROMMAL ERŐSÍTETT GUMIKEVERÉKEK TERMO-MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA	<b>344</b>
<b>TÓTH Lajos, ERDŐSY Dániel</b> ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA-GENERÁTOR DISZKRÉT ALKATRÉSZEKBŐL FELÉPÍTETT FUNKCIONÁLIS MODELLJÉNEK VIZSGÁLATA	<b>350</b>
<b>TRUZZSI Alexandra, BODNÁR Ildikó, VARGA József</b> NEONIKOTINOID NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK OXIDATÍV LEBONTÁSÁRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK	<b>358</b>
<b>TUMIK Ábel</b> SORBANÁLLÁSI MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA LEAN SZEMLELETBEN MŰKÖDŐ KÖZSZOLGÁLTATÓKNÁL	<b>366</b>

<b>TURAI Endre, NÁDASI Endre, SZILVÁSI Marcell</b> FELSZÍN ALATTI OBJEKTUMOK ÉS FÖLDTANI SZERKEZETEK KUTATÁSA GEOELEKTROMOS TOMOGRÁFIAVAL	<b>374</b>
<b>TURAI Endre, ILYÉS Csaba, SZŰCS Péter</b> MAGYARORSZÁGI CSAPADÉK ÉS TALAJVÍZSZINT ADATOK SPEKTRÁLIS ELEMZÉSE	<b>382</b>
<b>VÁNTUS András, HAGYMÁSSY Zoltán, CSATÁRI Nándor</b> A MŰSZAKI ELLÁTOTTSÁG FEJLESZTÉSE A TEJTERMELÉSBEN	<b>390</b>
<b>VARGA Gyula, FISER-NAGY ÁGNES</b> MESTERSÉGESEN KONSZOLIDÁLT KÖZETMAGOK PETROFIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK MÓDOSÍTÁSA KÜLÖNBÖZŐ ADALÉKANYAGOKKAL	<b>397</b>
<b>VARGA Zsolt</b> A MAGASSÁG MEGHATÁROZÁSÁNAK PROBLÉMÁJA A GEODÉZIÁBAN	<b>405</b>
<b>ZÁKÁNYI Balázs, SZŰCS Péter, TURAI Endre, VASS Péter, ILYÉS Csaba, MÓRICZ Ferenc</b> A GEOTERMIKUS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGI A BÜKK-ALJA TÉRSÉGBEN	<b>411</b>
<b>ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta, VARGA Gyula Gábor, JOBBIK Anita</b> HŐENERGIA KINYERÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI FELHAGYOTT CH KUTAK HASZNOSÍTÁSÁVAL	<b>417</b>
<b>ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta, VARGA Gyula Gábor, JUHÁSZNÉ SZALAI Adrienn, BÁRÁNY Sándor</b> BENTONITOK ZÉTA POTENCIÁL VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA SÓOLDATOK JELENLÉTÉBEN	<b>423</b>
<b>NEMES Csaba, LUBOMIR Javorek, BODZÁS Sándor, PÁLINKÁS Sándor</b> FORGÁCSOLÓ ERŐ HÁROM KOMPONENSÉNEK MÉRÉSE ESZTERGÁLÁSI FOLYAMAT SORÁN	<b>429</b>

**DEUTSCH Nikolett**

**LIGNIT ALAPÚ TISZTASZÉN TECHNOLÓGIÁK MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGI  
JELLEMZŐI**

**439**

**FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY**

**447**