

NEUMANN JÁNOS EGYETEM GAMF MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR



GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK, GYÁRTÁSINFORMATIKAI SZAKIRÁNY,  
NAPPALI TAGOZAT

HORVÁTH BÁLINT  
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA  
DOLGOZAT

Két, és- háromélű csigafűró összehasonlítása

Konzulensek:

Dr. Boza Pál, *főiskolai tanár*

Dr. Kovács Zsolt Ferenc, *egyetemi adjunktus*

Kecskemét, 2021

# Tartalomjegyzék

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Köszönetnyilvánítás.....                                                  | 2  |
| 1 Bevezetés .....                                                         | 3  |
| 2 Fúrószerszámok .....                                                    | 5  |
| 2.1 Fúrószerszám anyagok .....                                            | 5  |
| 2.2 Bevonatok .....                                                       | 5  |
| 2.3 Bevonatolási módszerek .....                                          | 8  |
| 2.4 Fúrószerszám típusok.....                                             | 9  |
| 2.4.1 Váltólapkás fúró .....                                              | 9  |
| 2.4.2 Cserélhető fejű fúró.....                                           | 10 |
| 2.4.3 Csiga-fúró .....                                                    | 11 |
| 2.5 Szerszám vibráció okozta furattorzulás.....                           | 13 |
| 2.5.1 Furatfal alakulása örvénylő rezgés közben .....                     | 13 |
| 2.5.2 Fúró geometriai hiba, kopás mértéke és a rezgés közötti összefüggés | 14 |
| 2.5.3 Rezgés viselkedése a forgácsolási paraméterek változtatásával ..... | 16 |
| 3 Anyagok megmunkálhatósága.....                                          | 18 |
| 3.1 40CrNiMo4 .....                                                       | 18 |
| 3.2 42CrMo4 .....                                                         | 20 |
| 3.3 C45.....                                                              | 22 |
| 4 Kísérletterv készítése .....                                            | 24 |
| 4.1 Fúráshoz használt szerszámok .....                                    | 24 |
| 4.2 Elkészült kísérletterv .....                                          | 25 |
| 5 Előkészületek.....                                                      | 27 |
| 5.1 Fúró program.....                                                     | 27 |
| 5.1.1 Fúró mozgásviszonya.....                                            | 27 |
| 5.1.2 Elkészült CNC program .....                                         | 28 |
| 5.2 Kísérlethez használt szerszámgép és erőmérő.....                      | 29 |
| 6 Furatok tulajdonságainak mérése.....                                    | 30 |
| 6.1 Fúrás során fellépő erő .....                                         | 30 |
| 6.1.1 Kétélű fúró esetén .....                                            | 30 |
| 6.1.2 Háromélű fúró esetén .....                                          | 32 |
| 6.2 Furatok hengerességi hibái .....                                      | 34 |
| 6.3 Furatok érdessége .....                                               | 40 |

|          |                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Kiértékelés .....</b>                      | <b>45</b> |
| 7.1      | Legkisebb elérhető felületi érdesség .....    | 45        |
| 7.1.1    | Kétélű fúróval készült furatok esetén.....    | 45        |
| 7.1.2    | Háromélű fúróval készült furatok esetén ..... | 47        |
| 7.2      | Legkisebb elérhető hengerességi hiba .....    | 49        |
| 7.2.1    | Kétélű fúróval készült furatok esetén.....    | 49        |
| 7.2.2    | Háromélű fúróval készült furatok esetén ..... | 50        |
| <b>8</b> | <b>Gazdasági számítás .....</b>               | <b>51</b> |
| <b>9</b> | <b>Összegzés.....</b>                         | <b>53</b> |
|          | <b>Tovább lépési lehetőségek .....</b>        | <b>54</b> |
|          | <b>Irodalomjegyzék .....</b>                  | <b>55</b> |

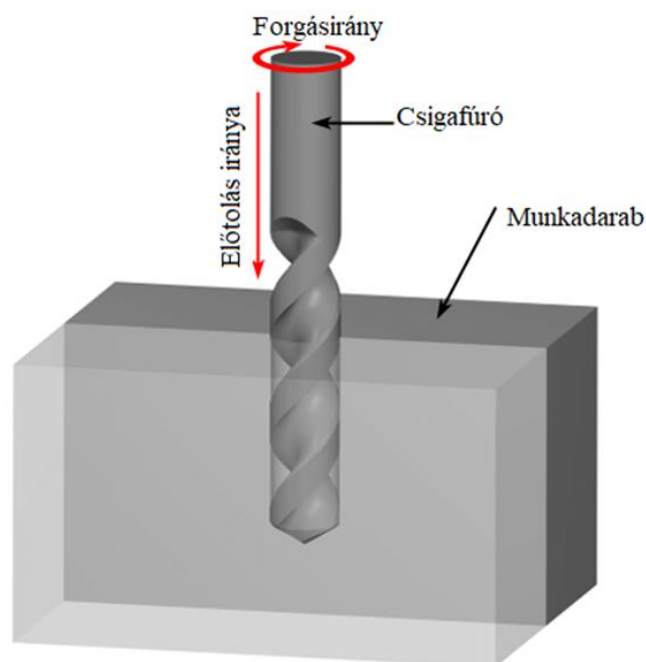
## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani a TaeguTec vállalatnak a kísérlethez TDK dolgozatban használt fúrók biztosításához, HILTI szerszám kft-nek, akik alapanyaggal szolgáltak a kísérlethez, Sándor Roland tanszéki mérnöknek a furatokon végzett mérések segítségével, és mindazon tanszéken dolgozó mérnököknek, akik segítették a munkámat.

## 1 Bevezetés

A fűrés olyan forgácsolási eljárás, munkafolyamat, amikor tömör anyagba furatot, illetve más belső forgásfelületet készítünk. A hagyományos acélanyagok fűrésakor számos ajánlás található a szerszám geometriájával és a vágási paraméterekkel kapcsolatban, amelyek mind fontos szerepet játszanak ennek a folyamatnak a javításában [1-4].

A szabályos élgeometriájú, egy vagy többélű szerszám folyamatosan, állandó forgácsolókeresztmetszettel választ le, miközben  $n_s$  fordulatszámmal forog, és  $v_f$  előtolósebességgel halad a szerszám tengelyének irányában (1.ábra). A forgácsolósebesség ( $v_c$ ) a fűrés külső átmérőjén a legnagyobb, és a középpont felé haladva nullára csökken [5].



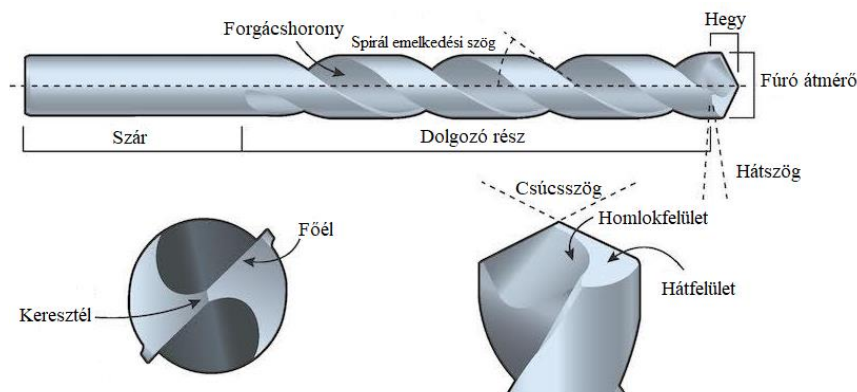
1.ábra – Mozgásviszonyok fűrés közben [6]

Gépalkatrészekben furatok igen nagy számban fordulnak elő és sokszor átmeneti jellegűek, azaz eredeti formában nem maradnak véglegesen az alkatrészen (pl. menetfűréskor maglyuk készülnek). Tömör munkadarabba legtöbbször hengeres furatokat készítenek, de ún. kombinált szerszámmal alakos furatok is kialakíthatók. Előfordul, hogy egyszerű fűrészerszámmal (csigafűréssel) már előfűrészt bővítenek.

Manapság is a leggyakrabban használt fűrészerszám a csigafűrés (2.ábra), amit 0,05...75 mm átmérőtartományban készítenek gyorsacélból vagy keményfémből [5].

A fűrés műveletre gyakran a gyártási folyamat végén kerül sor, amikor már a korábbi műveletek megnövelték az alkatrész értékét. Bár látszólag egyszerű, a fűrés

alkalmazás egy összetett művelet, amely jelentős következményekkel járhat, ha a szerszám meghibásodik vagy a kapacitásán túl üzemeltetik.



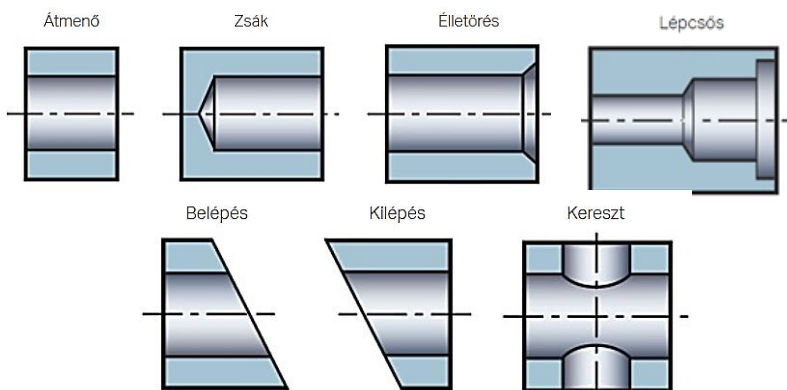
2.ábra – csigafúró részei [6]

A behatoláshoz, a fúrószerszámnak az anyagban történő előrehaladásához állandó előtoló erőre van szüksége. Ahogy a fúrószerszám halad előre, a munkadarabról folyamatosan válik le anyag. A leválasztott anyagot forgácsnak nevezik. A két mozgás (forgó, és az egyenes vonalú haladómozgás) összehangolása szükséges a folyamatos forgácsleválasztáshoz [7].

A fúráskor három alapvető szempontot kell figyelembe venni:

- furatátmérő,
- furatmélység és
- furatminőség.

A furat típusa és a szükséges pontosság is hatással van a szerszámválasztásra. A fúrást befolyásolja a szabálytalan vagy ferde belépő/kilépő felület és keresztfuratok. Átmenő furat készítésekor a tömör munkadarabon a fúró teljesen átmegy és kifut belőle. Zsákfurat készítésekor a tömör munkadarabba behatol a fúró egy megadott mélységig, de nem fut ki belőle (3.ábra) [7-8].



3.ábra Különböző furattípusok [8]

## 2 Fúrószerszámok

Annak érdekében, hogy különböző anyagminőségekben kielégítő furatot készítsünk, fontos az adott anyaghoz tartozó fúrószerszám rendeltetésszerű használata és megfelelő élgeometriájának kiképzése [9].

### 2.1 Fúrószerszám anyagok

A fúrószerszám élettartamát nagy mértékben befolyásolja az anyag, amelyből készül és a rá felvitt bevonat. Ezek meghatározzák, hogy a fúró milyen teljesítménnyel forgácsolhat és mekkora erőnek tehető ki [10].

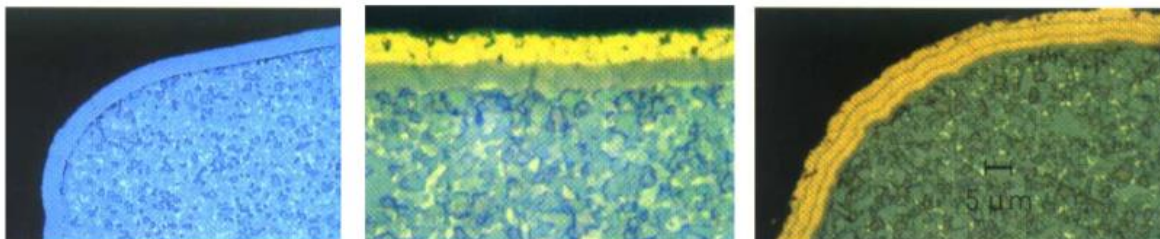
Anyagok fúrószerszám gyártásához [9-10]:

- szénacél,
- gyorsacél (HSS),
- kobaltacél,
- szerszámacél keménycél hegytel és
- keménycél.

### 2.2 Bevonatok

A bevonat a szerszám felületére néhány mikron vastagságban felvitt kemény anyagréteg. A bevonatokat általában a hordozó felület tulajdonságainak javítására használják, hogy annak tulajdonságát megváltoztassák [11]. Ezenkívül védelmet nyújtanak korróziót előidéző ionok felszabadulásának minimalizálásáért [12-14], növelik a keménységet, csökkentik a súrlódást és a kopás sebességét [15]

A bevonat keménysége gyorsacél szerszámoknál általában az alapanyag keménységének 3-4-szerese, keménycélknél az eleve keményebb alapanyag végett 2-3-szorosa. Fontos jellemzője a bevonatnak a magas hőállóság és a kis súrlódási tényező [17].



4.ábra. Egy-, két- és háromrétegű bevonat mikroszkópi képe [22]

A bevonat feladatai [16-22]:

- a **súrlódás csökkentése** a homlokfelületen -a éltartam növelése érdekében- és hátfelületen -forgács távozásának megkönnyítése érdekében-,
- **hőszigetelés**, hogy a forgácsolásnál keletkező hő nagy része ne tudjon a szerszámba jutni, hanem a forgáccsal távozzon és
- a **kopásállóság növelése**, amit a bevonat nagy keménysége biztosít.

Leggyakrabban használt bevonatok [16-22]:

- Titánnitrid (TiN)
- Titánkarbid (TiC)
- Kerámia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Titánkarbonitrid (TiCN)

A bevonatok jellemzőit az 1.táblázat foglalja össze:

1. táblázat Bevonatok jellemzői [22]

| Jellemző tulajdonság                        | TiN     | Ti2N  | TiCN            | TiAlN      | AlTiN     | TiAlCN          | CrN      |
|---------------------------------------------|---------|-------|-----------------|------------|-----------|-----------------|----------|
| Rétegképződési hőfok, °C                    | <500    |       | <500            | 270-350    |           |                 | <200     |
| Hőállóság, °C                               | 600     | 600   | 400             | 700-800    | 800       | 500             | 700      |
| Rétegszerkezet                              | egy     | egy   | több            | egy        |           |                 |          |
| Rétegszám                                   | 1       |       | 1..7            | 1, 2       |           |                 |          |
| Bevonat színe                               | arany   | ezüst | kékesszürke     | viola      | fekete    | bordó           | fémezüst |
| Vastagság µm                                | 1-7     | 1-3   | 1-4             | 1-4        | 1-4       | 1-4             | 1-4      |
| Keménység, HV                               | 2400    | 2500  | 3200-3700       | 2800-3500  | 3800      | 2800            | 1800     |
| Súrlódási tényező                           | 0,55    | 0,45  | 0,2             | 0,5-0,6    | 0,7       | 0,25            | 0,3      |
| Újrabevonatolhatóság                        | HSS+nél |       | nincs           | igen       |           |                 |          |
| Megmunkálható anyag                         | műanyag |       |                 | Ti, Al, Ni | acélok,   |                 |          |
| Abrázív kopási ellenállás                   | ++      |       | acél, öntöttvas | ötvözetek  | ötvözetek | acél, öntöttvas | réz      |
| Adhéziós kopási ellenállás                  | ++      |       | +++             | +++        |           |                 | ++       |
| Diffúziós kopási ellenállás                 | ++      |       | ++              | ++         |           |                 | ++       |
| Korrózióvédelem                             | +       |       | +               | +++        |           |                 | ++       |
| Megjegyzés: +: Megfelelő ++: Jó +++: Kiváló |         |       |                 |            |           |                 |          |

## 2.3 Bevonatolási módszerek

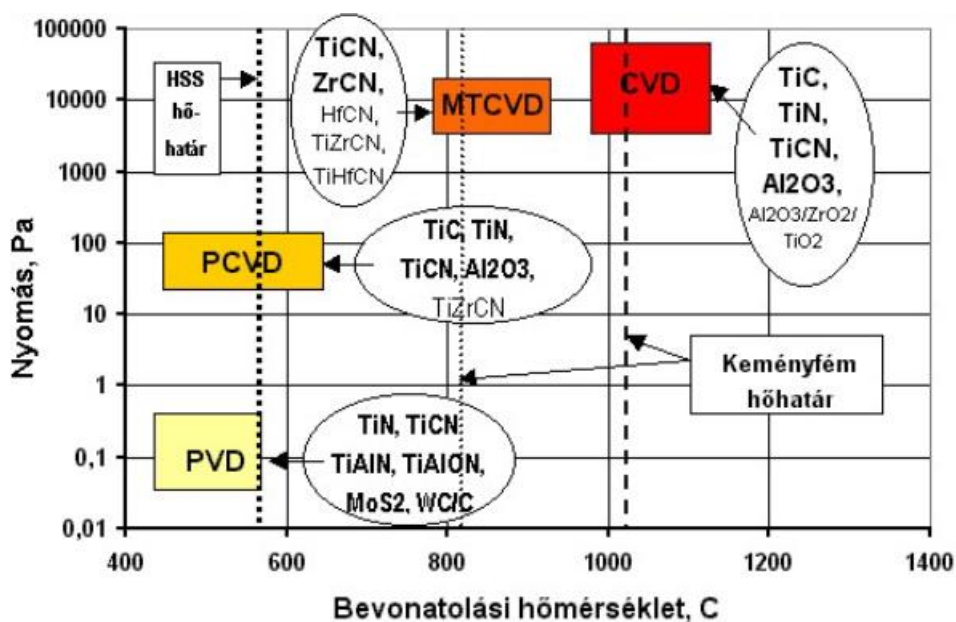
A felületbevonási eljárások segítségével a szerszám felületére vékony ( $0,5\text{ }\mu\text{m}$ - $100\text{ }\mu\text{m}$ ) réteget visznek fel a felületi tulajdonságok pozitív irányban történő megváltoztatása érdekében.

A különféle módszerek közül itt csak a vákuumtechnikai bevonatkészítést ismertetem. Ha vákuumban fémeket elgőzöltetünk, a fém kicsapódik az adott térben elhelyezett tárgyak felületére, a kamra falára és ott vékony réteget képezve megtapad. Egyszerű gőzöléssel nem kapunk olyan kemény, ellenálló, jól tapadó réteget, amely a forgácsoláskor fellépő mechanikai és termikus igénybevételeknek ellenállna.

A kemény ellenálló rétegek készítésére alkalmazott eljárások a [16-22]:

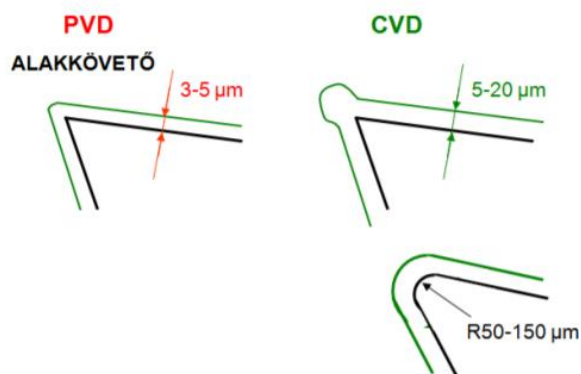
- Kémiai vákuumgőzölés (CVD Chemical Vapour Deposition) és
- Fizikai vákuumgőzölés (PVD Physical Vapour Deposition).

A legfontosabb alkalmazott rétegek és rétegfelviteli eljárások sajátosságait a 4. ábra foglalja össze.



5. ábra. Különböző bevonatolási módszerek összehasonlítása [22]

A PVD bevonatok vastagsága  $3\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$  és követik a bevonandó szerszám alakját, míg, a CVD-bevonat  $5\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$  vastag és hajlamos az élen való „kibunkósodás”-ra, ennek elkerülése végett az éleket le kell kerekíteni  $50\text{--}150\text{ }\mu\text{m}$ -re (6. ábra) [21, 23-25].



6.ábra. Fúró él kialakítása PVD és CVD esetén [23]

## 2.4 Fúrószerszám típusok

„A fúró olyan forgácsoló szerszám, melynek vágó élhossza megegyezik a fúrandó lyuk sugarával, vagy ha két él nyeri alkalmazást, úgy a lyuk átmérőjével” [22]. Mai napig a legelterjedtebb megmunkálási művelet, és számos gyártási eljárásnál ennek van a legmagasabb költsége. Ezért már szinte kihívássá vált, hogy hogyan tudjuk kiválasztani fúráshoz a legmegfelelőbb szerszámot, és a hozzá tartozó forgácsolási paramétereket, melyekkel elérhető a legalacsonyabb megmunkálási költség, tehát a legmagasabb profitot eredményezi [24-25].

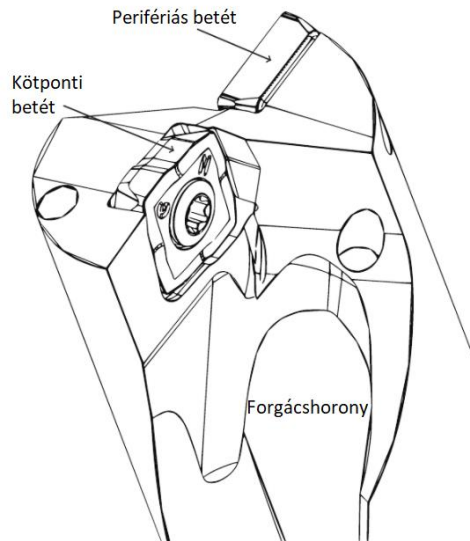
Fémipartban a következő fúró típusokat alkalmazzák [26,27]:

- keménymetál csigafúró,
- váltólapkás fúró,
- cserélhető fejű fúró,
- furattágítók és
- ágyúfúrók.

### 2.4.1 Váltólapkás fúró

Ezen típusú fúróknál a fúró egy alaptestből áll, melyen lapkafészkek vannak kialakítva a váltólapkák számára, melyeket általában csavarral rögzítenek (8.ábra). Általánosságban a furat átmérője megegyezik a fúró átmérőjével [28], de egyes szerszámoknál a fúrás végeztével a szerszám furatkésként használható, így az elkészült furat azzal tovább bővíthető.

A lapkák cserélhetősége miatt javul a megmunkálás gazdaságossága. A betétek a fúrótesthez képest tartósabb anyagból készülnek és legtöbb esetben több vágóéllal rendelkeznek, így elhasználódáskor forgathatóak [29].



8.ábra. Váltólapkás fúró felépítése [29]

#### 2.4.2 Cserélhető fejű fúró

A hagyományosan használt forgácsolószerszám anyagokat egyre inkább felváltják különböző típusú anyagokkal, melyek lényegesen nagyobb kopásállósággal rendelkeznek. Nagyobb méretű fúróknál viszont, hogy teljes egészében ilyen anyagból készítsük el a fúrót túl drága lenne, és hiába lenne jó a teljesítménye, nem lenne gazdaságos. Megoldás erre a problémára a cserélhető fejű fúró, melynél a hegy készül kopásálló anyagból, mely hozzá van rögzítve a hordozószerszámhoz, ami rosszabb/olcsóbb anyagból készíthető [30].

A fej vagy csavaros kivitelű, vagy forrasztott (9.ábra).



9.ábra. Cserélhető fejű fúró [31]

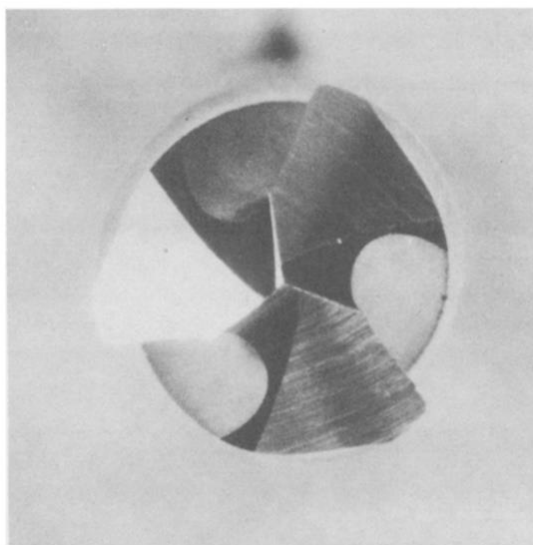
### 2.4.3 Csigafúró

A csigafúró mai napig a legnépszerűbb és gyakran az egyetlen olyan szerszám, mellyel furatot tudunk készíteni. Ezek a hagyományos fúrók nagy százalékban megtalálhatóak karbantartó részlegektől kezdve az otthoni barkácsműhelyig.

A közelmúltban számos kutatást folytattak a fúróanyagokról, a felület bevonásáról, a fúró geometriájának kialakításáról [32-33], a vágási erőkről [34-37] és a szerszám élettartamáról [38] a fúrási teljesítmény javítása érdekében.

Jellegzetességük, hogy két fő vágóéllel rendelkeznek.

Hátrányuk, hogy az ilyen típusú fúrók használata után a furat bekezdésén a vibráció miatt furattorzulás alakul ki. Nagypontosságú furatok készítésére fejlesztették ki a háromélű csigafúrót, melyeknél a forgácshornok, mint a forgácsoló élek szimmetrikusan  $120^\circ$ -os szögben helyezkednek el (10.ábra) [39].

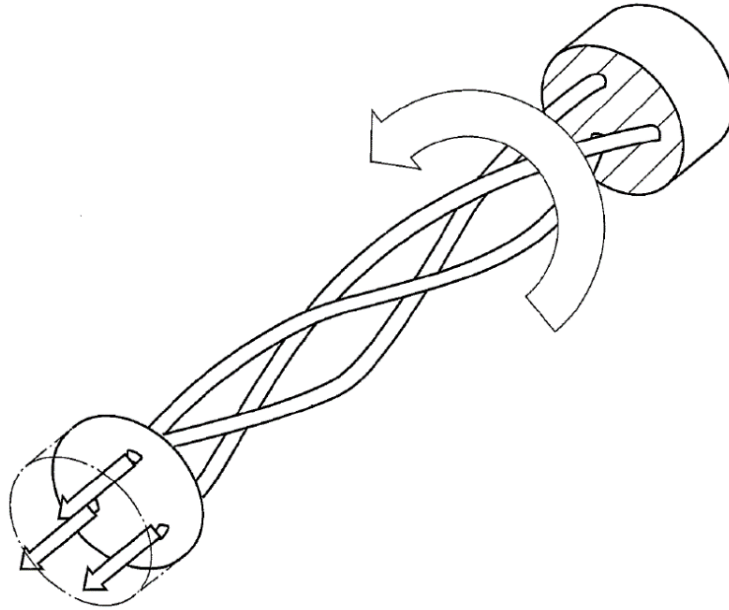


10.ábra. Háromélű csigafúró felülnézet [39]

A mérnöki ipar állandóan azon gondolkodik, hogy hogyan tudja növelni a termelékenységet a minőség romlása nélkül. Fúrásnál a termelékenységet a forgácsolósebesség növelésével lehet elérni. A megnövelt forgácsolósebesség szebb felületet eredményez mivel a karcokból adódó sorja képződés csökken. Azonban a megnövelt forgácsolósebességgel a szerszám kopása drasztikusan növekszik a fúráskor keletkezett hőmérséklet miatt.

Forgácsolás közben a vágóél területén a forgács és a szerszám közötti súrlódásból adódó hő viszonylag kicsi, mert a forgács sebessége és a forgácsolási nyomaték alacsony. A nyírási sík hőmérséklete azonban a szerszám széle felé haladva nagyobb és ezt a hőt a forgácson keresztül a szerszám felveszi [40].

Ahhoz, hogy ezt csökkentsék hűtőfolyadékot szállítanak a forgácsolás közvetlen közelébe az erre kialakított furatokon keresztül (11. ábra) [41].



11.ábra Hűtőfolyadék csatorna kialakítása [42]

Ha növeljük a hűtőfolyadék mennyiségét a vágóél közelében a forgácstörési képesség növekszik és segíti a forgács eltávozását a furatból, illetve csökken a vágóél és környékének felmelegedése is, s így a fúró élettartama növekszik [42].

## 2.5 Szerszám vibráció okozta furattorzulás

Számos tanulmány készült a fúrás közben fellépő örvénylő vibráció hatásairól [43-44].

Fúrás közbeni a szerszám beremegése a furat méret és alakhibájához vezet (12.ábra), mely a termelés során elfogadhatatlan. Ahhoz, hogy ezen javítani tudjunk, meg kell érteni a rezgéseket okozó mechanizmusokat [45].

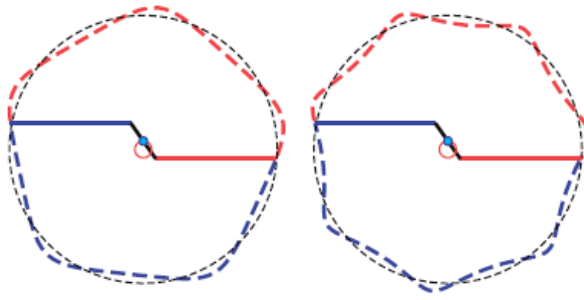


12.ábra. Örvénylő rezgés okozta furattorzulás [45]

Az örvénylő vibráció okozta furattorzulás már a furatkészítés kezdeti szakaszában megjelenik, és a furatmélység növekedésével fejlődik. A vibráció miatt a fúró csúcsa elhajlik, és elliptikus pályán kezd el mozogni, s így kialakul a furattorzulás [45-47]. H. Fujii és kutatótársai kísérletekkel bebizonyították, hogy a hátszalag vibráció közben hozzáér a furat falához, így rezgéscsillapítóként működik [47].

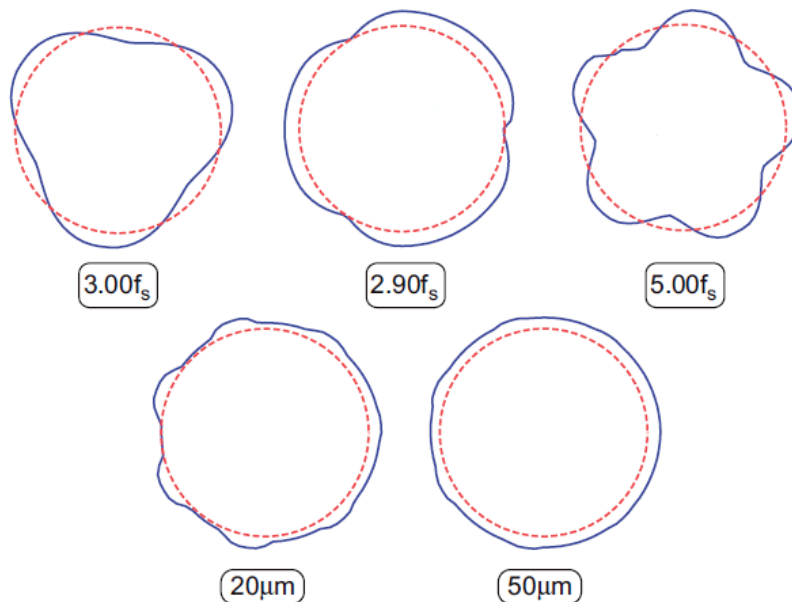
### 2.5.1 Furatfal alakulása örvénylő rezgés közben

Mivel örvénylő vibráció közben a fúró középpontja ellipszis pályán mozog, így a furat fala nem követi le a fúró geometriáját. Jochem és Yusuf kutatása során megvizsgálták a furat falának alakulását miközben a fúró örvénylő rezgésnek volt kitéve. A 13.ábra mutatja a vágóél nyomát fúrás közben. Ahogyan az látszik az ábrán, a furat geometriája sokszögű, és így az örvénylő vibráció miatt a fúró ismételt forgácsolhat a korábban kialakított felületből.



13. ábra. Vágóél nyomvonal a fúrás közben [45]

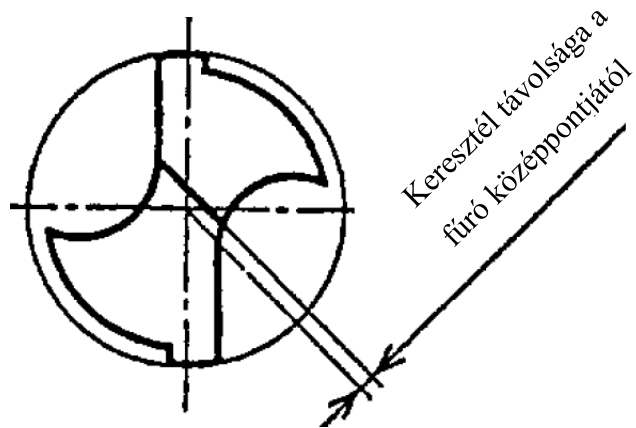
Kutatásuk alatt megállapították, hogy ha a vibráció frekvenciája páratlan egész szám, akkor a furat bekezdő részén sokszögű furatgeometria alakul ki. Minél magasabb a frekvencia és páros számra jön ki, a furatgeometria annál jobban kör alakú lesz (14.ábra) [45,49].



14.ábra. furatgeometria a frekvencia függvényében [45]

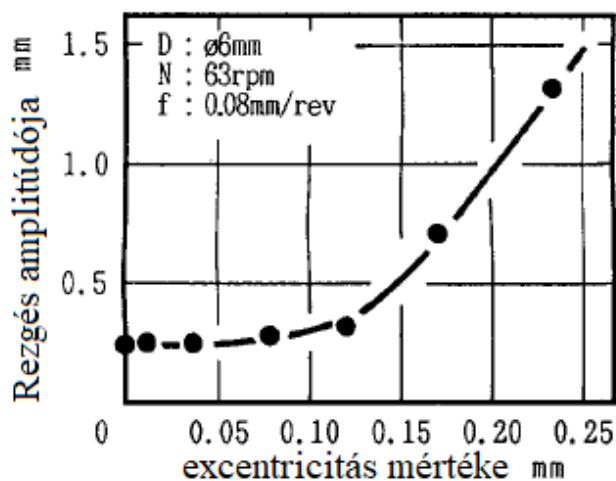
## 2.5.2 Fúró geometriai hiba, kopás mértéke és a rezgés közötti összefüggés

Ha a fúró geometriai hibájából adódó rezgéskeltést szeretnénk vizsgálni, akkor a fúró keresztlétét kell szemügyre venni. M. Kato és kutatótársai vizsgálták azt az esetet amikor a keresztél nem a fúró középpontjában helyezkedik el, hanem aszimmetrikus. Ilyenkor a kétélű fúró vágóéleinek hossza különböző (15.ábra), ebből adódóan a két vágóélre ható erő is különböző lesz.



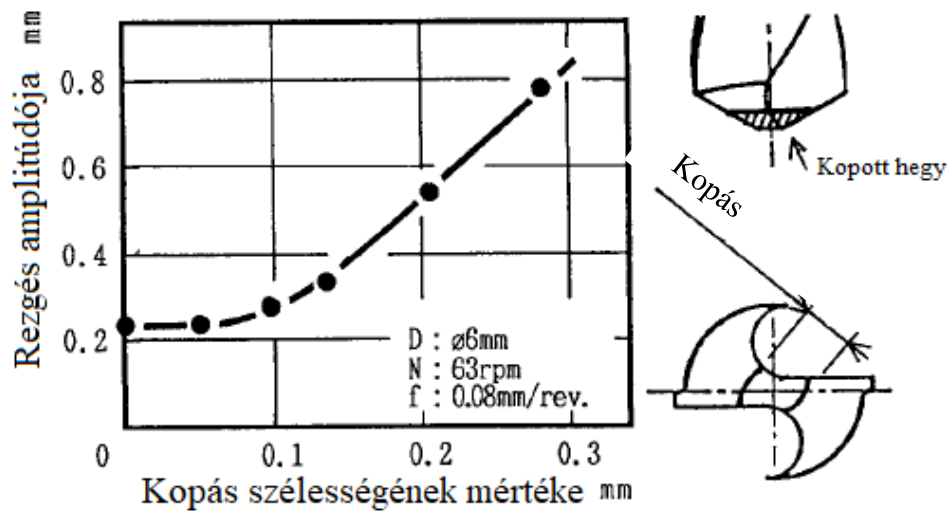
15.ábra. Fúró aszimmetrikus keresztéllal [48]

Minél nagyobb a keresztél távolsága a fúró középpontjától, annál nagyobb lesz az örvénylő rezgés hatása (16.ábra). A két vágóél hosszának különbségéből adódó erőkülönbségek hatására keresztirányú erő is létrejön, minek hatására a fúró meghajlik és a furat falához ütközik.



16.ábra. Összefüggés az excentricitás és a rezgés amplitúdó között [48]

Az örvénylő rezgés a fúró kopásából is adódhat. Bár a fúrókopásból adódó furattorzulás kicsi, mégsem szabad elhanyagolni. A 17.ábra mutatja az összefüggést a kopottság és a rezgés amplitúdója között. Jól látható, hogy a rezgés amplitúdója jelentős mértékben megugrik 0,1 mm kopottság után [48].

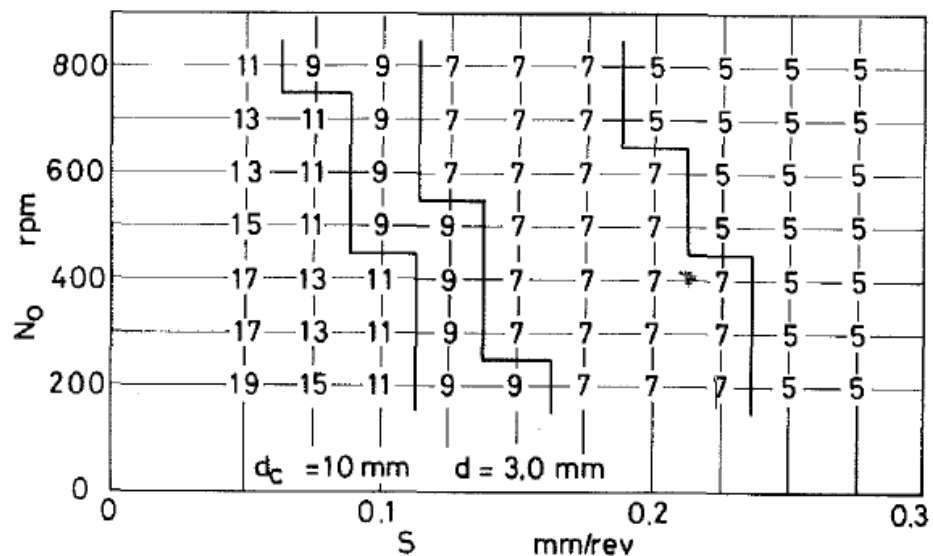


17.ábra. összefüggés a kopás szélessége és a rezgés amplitúdója között [48]

### 2.5.3 Rezgés viselkedése a forgácsolási paraméterek változtatásával

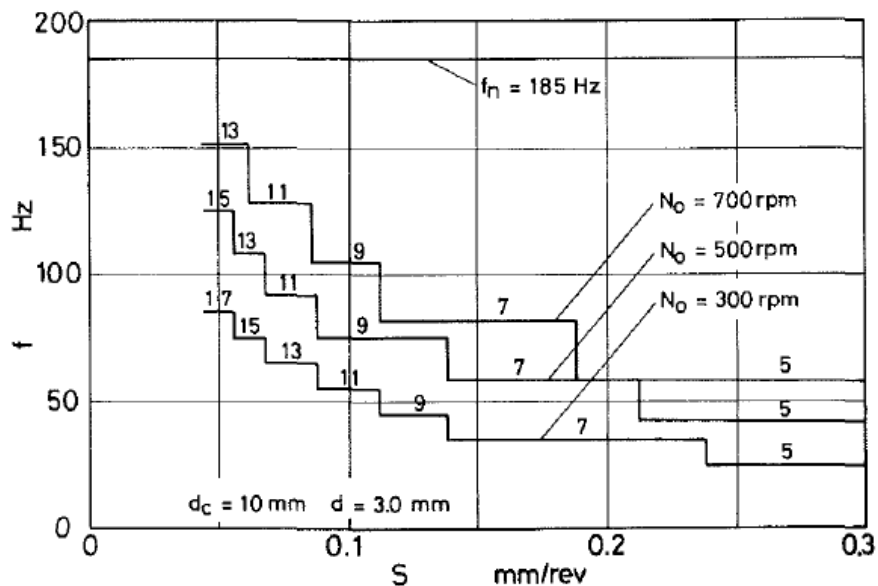
Az örvénylő rezgés okozta furattorzulás minden forgácsolási paraméternél más. Annak érdekében, hogy a furattorzulás mértékét csökkentsük, ismernünk kell, hogyan viselkedik a rezgés különböző paraméterek mellett. S. Ema és kutatókollégái ezt vizsgálták.

Kutatásuk során összefüggést kerestek a forgácsolási paraméterek (fordulatszám és fogásvétel) és a vibráció száma között. A 18. ábra mutatja az eredményüket, melyben jól látszik, hogy ha minél magasabb a fordulatszám és nagyobb a fogásvétel annál kisebb a vibrációs szám és annál kevesebb sokszögű furatot hoz létre a fúró.



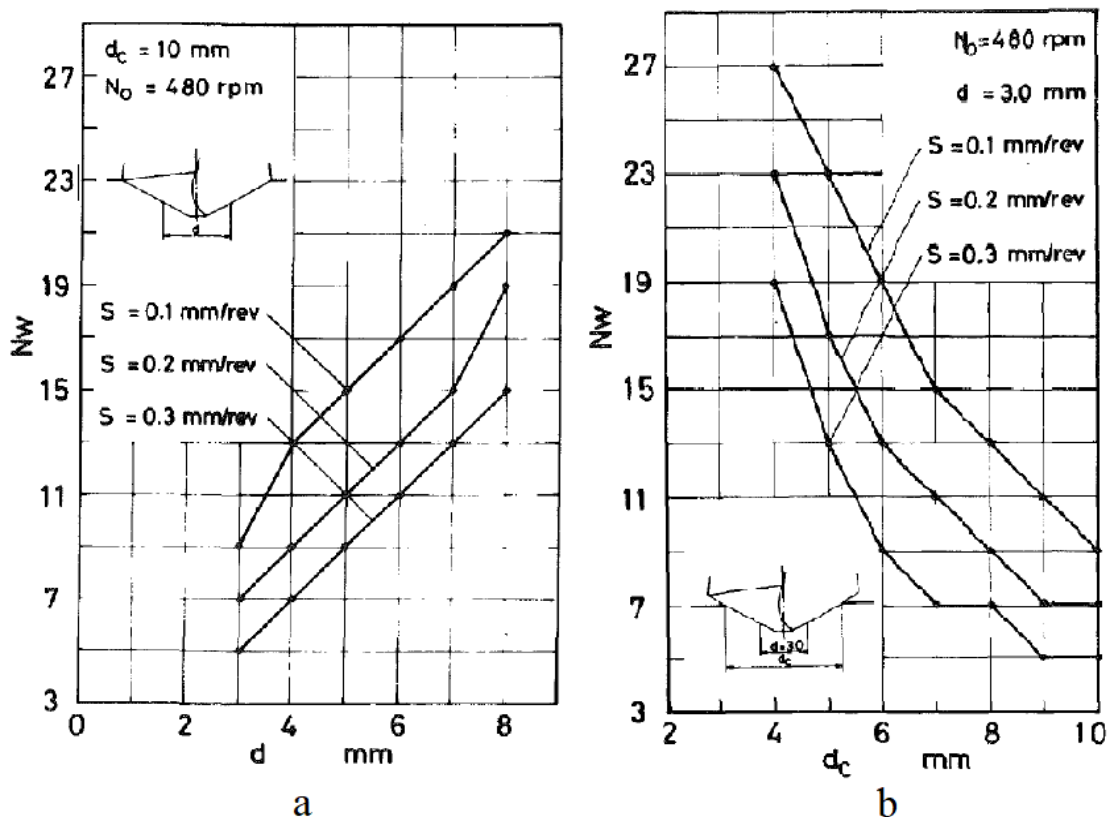
18.ábra. Összefüggés a rezgés száma és a forgácsolási paraméterek között [49]

Felállítottak egy másik összefüggést a fogásvétel és a rezgés frekvenciájára. Ezen eredményüket a 19.ábra szemlélteti, melyen jól látható, hogy minél nagyobb a vibráció száma vagy nagyobb a fordulatszám, annál nagyobb a rezgés frekvenciája.



19.ábra. Összefüggés a forgácsolási paraméterek a rezgés frekvenciája között [49]

Azért, hogy a fúró meglegyen vezetve, előfúrást szoktak alkalmazni, de az örvénylő rezgés ekkor is megjelenik. A 20.ábrán látható két diagram közül az „a” szemlélteti az előfúrt furat átmérője és a vibrációs szám közti összefüggést, míg a „b” diagram a forgácsolási átmérő és a vibrációs szám közötti összefüggést.



20.ábra. vibrációs szám, előfúrt furat átmérője (a) és a forgácsolási átmérő (b) közti összefüggés [49]

Jól látható, hogy minél nagyobb az előfúrt furat átmérője, annál nagyobb a rezgési szám. Viszont a rezgési szám csökken a forgácsoló átmérő növekedésével. Az örvénylő vibrációnak ez a tendenciája egybeesik azzal a jelenséggel, hogy a vibrációs szám csökken a lyuk mélységének növekedésével [49].

### 3 Anyagok megmunkálhatósága

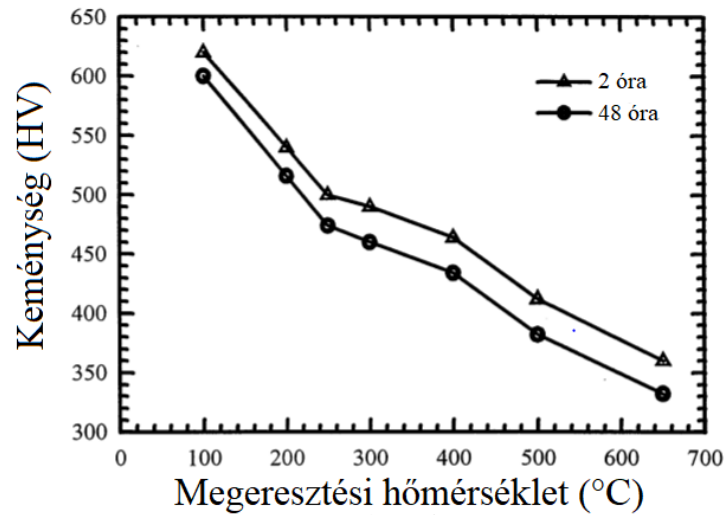
#### 3.1 40CrNiMo4

A 40CrNiMo4 acél alacsony ötvözetű nemesíthető acél. Kémiai összetételét az alábbi táblázat foglalja össze:

2.táblázat – 40CrNiMo4 vegyi összetétele [50]

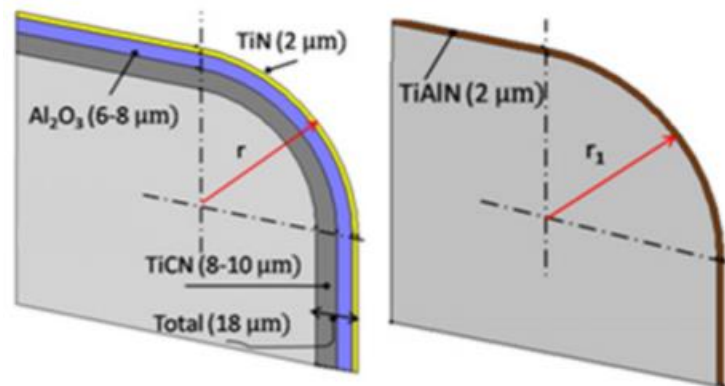
| Ötvözők | C    | Si   | Mn   | Ni   | Cr   | Mo   | P     | S     |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Wt (%)  | 0,39 | 0,24 | 0,61 | 1,46 | 0,67 | 0,17 | 0,021 | 0,006 |

A 40CrNiMo4 acél mechanikai tulajdonságai meglehetősen érzékenyek a hőkezelési hőmérsékletre. A megfelelő mechanikai tulajdonságokat hőkezeléssel lehet beállítani, azaz edzéssel, majd megeresztéssel (22.ábra) [50].



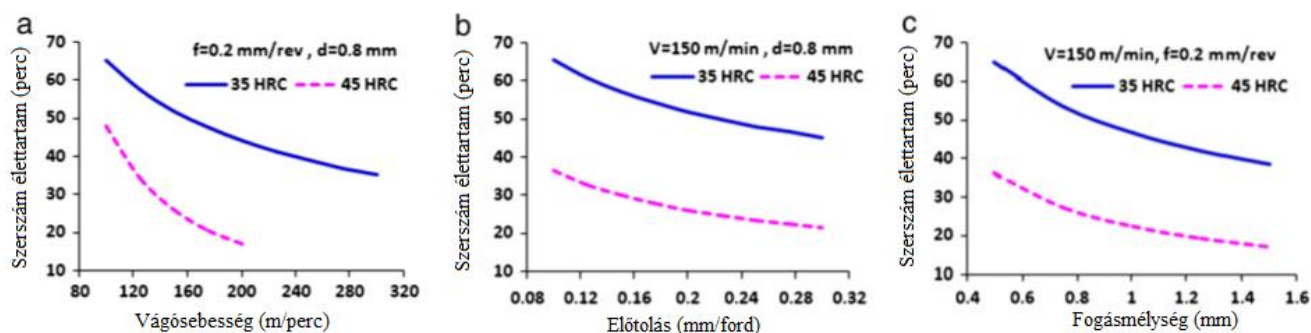
22.ábra. Keménység értéke a megeresztési hőmérséklet és idő függvényében [49]

Satish Chinchani és kutatótársa S.K. Choudhury vizsgálták a 40CrNiMo4 acél megmunkálhatóságát három különböző keménységi fokozatban, két különböző szerszámmal. A két szerszám különböző bevonatokkal volt ellátva: egyrétegű TiAlN, és többrétegű TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN (23.ábra).



23.ábra. Bevonatok vastagsága [51]

Kutatásuk során megvizsgálták a szerszámelettartamot. Az eredményeik az alábbi diagramok szemléltetik:



24.ábra. Szerszám élettartam a vágósebesség (a), előtolás (b) és fogásmélység (c) függvényében [51].

A 24.ábrán látható diagramok közül jól látható, hogy a szerszám élettartamot az előtolás és fogásmélység értéke befolyásolja legjobban.

Kutatásaik eredményeként elmondható, hogy a 40CrNiMo4 acél lágyabb állapotban jobban megmunkálható PVD szerszámmal, de az acél edzett állapotában már CVD bevonatú szerszám ajánlott, de az 55HRC vagy magasabb keménységű anyagot nem lehet mindig sikeresen megmunkálni.

A forgács formáját erősen befolyásolja a munkadarab keménysége, és az előtolás értéke. Alacsony előtolás esetén a nem nagy keménységű anyagnál spirális, illetve csőszerű forgács keletkezik.

A vizsgált szerszámok (PVD és CVD bevonatúak) jobb teljesítményt produkáltak kisebb anyagkeménység esetén, ha a vágósebesség kisebb volt mint 300 m/perc [51].

### 3.2 42CrMo4

A 42CrMo4 acél nagy szilárdságú nemesíthető acélt általában nagy edzett és temperált keresztmetszetű kovácsművekben használják [52-54], mivel szilárdsága, kopás- és ütésállítása, szívóssága, edzhetősége kiváló [55, 56]. Kémiai összetételét az alábbi táblázat foglalja össze:

3.táblázat – 42CrMo4 vegyi összetétele [57]

| Ötvözők | C             | Si≤  | Mn            | Cr            | Mo            | P≤    | S≤    |
|---------|---------------|------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|
| Wt (%)  | 0,38-<br>0,45 | 0,40 | 0,60-<br>0,90 | 0,90-<br>1,20 | 0,15-<br>0,30 | 0,025 | 0,035 |

A 42CrMo4 acél megmunkálhatóságát Jun Zhao és kutatótársai vizsgálták különböző anyagból készült forgácsolószerszámmal melyekben 5 különböző lapkát helyeztek: Ti (C, N) bázisú cermet, kerámia, és keménység.

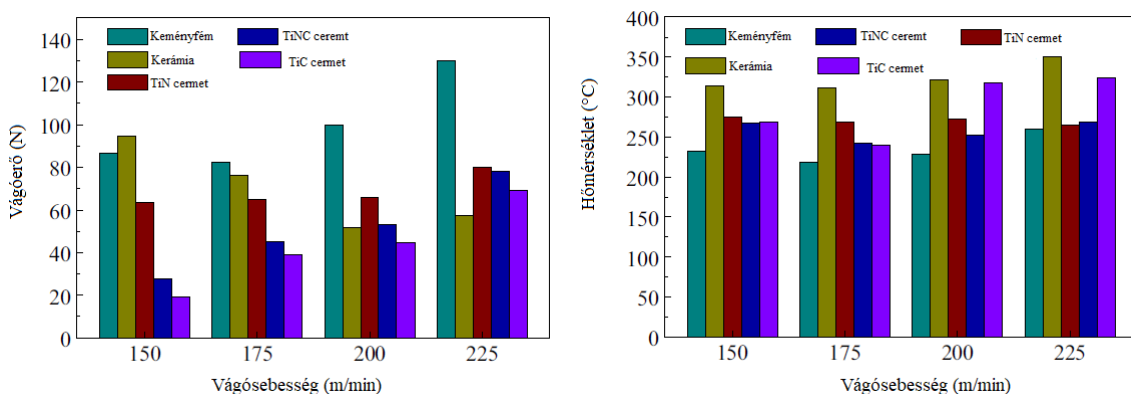
A szerszámok geometriája az alábbi táblázat foglalja össze

4.táblázat – Szerszámok geometriai paraméterei [58]

| Hátszög<br>( $\alpha_0$ ) | Terelőszög<br>( $\lambda_s$ ) | Főél<br>elhejezési<br>szög ( $\kappa_r$ ) | Homlokszög<br>kerámia<br>szerszámnál<br>( $\gamma_0$ ) | Homlokszög<br>többi<br>szerszámnál<br>( $\gamma_0$ ) | Csúcssugár<br>( $r_\epsilon$ ) |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 6°                        | -6°                           | 75°                                       | 0,78                                                   | 7°-10°                                               | 0,8mm                          |

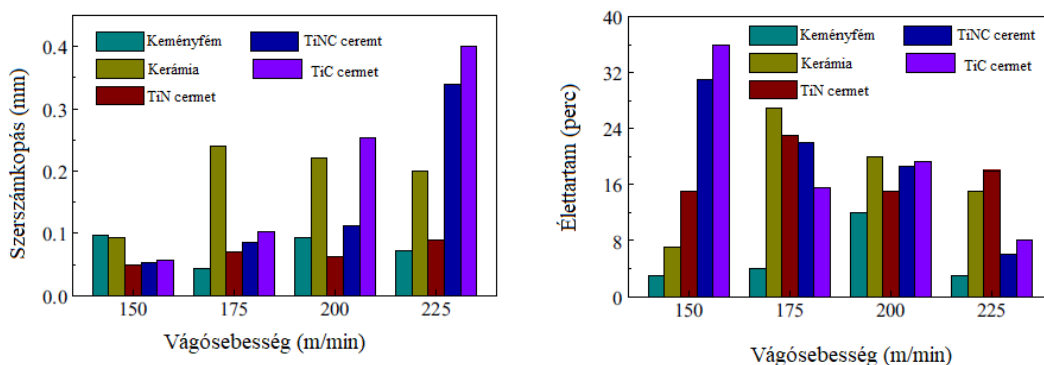
Kutatásaik során megvizsgálták, hogy forgácsolás közben milyen erő, hőmérséklet lép fel, illetve szerszámoknak a kopását és az élettartamát is megfigyelték.

Az eredményeik a következők lettek:



25.ábra – vágóerő és hőmérséklet különböző vágósebességnél [58]

Ahogy a 25.ábrán látható diagramokból jól látható a kerámia szerszámnak volt a legmagasabb forgácsolási hőmérséklete, de ezzel arányosan magasabb vágósebességnél a legalacsonyabb forgácsolási erőt eredményezte. A keményfém pedig a legnagyobb vágóerőt eredményezte a kísérletben.



26.ábra – szerszámkopás és élettartam különböző vágósebességnél [58]

A 26. ábrán látható két diagramon jól kivehető, hogy a cermet szerszámok alacsony vágósebességnél nagy élettartamot és ezzel együtt kis kopást eredményeznek. De magasabb vágósebességnél már egyes típusoktól jobb a kerámia szerszám.

Kutatásuk eredményeként és a diagramok kértékelése alapján elmondható, hogy a kerámia szerszám egy megfelelő választás, ha a szerszámélettartamot vesszük figyelembe. A cermet szerszámok pedig egy bizonyos vágósebességig használhatók gazdaságosan [58].

### 3.3 C45

A C45-ös acél közepes széntartalmú, nemesíthető és edzhető szénacél. A megmunkálás, illetve forgácsolás után hőkezelésre kiválóan alkalmas [59-60].

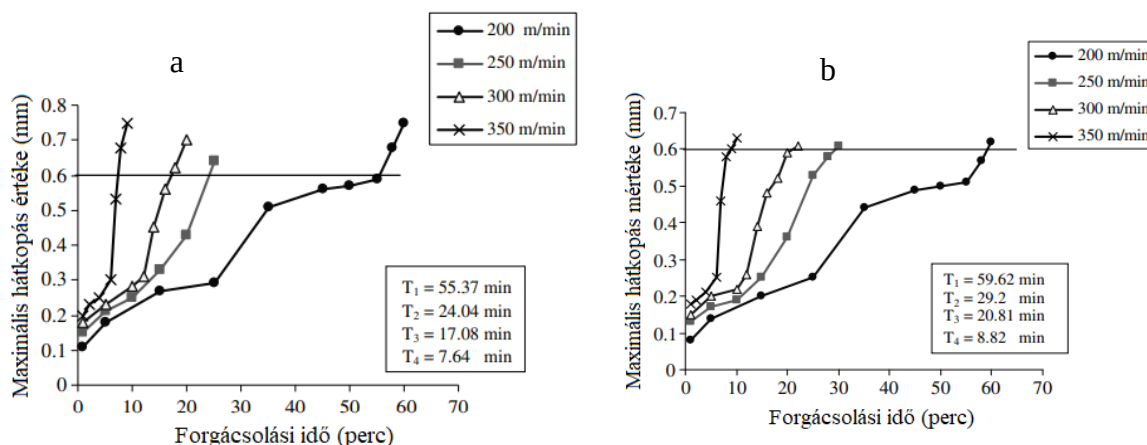
Kémiai összetételét a következő táblázat foglalja össze [59]:

5. táblázat: C45 acél kémiai összetétele

| Ötvözők | C            | Si≤  | Mn            | Cr  | Mo≤ | P≤    | S≤    | Ni≤ |
|---------|--------------|------|---------------|-----|-----|-------|-------|-----|
| Wt (%)  | 0,42-<br>0,5 | 0,40 | 0,50-<br>0,80 | 0,4 | 0,1 | 0,045 | 0,045 | 0,4 |

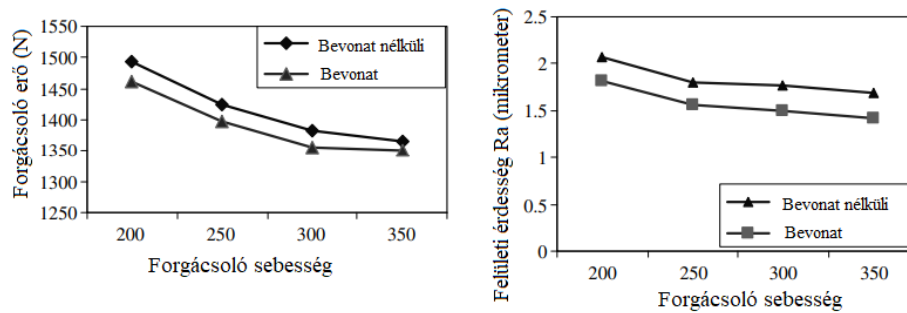
A C45 acél megmunkálhatóságát vizsgálta T. Sornakumar és kutatótársai bevont és bevonat nélküli wolframkarbid forgácsolószerszámmal. Kutatásuk során megvizsgálták a szerszámok kopását, a megmunkált felület érdességét, és a forgácsolóerőt.

Az eredményeiket az alábbi ábrák szemléltetik.



27. ábra – Kopás értéke a megmunkálási idő függvényében bevonat nélküli (a) és bevont (b) szerszámnál [61]

A 27. ábrából látszik, hogy a bevont szerszám minden forgácsolási paraméter mellett több időt tudott forgácsolni



28.ábra – Forgácsoló erő és felületi érdesség a forgácsoló sebesség függvényében [61]

A 28. ábrán látható diagramokból látható, hogy a bevont szerszámmal jobb felületi érdességet értek el, mindazonáltal kisebb forgácsoló erő ébredt a megmunkálás közben.

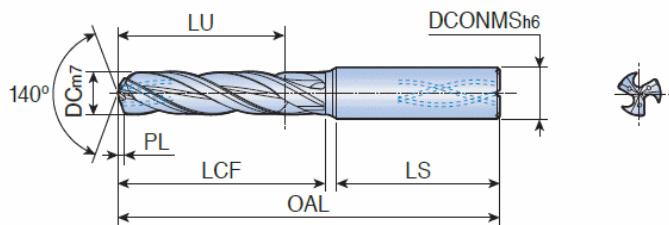
Összefoglalva, a C45 acél munkadarab megmunkálhatósága jobb a bevont betétekkel történő megmunkálásnál, mint a bevonatlan betétekkel történő megmunkálásnál [61].

## 4 Kísérletterv készítése

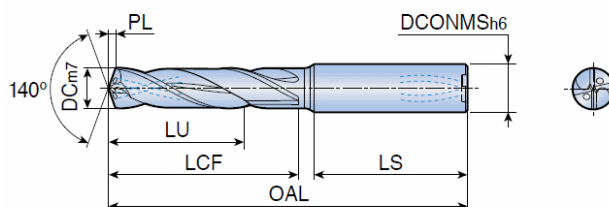
### 4.1 Fúráshoz használt szerszámok

A kísérletben alkalmazott két bevonatolt keményfém fúró típusai a következők [62]:

- Háromélű fúró: TaeguTec SOLID3DRILL 3HD-100-035-10 PI3 (27.ábra)
- Kétélű fúró: Taegutec HDRILL NHD- 100-035-10 PI3 (28. ábra)



27.ábra – A kísérlethez használt háromélű fúró [62]



28.ábra – A kísérlethez használt kétélű fúró [62]

A fúrók részletes adatait a 6. táblázatban vannak összefoglalva.

6.táblázat – Fúrók geometriai paraméterei [62]

| Szerszám paraméterek (mm) |               | Háromélű fúró | Kétélű fúró |
|---------------------------|---------------|---------------|-------------|
| Forgácsolási átmérő (m7)  | <i>Dc</i>     | 10            | 10          |
| Szár átmérő (h6)          | <i>DCONMS</i> | 10            | 10          |
| Teljes hossz              | <i>OAL</i>    | 89            | 89          |
| Forgácsolóél hossza       | <i>LU</i>     | 35            | 35          |
| Hasznosítható hossz       | <i>LCF</i>    | 48            | 48          |
| Szár hossz                | <i>LS</i>     | 40            | 40          |
| Hegy magasság             | <i>PL</i>     | 1,85          | 1,6         |

Ahogy az a 6. táblázatból látszik, a két fúró csak a hegyük magasságában különbözik. Ez az érték azért fontos, mert az optimalizált ciklusban ezt az értéket kell figyelembe venni, hogy milyen mélységig fúrjunk a szerszámmal csökkentett előtolással.

## 4.2 Elkészült kísérletterv

A fúrási kísérleteket a Taguchi kísérlettervezési módszerrel terveztem, mert azokat a rendelkezésre álló erőforrások (alapanyag, idő és szerszámgép kihasználtság) korlátozott mennyisége végett viszonylag alacsony számú kísérlettel kellett elvégezni. A fúrás technológiai faktorai és azok szintjei a 7.táblázatban láthatóak.

A 7.táblázatban szereplő B faktor, az „Előtolás százalékos értéke be, - és kilépéskor” alatt az értendő, hogy a fúrót az aktuálisan programozott előtolás értékének azon százalékára csökkentjük, ami az aktuális kísérlethez szükséges. Ezt a csökkentett előtolást addig van használatban, amíg a fúró teljes keresztmetszetében fogásban nem lépett, illetve, mikor kezd kilépni az anyagból.

7.táblázat – Fúrási faktorok és szintjei

| Faktorok |                                                    | Szintek           |    |     |
|----------|----------------------------------------------------|-------------------|----|-----|
|          |                                                    | 1                 | 2  | 3   |
| A        | Fogankénti előtolás $f_z$ (mm/fog)                 | Lásd 7.1 táblázat |    |     |
| B        | Előtolás százalékos értéke be, - és kilépéskor (%) | 30                | 65 | 100 |
| C        | Forgácsolósebesség $v_c$ (m/min)                   | 50                | 70 | 90  |

Mindkét fúróra ugyanaz a kísérletterv volt alkalmazva, az eltérés csupán a fogankénti előtolás  $f_z$  (A faktor) értékében volt, ezek értékei láthatóak a 7.1 táblázatban.

7.1.táblázat – Eltérő fogantkénti előtolás értékek a két fúrótípusra

| Fúró típus | A-1 (mm/fog) | A-2 (mm/fog) | A-3 (mm/fog) |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| Háromélű   | 0,13         | 0,165        | 0,2          |
| Kétélű     | 0,2          | 0,25         | 0,3          |

A technológiai adatok meghatározását követően a Minitab 17® statisztikai szoftverben készítettem L9 (3<sup>3</sup>) típusú kísérlettervet. A 9 darab kísérletnél alkalmazandó technológiai paramétereket Taguchi-féle kísérlettervezési módszer alapján készült ortogonális táblázatok tartalmazzák (8. és 9.táblázat).

8.táblázat: Háromélű fúróra alkalmazott kísérletterv

| Kísérlet száma | Faktorok           |         |                   |
|----------------|--------------------|---------|-------------------|
|                | A – $f_z$ (mm/fog) | B – (%) | C – $v_c$ (m/min) |
| 1              | 0,130              | 30      | 50                |
| 2              | 0,130              | 65      | 70                |
| 3              | 0,130              | 100     | 90                |
| 4              | 0,165              | 30      | 70                |
| 5              | 0,165              | 65      | 90                |
| 6              | 0,165              | 100     | 50                |
| 7              | 0,200              | 30      | 90                |
| 8              | 0,200              | 65      | 50                |
| 9              | 0,200              | 100     | 70                |

9.táblázat – kétélű fúróra alkalmazott kísérletterv

| Kísérlet száma | Faktorok           |         |                   |
|----------------|--------------------|---------|-------------------|
|                | A – $f_z$ (mm/fog) | B – (%) | C – $v_c$ (m/min) |
| 1              | 0,2                | 30      | 50                |
| 2              | 0,2                | 65      | 70                |
| 3              | 0,2                | 100     | 90                |
| 4              | 0,25               | 30      | 70                |
| 5              | 0,25               | 65      | 90                |
| 6              | 0,25               | 100     | 50                |
| 7              | 0,3                | 30      | 90                |
| 8              | 0,3                | 65      | 50                |
| 9              | 0,3                | 100     | 70                |

A kísérletek során mértem a furatok köralakpontosságát a csökkentett, - és a teljes előtolási értéken dolgozó szakaszon, az Rz felületi érdességet, illetve a  $F_z$  tengely irányú erőt (előtoló erő).

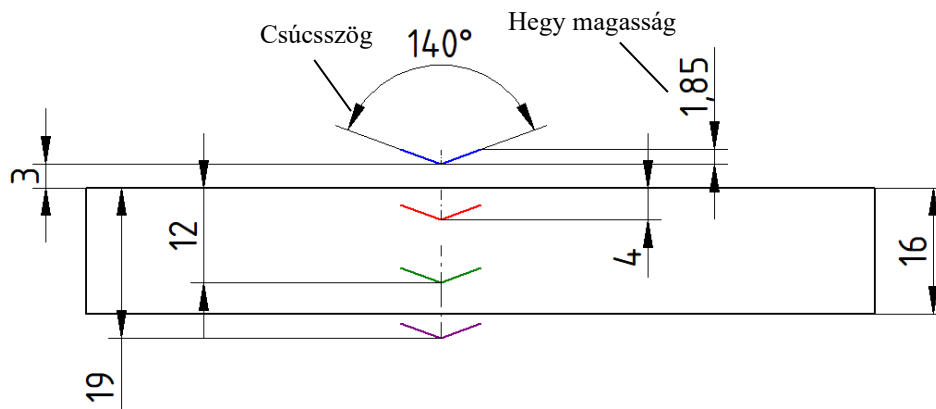
## 5 Előkészületek

Az előző fejezetben ismertetett kísérlettervek alapján a kísérleteket még nem tudjuk elvégezni, hiszen számos előkészületet kell még tennünk. A kísérletekhez szükséges szerszámgépet és környezetét fel kell készíteni (készülékezni) a feladathoz, továbbá CNC programokat is meg kell írni a fúrási stratégiához.

### 5.1 Fúró program

#### 5.1.1 Fúró mozgásvizonya

Az optimalizált CNC program a 7. táblázatban szereplő B faktorra, azaz a „Előtolás százalékos értéke be, - és kilépéskor” -ra épül. Ezen faktor értékei a fúró tengelyirányú mozgását szabályozza, melyet a 29.ábra szemléltet. Látható, hogy a fúró három különböző mozgási szakaszt tesz meg egy fúrási művelet alatt.



29.ábra. Fúró mozgásvizonya fúrás közben

Az ábra szereplő mozgási szakaszok:

1. A fúró pozícionál a munkadarab felszíne fölé 3mm-ert (kék szín)
2. A fúró csökkentett előtolással lép fogásba, amíg teljes keresztmetszetben nem lesz az anyagban (piros szín)
3. A fúró teljes előtolási értékkel fúr (zöld szín)
4. A fúró csökkentett előtolással fúr, amíg teljes keresztmetszetben ki nem lépt az anyagból (lila szín)

### 5.1.2 Elkészült CNC program

Az előző alfejezetben szereplő fúró mozgásvizonyát parametrikus CNC programmal lehet végrehajtani. A parametrikus programozás nagy rugalmasságot ad, és segítségével a forgácsolási paraméteket is tudjuk változtatni bármikor a program során. Az elkészített programot a 30. ábra mutatja három felé bontva.

|                                                       |                          |                     |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| %O0001 (TDK FÓRÚ MONDAT)                              | T1 (D10-es fúró)         | #501=50             |
| #501=50 (vágósebesség)                                | G43 H1 Z50               | #502=0.13           |
| #502=0.13 (előtolósebesség [mm/fog])                  | G90 G54 G95 G0 X0 Y0     | #503=#503+0.35      |
| #503=0.30 (százalékos előtolás)                       | N15 WHILE[#502LE0.2] DO1 | #504=#502*#503      |
| #504=#502*#503 (előtolás százalékos csökkentése)      | G0 X#505 Y#506           | #505=-13            |
| #505=-13 (X koordináta)                               | S#508 M3 M8              | #506=#506-13        |
| #506=13 (Y koordináta)                                | G0 Z5                    | #507=10*3.14        |
| #507=10*3.14 (átmérő szorozva pi)                     | G1 Z-4 F#511             | #508=1000*#501/#507 |
| #508=1000*#501/#507 (fordulatszám)                    | G1 Z-12 F#510            | #509=3              |
| #509=3 (élek száma)                                   | G1 Z-19 F#511            | #510=#502*#509      |
| #510=#502*#509 (fordulatonkénti előtolás)             | G0 Z10                   | #511=#510*#503      |
| #511=#510*#503 (csökkentett fordulatonkénti előtolás) | #501=#501+20             | IF #503 LE 1 GOTO15 |
|                                                       | #502=#502+0.035          | GOTO25              |
|                                                       | #504=#502*#503           | N25 G0 Z100         |
|                                                       | #505=#505+13             | M30                 |
|                                                       | #507=10*3.14             |                     |
|                                                       | #508=1000*#501/#507      |                     |
|                                                       | #509=3                   |                     |
|                                                       | #510=#502*#509           |                     |
|                                                       | #511=#510*#503           |                     |
|                                                       | END1                     |                     |

30.ábra. Parametrikus CNC program

A parametrikus CNC programozás egyik szabálya szerint a változókat a program elején kell megadni. Ahogy látszik a programban globális változók szerepelnek, és egymásból is vannak származtatva értékek, melyek fellettek használva.

A program második harmadában a szerszámdefiniálás mellett a belső ciklus látható, mely a 15-ös mondattól kezdődik. Ebben a ciklusban történik három furat fúrása, melyeknél mindig azonos a százalékos előtolás csökkentése, de a vágósebesség és a fordulatonkénti előtolás értéke változik.

Az utolsó harmadban a paraméterek visszaállításra kerülnek, csak a B faktornak megfelelő csökkentési érték kerül felülírásra. A feltételes elágazás azt vizsgálja, hogy a százalékos csökkentés kisebb-e egynél, és addig ugrik vissza a 15-s mondatra, amíg az nem éri el a megadott értéket. Ezáltal a kilenc furat automatikusan legyártásra kerül a kísérletterv szerinti paraméterekkel.

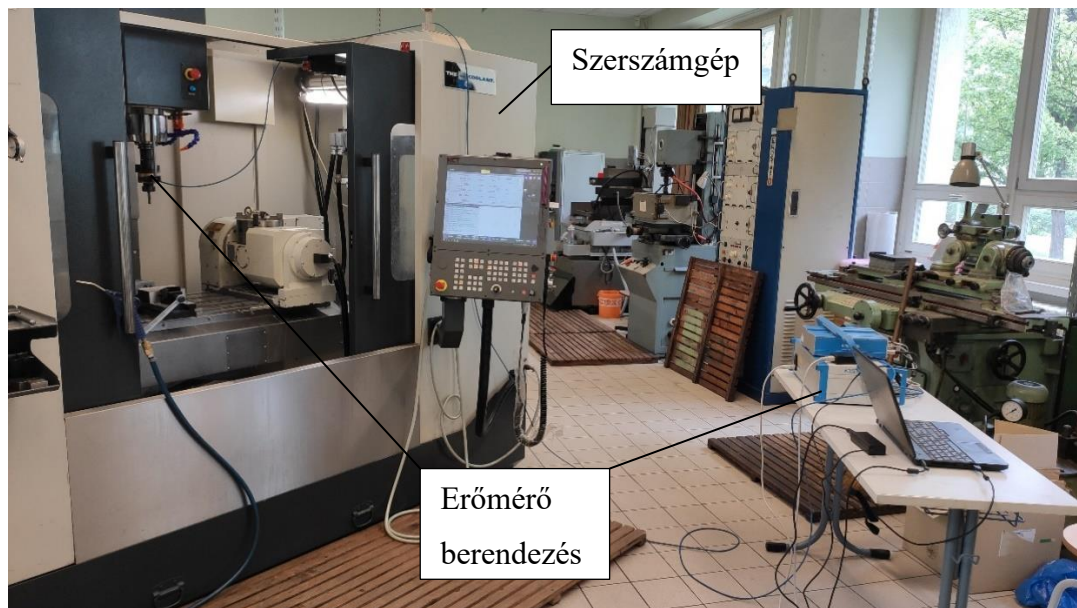
## 5.2 Kísérlethez használt szerszámgép és erőmérő

A kísérletek elvégzéséhez a Neumann János Egyetem Gyártástechnológia Kutatócsoport műhelyében lévő NCT EmL-850D 5AX típusú megmunkáló központ lett használva. A szerszámgép paramétereit a 10. táblázat tartalmazza.

10.táblázat - NCT EmL-850D 5AX paramétereit [63]

| Főorsó paramétereit                        |                |
|--------------------------------------------|----------------|
| Főorsó kúp                                 | SK40           |
| Fordulatszám (min <sup>-1</sup> )          | 12000          |
| Teljesítmény (kW)                          | 15,9           |
| Nyomaték (Nm)                              | 79,91          |
| Főorsó középpontja az oszlop síkjától (mm) | 614            |
| Előtolás                                   |                |
| Gyorsmenet X/Y/Z (m/min)                   | 36/36/24       |
| Előtolás (m/min)                           | 36/36/24       |
| Automata szerszámcserélő                   |                |
| Szerszámok száma                           | 24             |
| Maximális szerszámtérő (mm)                | 100            |
| Maximális szerszámhossz (mm)               | 300            |
| Maximális szerszámtömeg (kg)               | 6              |
| Pontosság                                  |                |
| Beállítási pontosság (mm)                  | ±0,008         |
| Ismétlési pontosság (mm)                   | ±0,003         |
| Felbontás (mm)                             | ±0,0005        |
| Gép fő méreteit                            |                |
| Gép tömeg (kg)                             | 5000           |
| Gép fő méreteit (HxSzxM) (mm)              | 2800x2500x2600 |
| Teljesítményigény (kVA)                    | 15             |

A mérésekhez KISTLER 9125A24A2 típusú forgó erő- és nyomatékmérőt használtam. A mért adatokat DynoWare® 2825A1-2 szoftver segítségével gyűjtöttem össze, melyeket Origin 2018® szoftverben értékeltem ki.



31.ábra. A kísérlethez felkészített munkaállomás

## 6 Furatok tulajdonságainak mérése

### 6.1 Fúrás során fellépő erő

A fúrási folyamat során ébredő erőkomponensek közül ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) én az axiális irányú erő ( $F_z$  – főorsó tengelyével párhuzamos hatásvonalú) nagyságát, és annak változását vizsgáltam. A kísérletek elvégzése során természetesen mind a három előzőleg említett erőkomponens mérésre került és a forgó erő és nyomatékmérő gyűjtötte ezeket az adatokat, de mivel az  $F_z$  kivételével lényeges információval nem szolgálnak ezért a továbbiakban nem foglalkoztam ezen értékekkel.

A fúrási kísérlet során az erő adatokat a DynoWare® 2825A1-2 szoftver gyűjtötte össze, és általa exportáltam ki olyan fájlformátumba, melyet fel tudtam használni, hogy Origin 2018 szoftverrel az adatokat ábrázolni tudhassam.

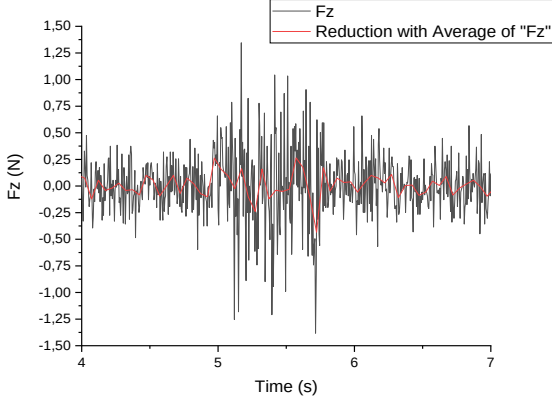
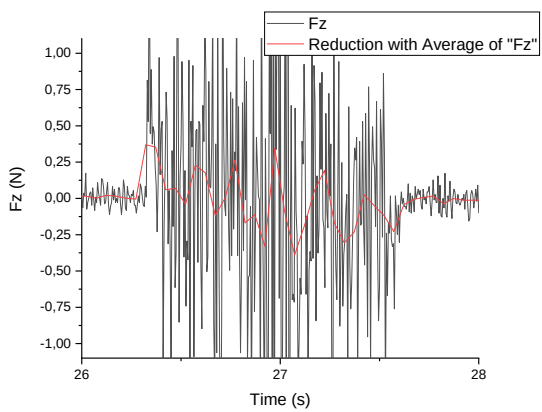
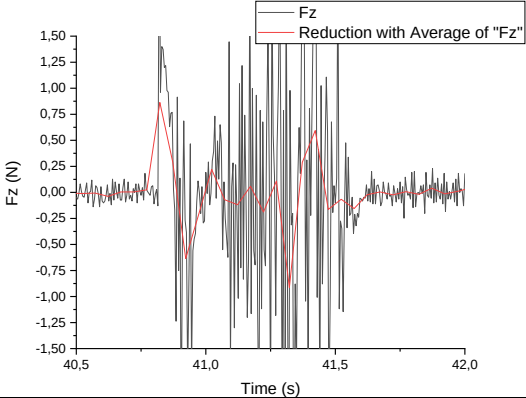
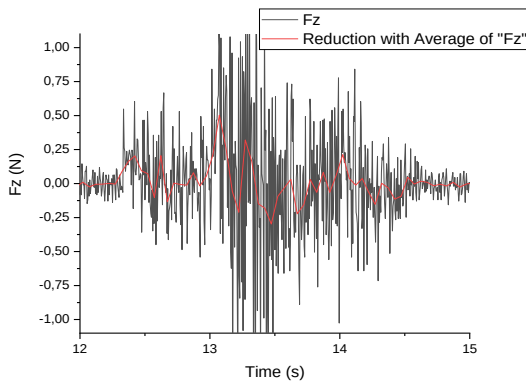
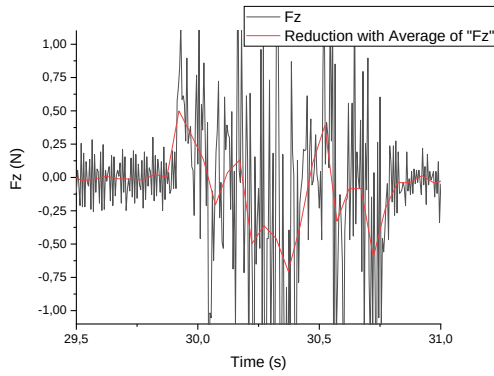
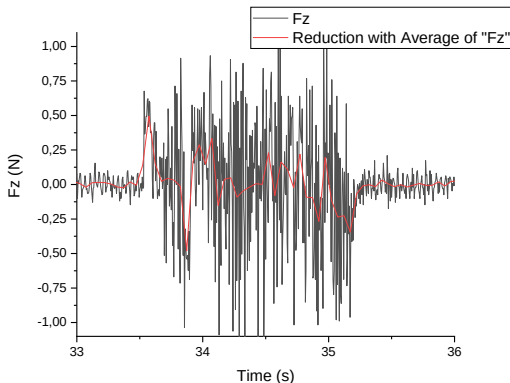
Az első megjelenítése az erőértékeknek egy szűretlen erőjel volt, mely tartalmazott minden zavaró hatást. Ennek eredményeképpen természetesen nem valós adatokat vettünk volna figyelembe abban az esetben, ha a nyers, szűretlen erő jelet elemeznénk, ezért az erőjeleket minden esetben szűrtük és ehhez Fourier-transzformációt alkalmaztam.

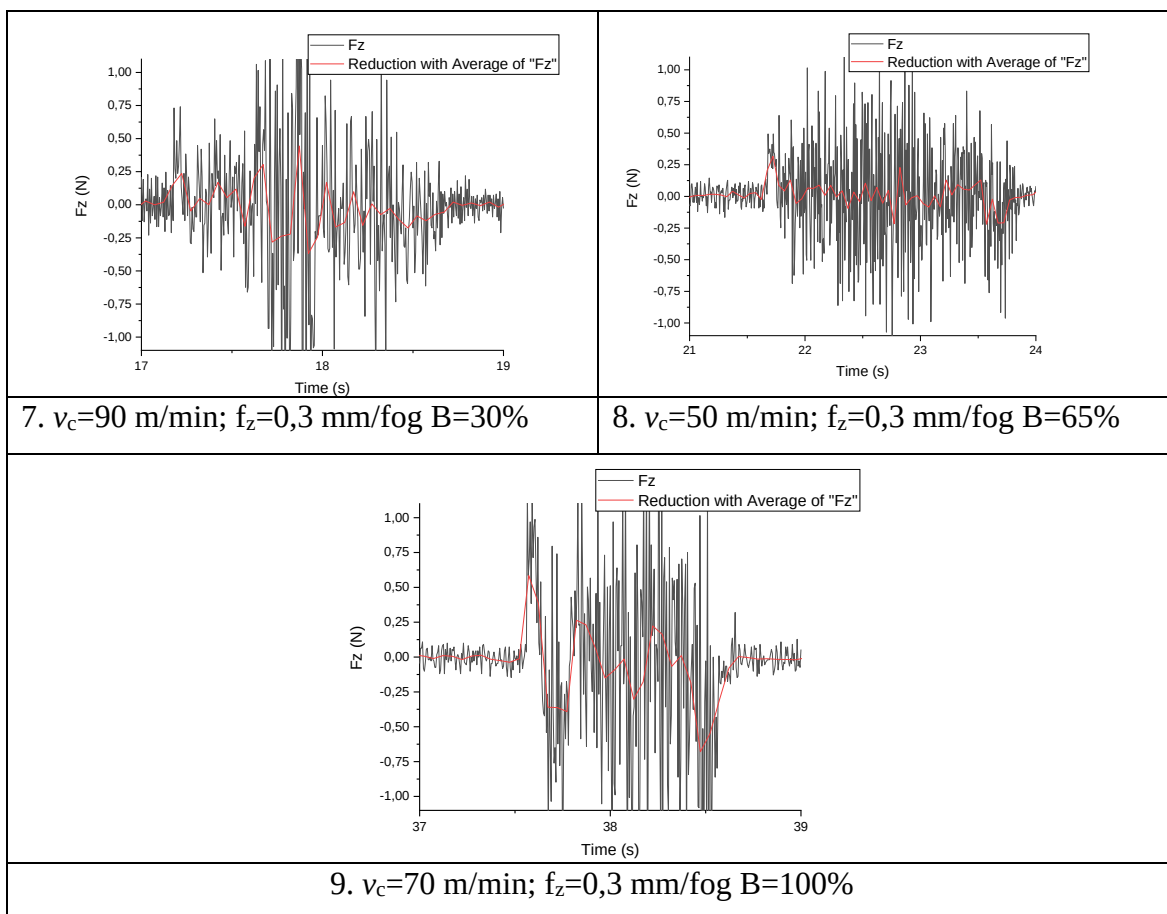
#### 6.1.1 Kétélű fúró esetén

A 11.táblázat tartalmazza a különböző furatok fúrásakor fellépő erőket kétélű fúróval történő fúrás esetén. Mivel használtunk előtolás csökkentést be- és kilépéskor, ennek hatása jól megfigyelhető az egyes diagramokon. Három esetben történt olyan fúrás,

hogy nem lett alkalmazva előtolás csökkentés (3. 6. és 9. kísérlet), ott a belépési szakaszon jól látható, hogy megemelkedik az erő értéke. Ahol a 30-65%-ra való csökkentés lett alkalmazva az erőértékek be és kilépéskor csökkentek, de egyes forgácsolási paramétereknél a furat teljes hosszáan egyenletes erőérékek léptek fel.

11.táblázat – Kétlű fúróval történő fúráskor fellépő erők

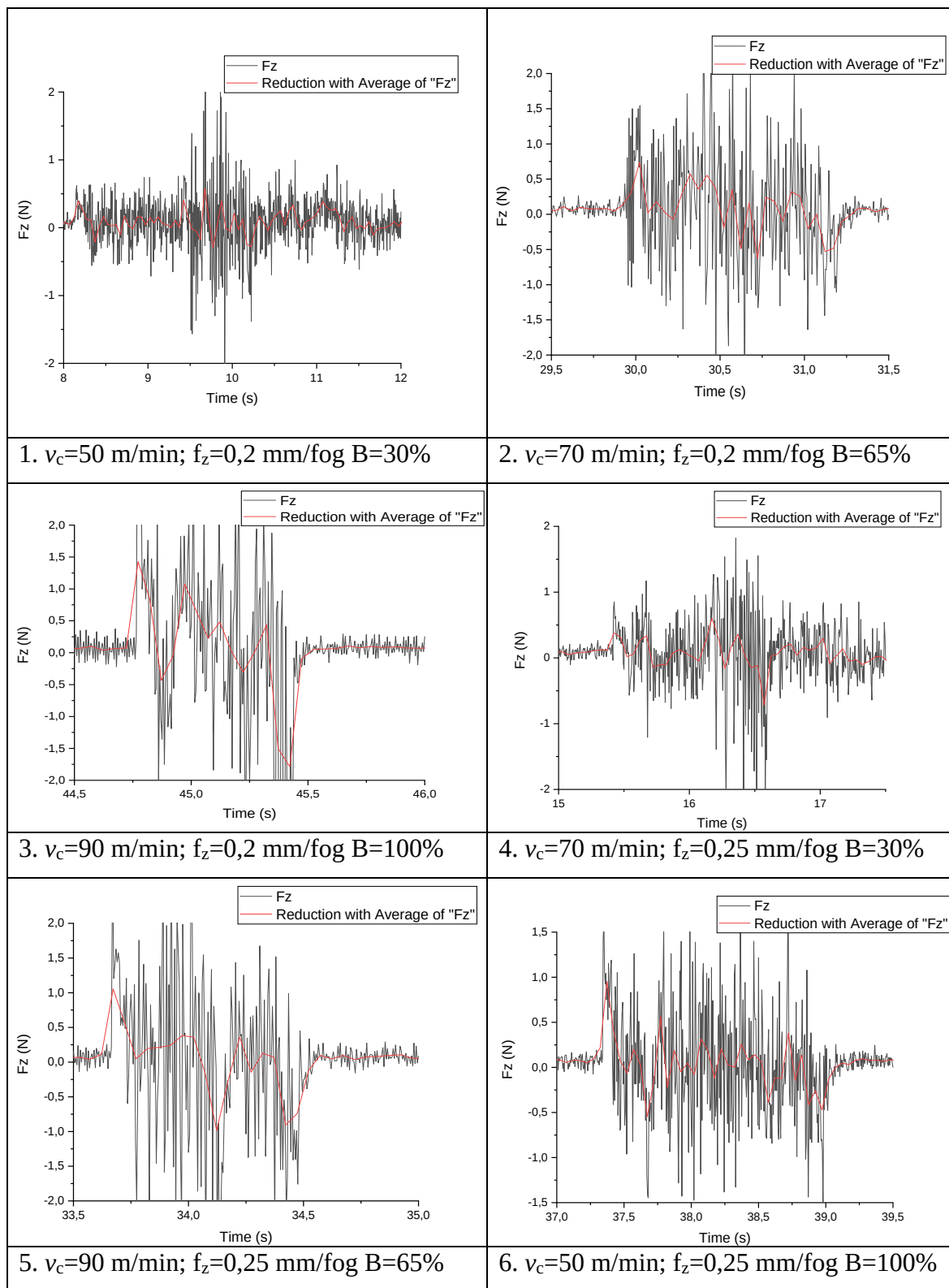
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| 1. $v_c=50$ m/min; $f_z=0,2$ mm/fog B=30%                                           | 2. $v_c=70$ m/min; $f_z=0,2$ mm/fog B=65%                                            |
|  |  |
| 3. $v_c=90$ m/min; $f_z=0,2$ mm/fog B=100%                                          | 4. $v_c=70$ m/min; $f_z=0,25$ mm/fog B=30%                                           |
|  |  |
| 5. $v_c=90$ m/min; $f_z=0,25$ mm/fog B=65%                                          | 6. $v_c=50$ m/min; $f_z=0,25$ mm/fog B=100%                                          |

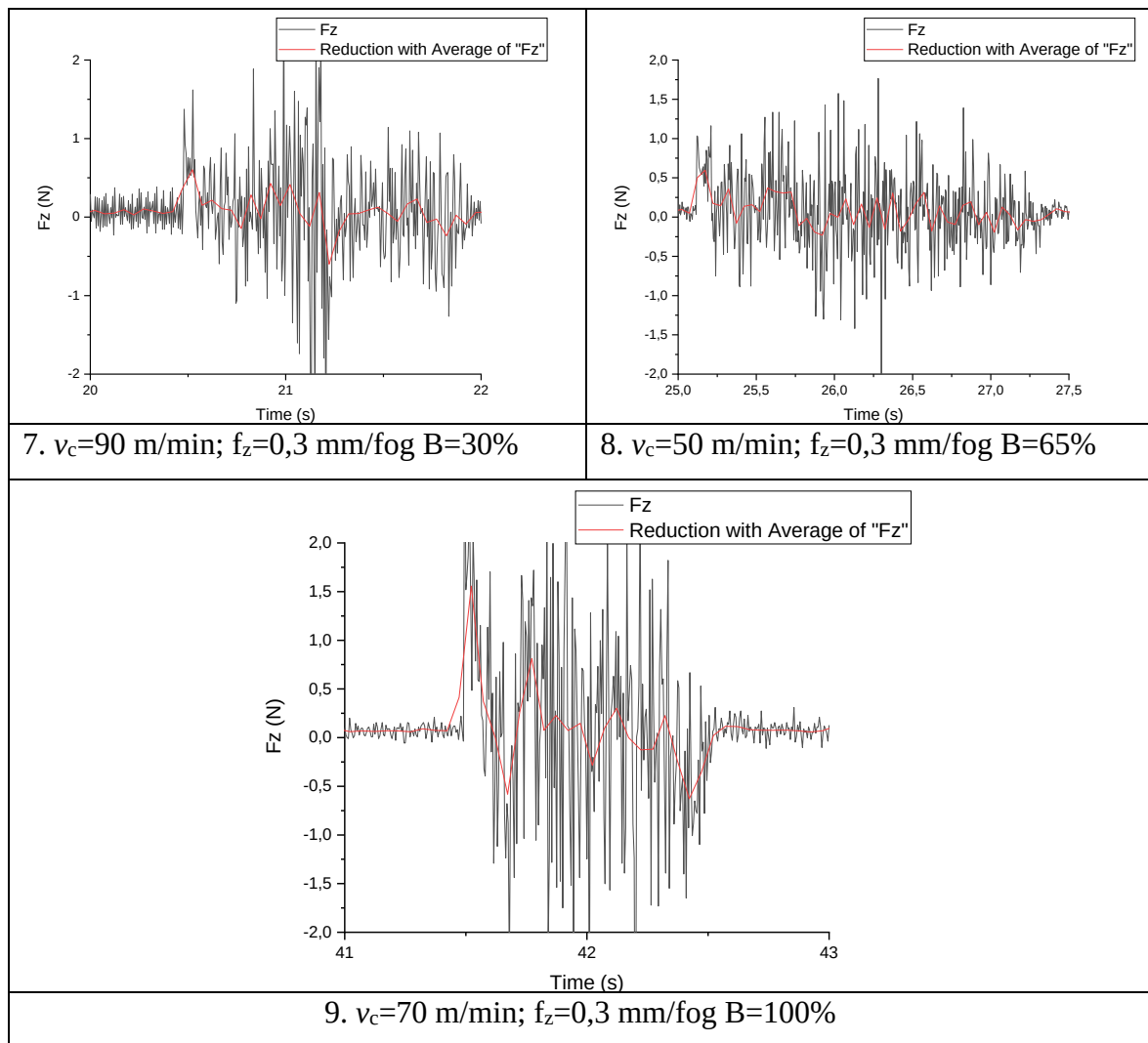


### 6.1.2 Háromélű fúró esetén

A 12.táblázat tartalmazza a különböző furatok fúrásakor fellépő erőket kétélű fúróval történő fúrás esetén. A kétélű fúróval történő fúráshoz hasonlóan itt is mikor nem alkalmaztunk előtolás csökkentést be- és kilépéskor nagyobb erőviszonyok ébredtek. A 30% illetve 65%-ra való csökkentéskor egyes esetekben itt is egyenletes erők lépnek fel a teljes furat fúrása során azonban vannak olyan esetek, ahol a csökkentés megszüntetésekor látszik, hogy nagyobb erőhatás éri a fúrót amíg kilépéskor szintén nem csökkentjük az előtolás értékét (2. 4. 5. furat).

12.táblázat – háromélűfúróval történő fúráskor fellépő erők

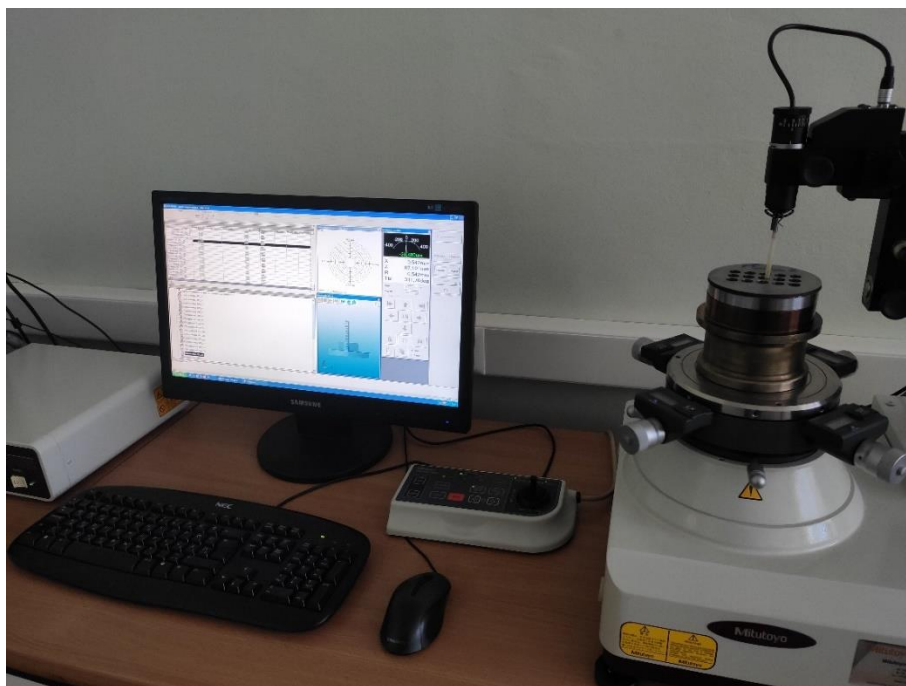




Összehasonlítva a háromélű fúróval történő fúrást a kétélűvel szemben elmondható, hogy sok esetben nincs jelentős különbség a két fúrót terhelő erő között, azonban némely forgácsolási paramétereknél a kétélű fúrót kisebb erő terheli.

## 6.2 Furatok hengerességi hibái

Hengerességi hiba méréséhez Mitutoyo roundtest mérőgépet használtam (32.ábra). A méréshez a mérőgép tárgyasztalán található mikrométerek segítségével az aktuálisan mérendő furat tengelyét, a mérőcsap tengelyével egybeesővé kellett tenni. A szoftver segítségével megadtam, hogy mely kezdőponttól, mely végpontig végezze el a mérést, és milyen osztásközzel mozduljon el a mérőcsap két mérés között.



32.ábra. Mitutoyo Roundtest mérőberendezés

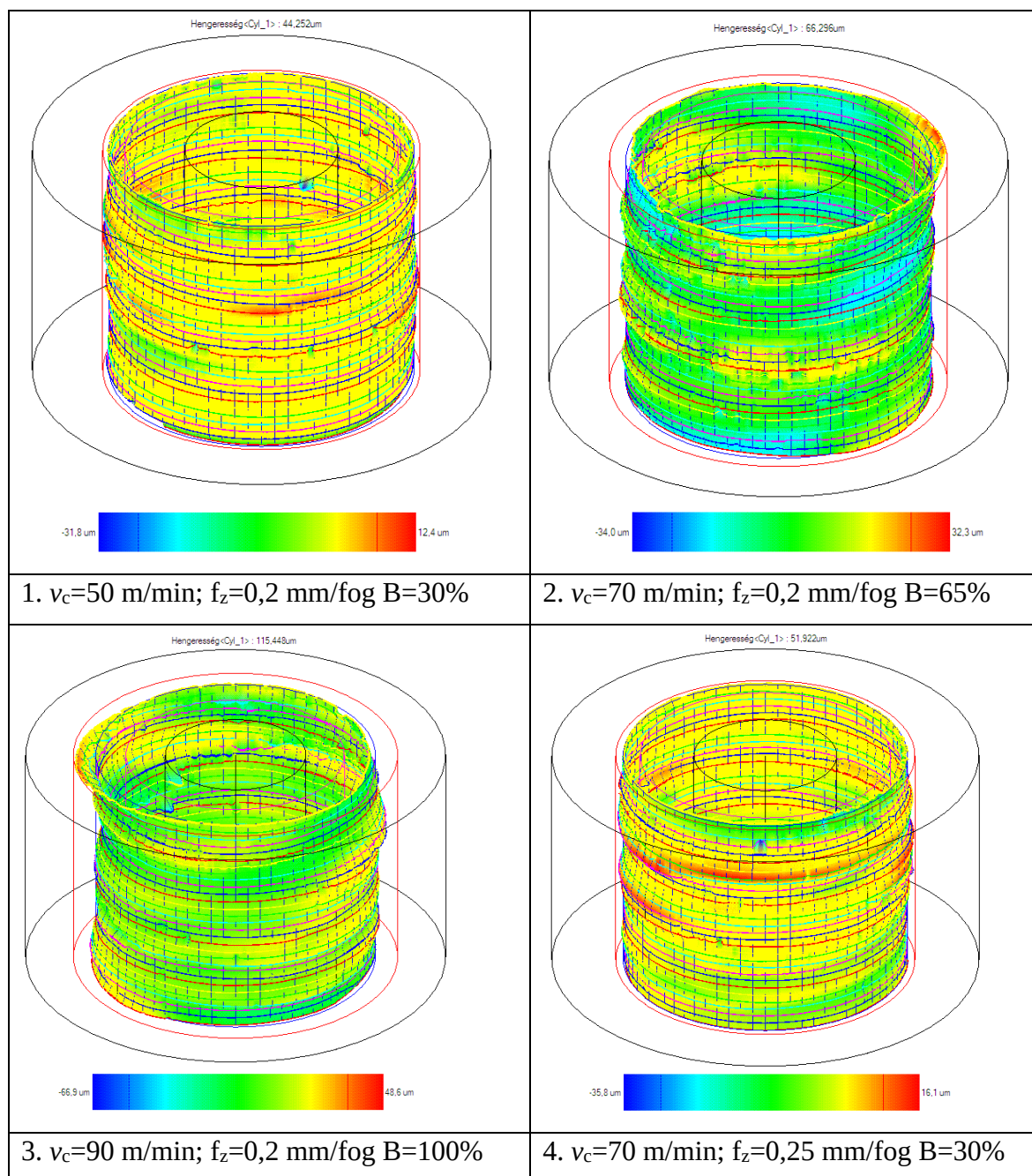
A két fúróval fúrt furatok legnagyobb hengerességi hibájának értéke összehasonlítva a 13. táblázatban található. A szoftver a mérés végeztével hengerességi diagramon ábrázolta az eredményeket, mely a 14. és 15. táblázatban látható.

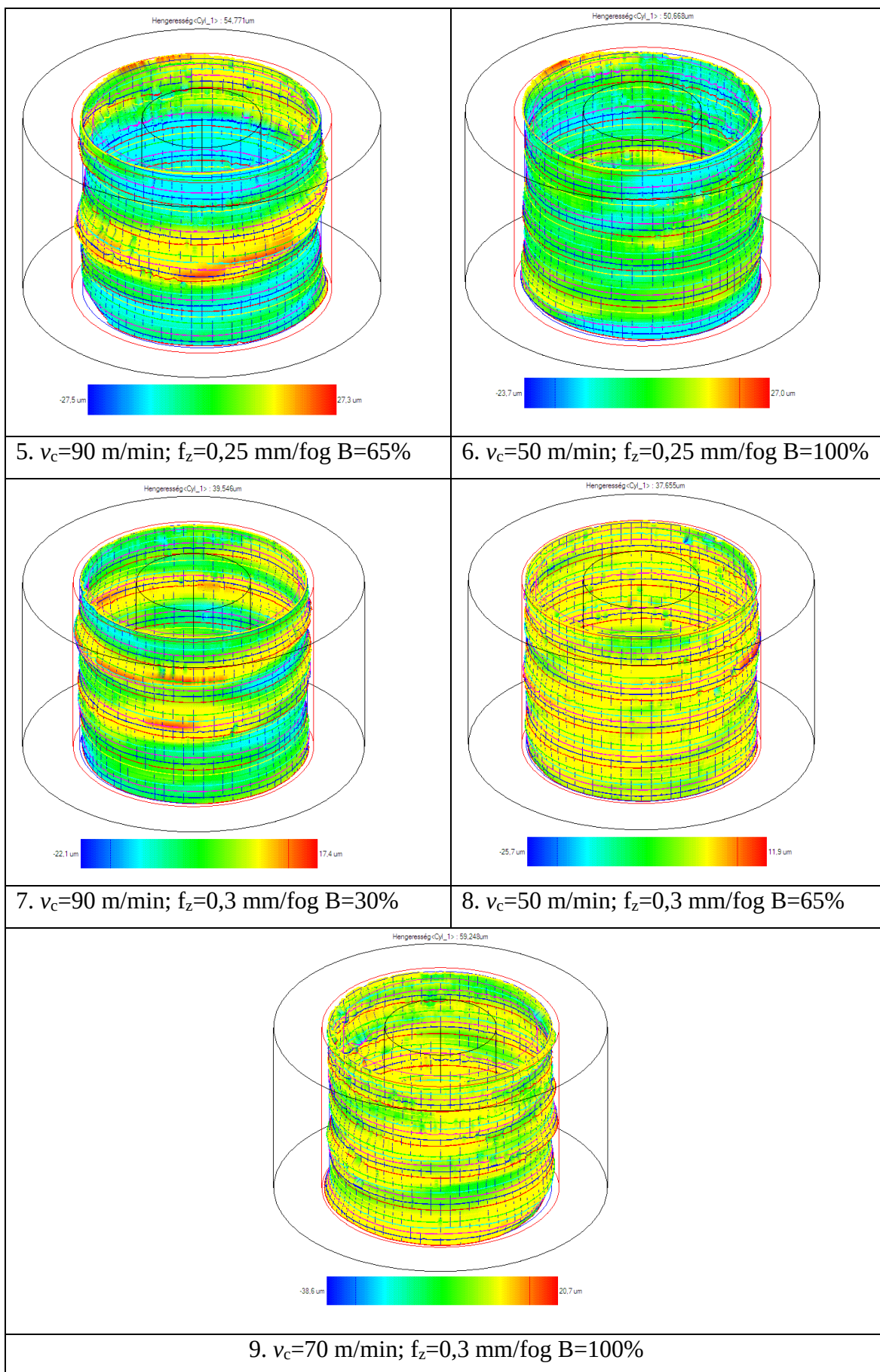
13.táblázat – Két és háromlű fúróval fúrt furatok legnagyobb hengerességi hibája

|    | <b>Kétlű fúróval fúrt (<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Háromlű fúróval fúrt</b> |
|----|------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1. | 44,252                                               | 28,634                      |
| 2. | 66,296                                               | 53,589                      |
| 3. | 70,532                                               | 73,523                      |
| 4. | 51,922                                               | 34,831                      |
| 5. | 54,771                                               | 95,438                      |
| 6. | 50,668                                               | 62,345                      |
| 7. | 39,546                                               | 36,400                      |
| 8. | 37,655                                               | 79,053                      |
| 9. | 59,248                                               | 42,522                      |

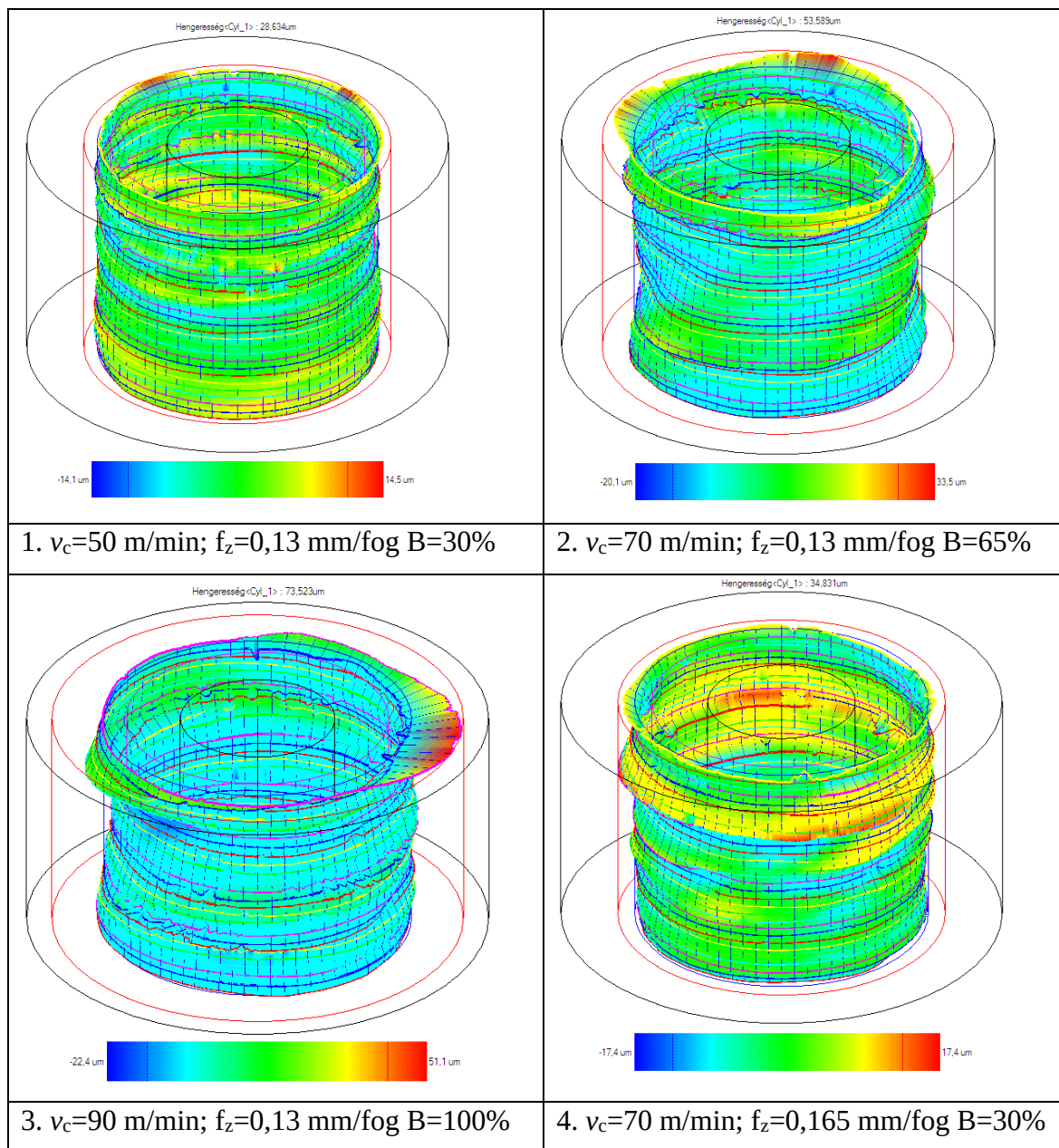
A 14. és 15. táblázatban látható hengerességi diagramokon a piros színnel jelzett henger szemléltetni a legnagyobb ütés által meghatározott befoglaló méretet, illetve látható két fekete henger is, mely a szoftverbe beírható alsó és felső tűréshatárt jelzi. Ezek jelen esetben automatikus értékek, számunkra nem jelentősek.

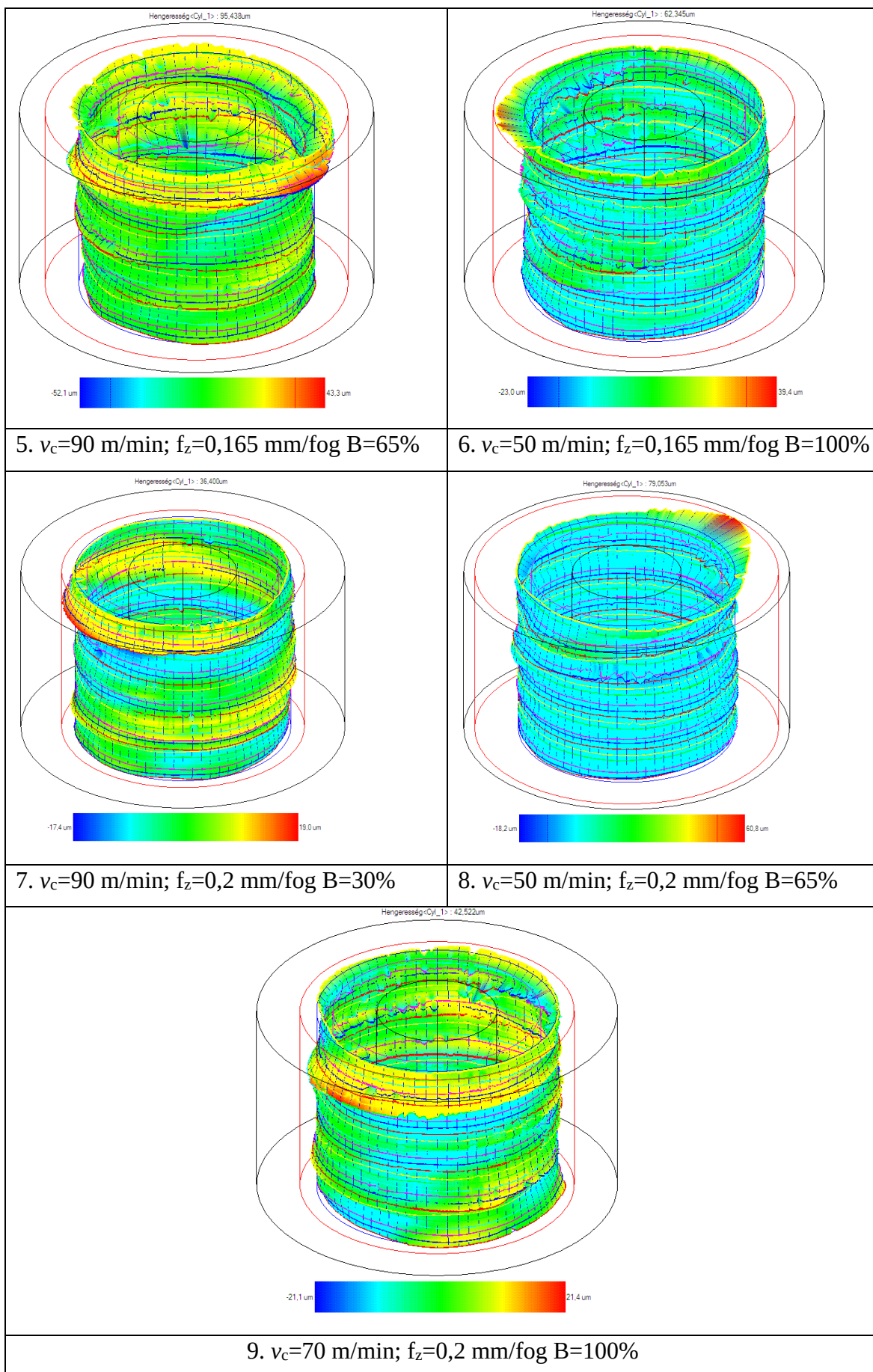
14.táblázat – Kétélű fúróval készült furatok hengerességi hibái





15.táblázat – Háromélű fúróval készült furatok hengerességi hibái





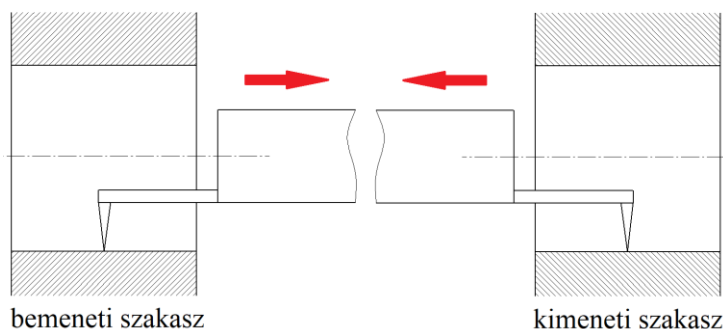
### 6.3 Furatok érdessége

A kísérletek során fűrt furatok érdességének méréséhez az egyetem mérőlaborában található Mitutoyo SV-C3100-as érdesség és-, kontúrmérő berendezést használtam (33.ábra). Az érdesség méréséhez S-3000-es érdességmérő egység lett alkalmazva. A berendezés gránitasztalon helyezkedik el, melyen egy mikrométerekkel mozgatható tárgyasztal található, melyre párhuzamsatu van felhelyezve. A mért érdességi profilok adatait a hozzá tartozó FORMTRACEPAK szoftver gyűjtötte össze.



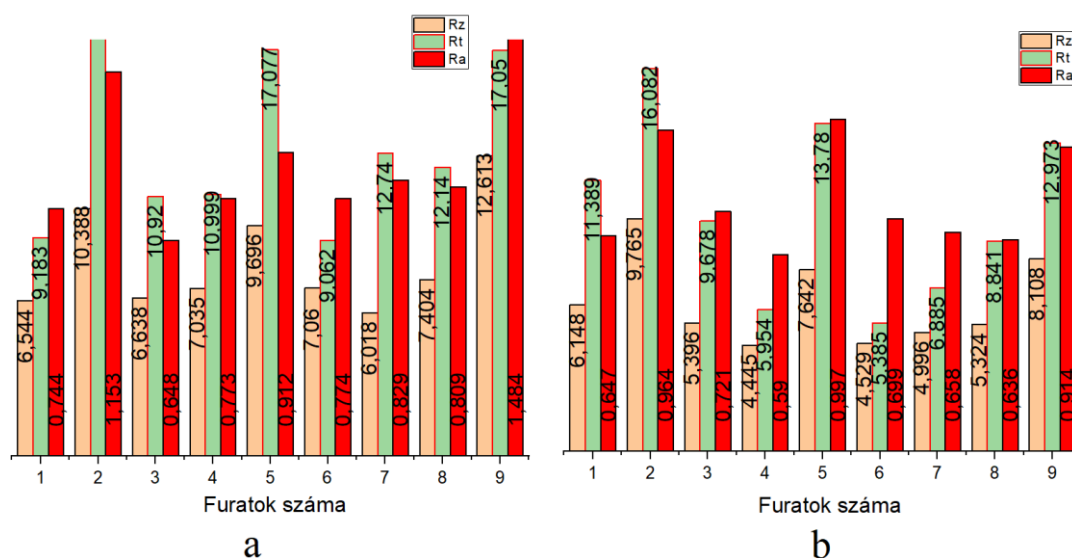
33.ábra. Mitutoyo SV-C3100-as érdesség és-, kontúrmérő berendezés

A kifűrt köranyagot satuban fogtam be olyan helyzetben, hogy a furatok tengelye párhuzamos legyen az érdességmérő berendezés mozgó tengelyére. Mivel minden furatnak a bemeneti és kimeneti szakaszának érdességét mértem, de az érdességmérő tűje nem tudta a teljes furatmélységet lefedni (16mm) így két mérést végeztem egy furaton. Először megmértem minden furatnak a bemeneti szakaszát, majd megfordítva a darabot, a kimeneti szakaszát. Az érdességmérés elvét a 34.ábra mutatja.

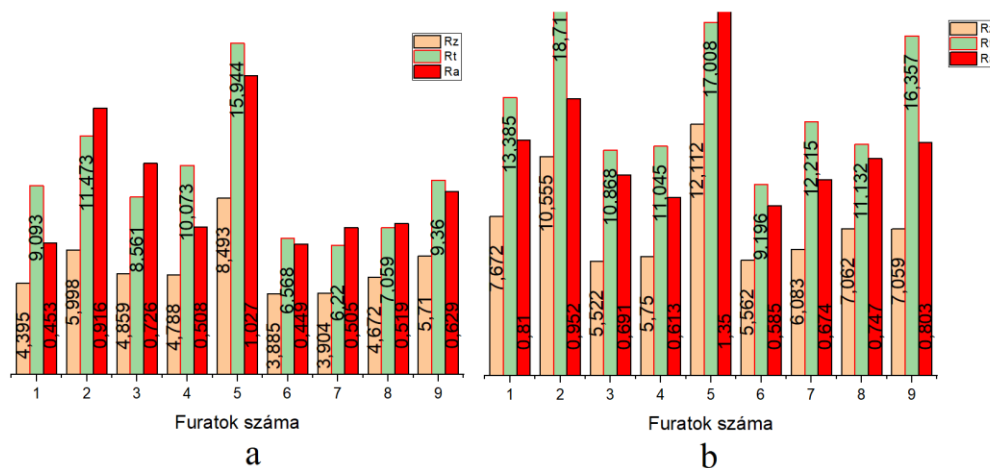


34.ábra. érdességmérés elvi ábrája

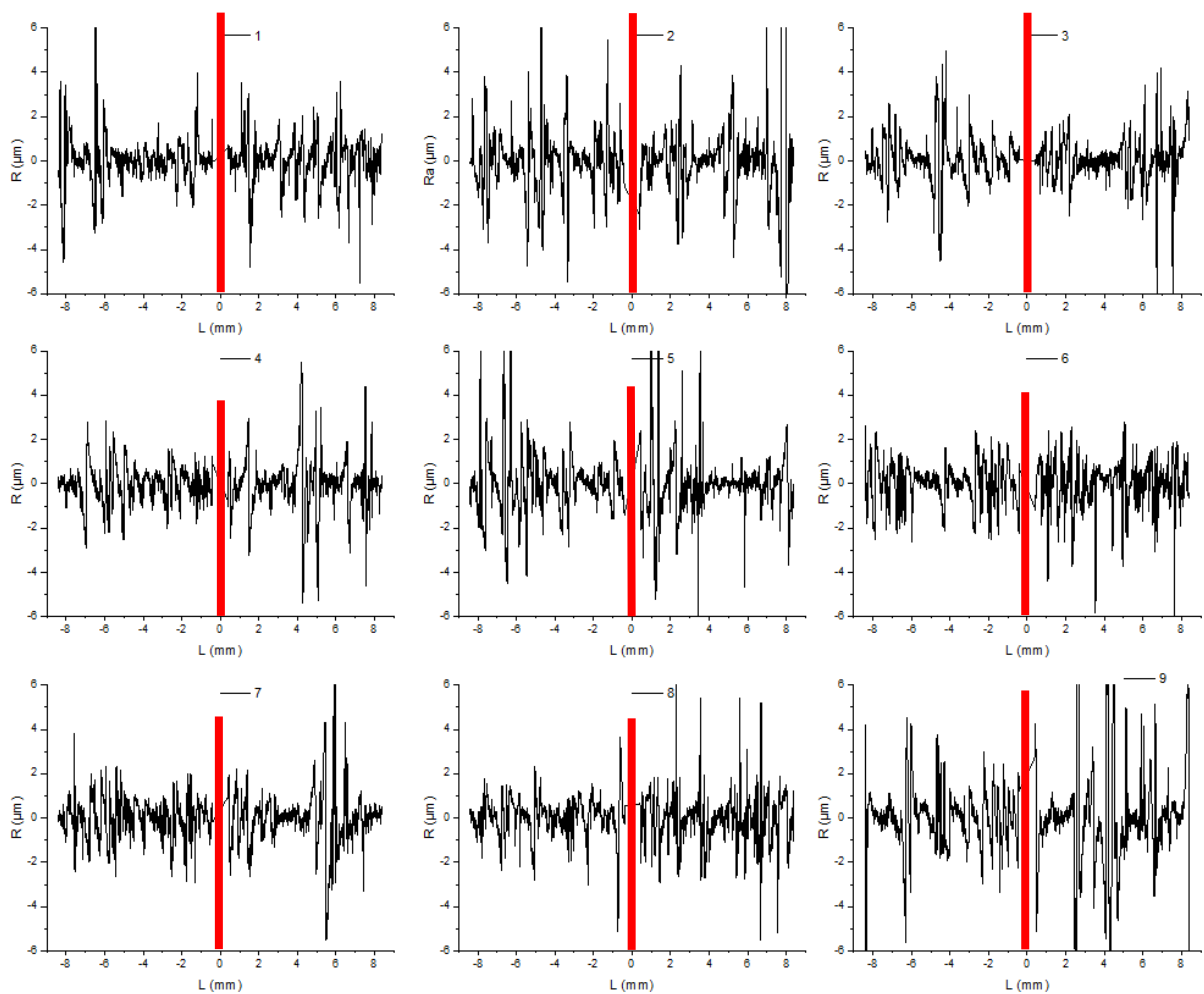
A méréseket furatonként háromszor végeztem el és az átlagukat vettem valid értéként. Mint a kétélű, mint a háromélű fúróval készült furatoknak a gép által mért érdességi értékeit ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ) mutatja a 35. és 36. ábra. Jól látható az, hogy a háromélű fúróval készített furatoknak az  $R_a$  érdessége jelentős esetben jobb, mint a kétélű fúróval készült furatoké. Azonban az  $R_z$  érdességmélységi értékek a kilépő szakaszon jobb értéket mutatnak a kétélű fúróval készült furatoknál



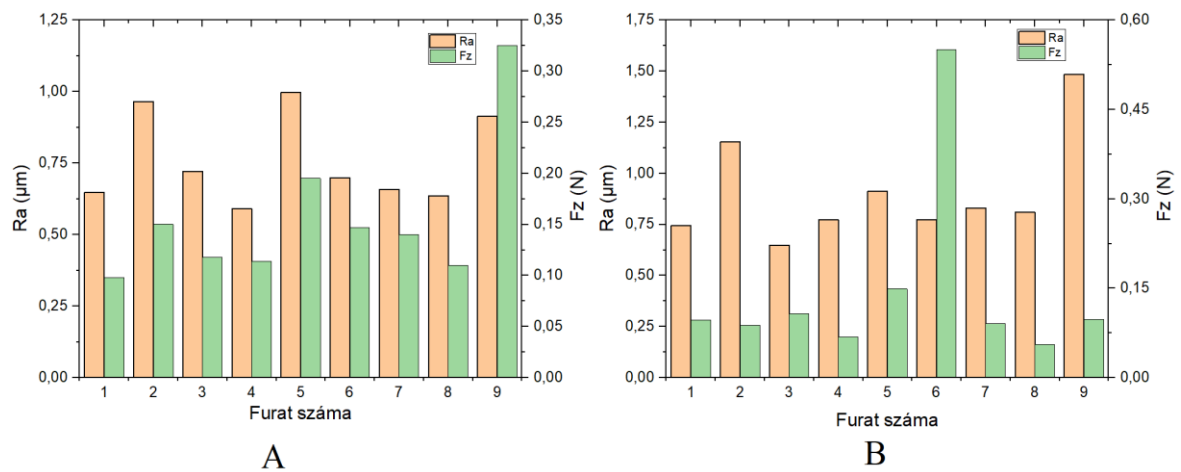
35. ábra. Kétélű fúró érdességei be (a), és kilépéskor (b)



36. ábra. Háromélű fúró érdességei be (a), és kilépéskor (b)

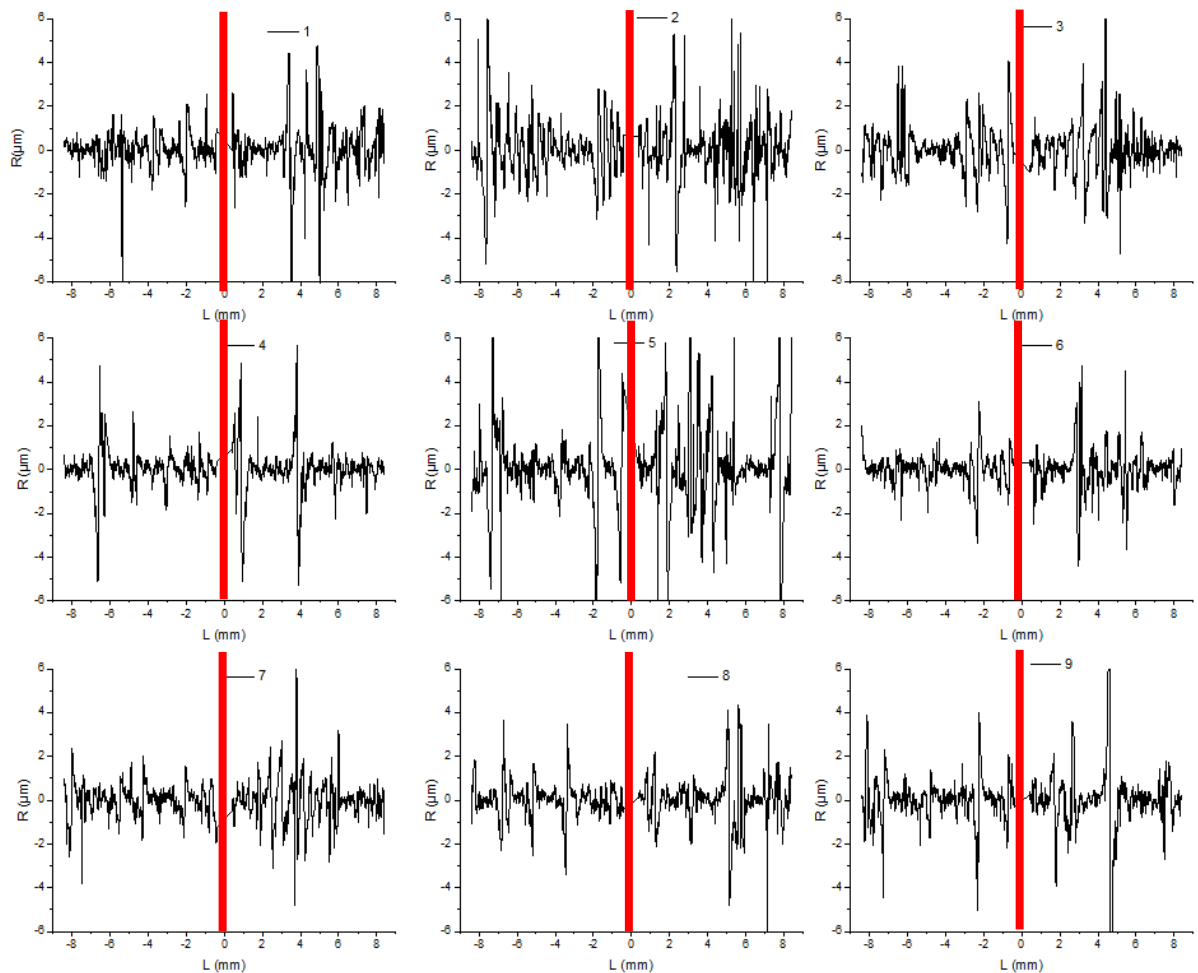


37.ábra. Kétélű fúróval készített furatok bekezdő szakaszán mért érdességek

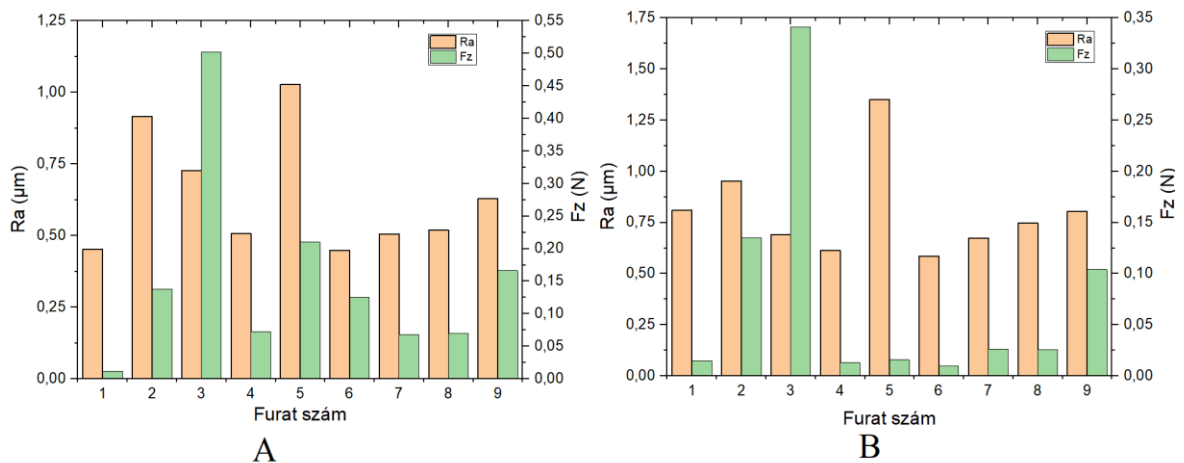


38.ábra. érdesség és erőviszony kétélű fúró esetén belépő (B) és kilépő (A) szakaszon

A 38. ábrán látható oszlopdiagramokból látható, hogy a kétélű fúróra eső erőértékek a 9-es furat kilépésekor, illetve a 6-os furat belépésekor veszi fel a legnagyobb értéket, de belépéskor a többi esetben kis erő ébred. Az  $R_a$  felületi érdesség legtöbb esetben  $1\mu\text{m}$  alatti, belépéskor egy esetben lett nagyobb érdesség mérve, ami valószínűleg fúrás közbeni rezonancia és külső hatások eredménye.



39. ábra. Háromélű fúróval készített furatokon mért érdességek



40.ábra. érdesség és erőviszony háromlű fűró esetén belépő (B) és kilépő (A) szakaszon

A 40.ábrán látható oszlopdiagramokból jól látszik, hogy a háromlű fűróra eső erő be és kilépéskor egy esetet leszámítva kis mértékű, a hozzájuk tartozó Ra felületi érdesség 1µm alatti. A hármas furat fűrásánál a forgácsolási paraméterek miatt nagyobb erő lépett fel, de a felületi érdesség így is kiváló. Az 5-ös furatnál a 65%-ra történő előtolás csökkentés okozta rezonancia miatt nagyobb felületi érdességet mertünk.

## 7 Kiértékelés

A kísérlet során fűrt furatoknak a tulajdonságait meghatározva kiértékeléshez a Minitab17® szoftvert használtam. Mivel a cél, hogy a felületi érdesség, illetve a hengerességi hiba minél kisebb legyen, így kiértékelés szempontjából a „Smaller is better” formula a megfelelő.

$$(S/N)_s = -10 * \log_{10} * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

### 7.1 Legkisebb elérhető felületi érdesség

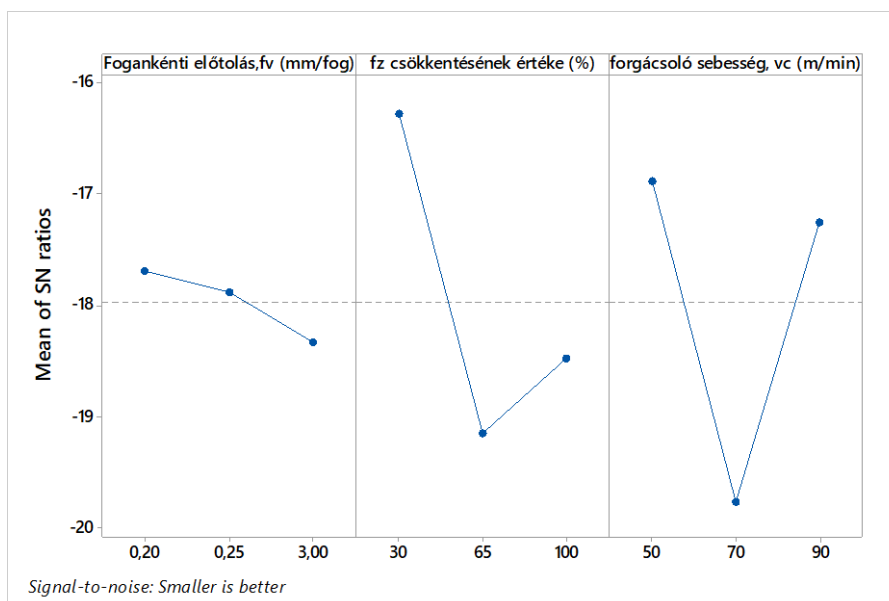
#### 7.1.1 Kétélű fúróval készült furatok esetén

A fúrással kapott Rz felületi érdeségekre végeztem a számításokat, melyek eredményei alapján fel lehetett állítani egy sorrendet, mely rangsorolja az egyes faktorok hatását. Az eredményeket a 16. táblázat foglalja össze.

16.táblázat – Technológiai paraméterek hatásai Rz felületi érdességre (S/N)s alapján (bemeneti)

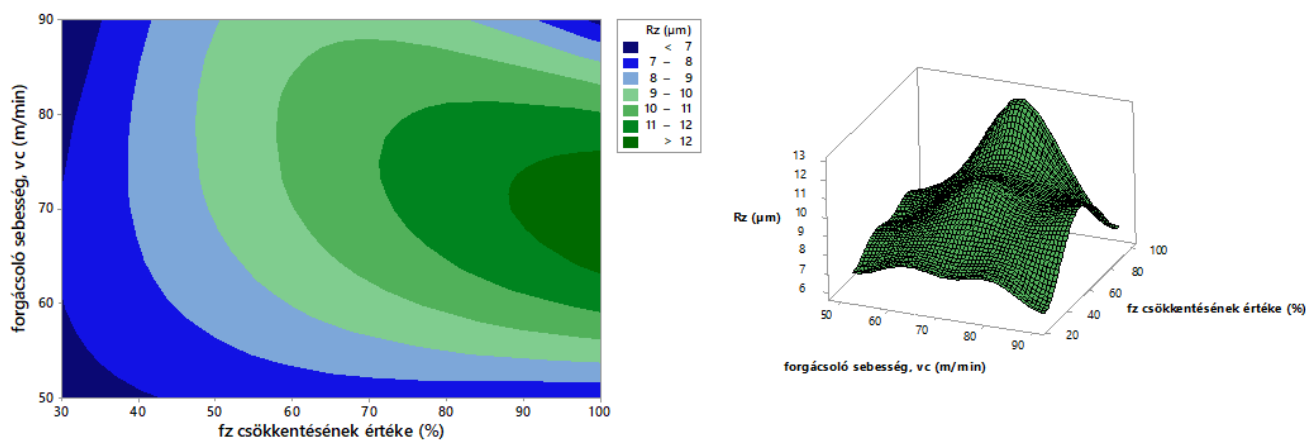
| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -17,70  | -16,25 | -16,89 | 0,64  | 3       |
| B        | -17,88  | -19,15 | -19,76 | 2,87  | 2       |
| C        | -18,33  | -18,48 | -17,25 | 2,87  | 1       |

A 17.táblázat eredménye alapján látható, hogy a forgácsolási sebesség (C) és az előtolás csökkentésének értéke (B) van a legnagyobb hatással a furat Rz érdességére a bemeneti oldalon. Az eredményeket hatásdiagramon való ábrázolása a 41.ábrán látható.



41. ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fűrt furatok bemeneti szakaszán

A Minitab17® szoftver segítségével a kiértékel Tagutchi kísérletterv alapján létrehoztam felületanalízis diagramokat, melyek vizuálisan szemléltetik, hogy milyen paraméterekkel milyen felületi érdességet lehet elérni. Mindkét diagram a 42.ábrán látható.



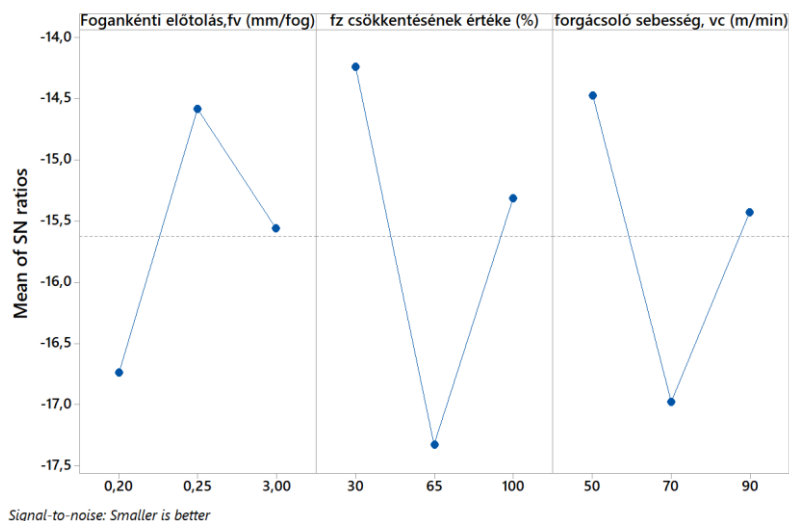
42.ábra. Kiértékelési és háló diagram kétélű fúróval készült furatok Rz változására bemeneti szakaszon

A 17. táblázat tartalmazza a számítások eredményét, melyek alapján felállítottam a sorrendet, mely mutatja az egyes faktorok hatását.

17.táblázat – Technológiai paraméterek hatásai Rz felületi érdességre (S/N)s alapján (kimeneti)

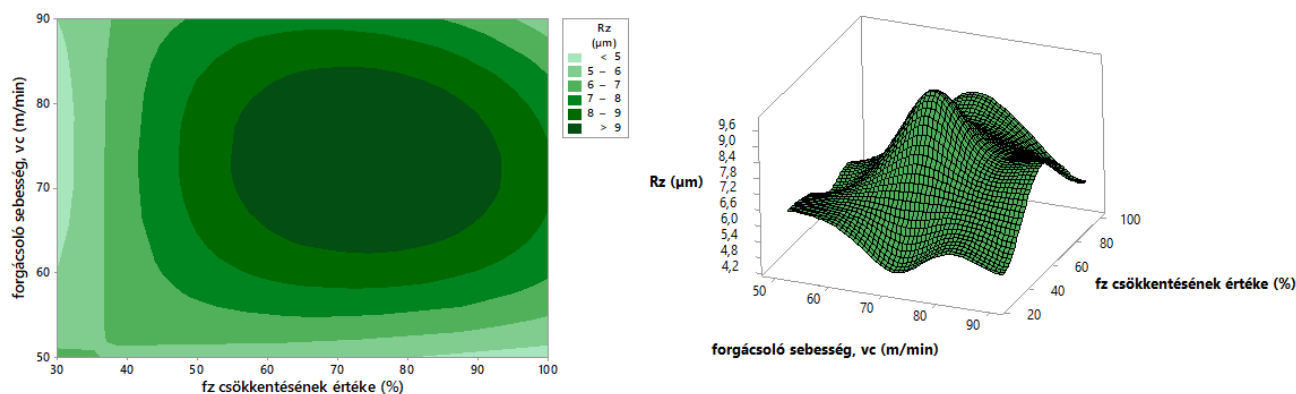
| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -16,74  | -14,23 | -14,47 | 2,16  | 3       |
| B        | -14,58  | -17,33 | -16,98 | 3,09  | 1       |
| C        | -15,56  | -15,31 | -15,43 | 2,5   | 2       |

A 17.táblázat eredménye alapján látható, hogy az előtolás csökkentésének értéke (B) van a legnagyobb hatással a furat Rz érdességére a kimeneti oldalon. Az eredményeket hatásdiagramon való ábrázolása a 43.ábrán látható.



43. ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fúrt furatok bemeneti szakaszán

A taguchi kísérletterv alapján létrehozott kiértékelési diagram és a hozzá tartozó 3D vizuális mesh diagram a 44.ábrán látható.



44. ábra. Kiértékelési és háló diagram kétélű fúróval készült furatok Rz változására kimeneti szakaszon

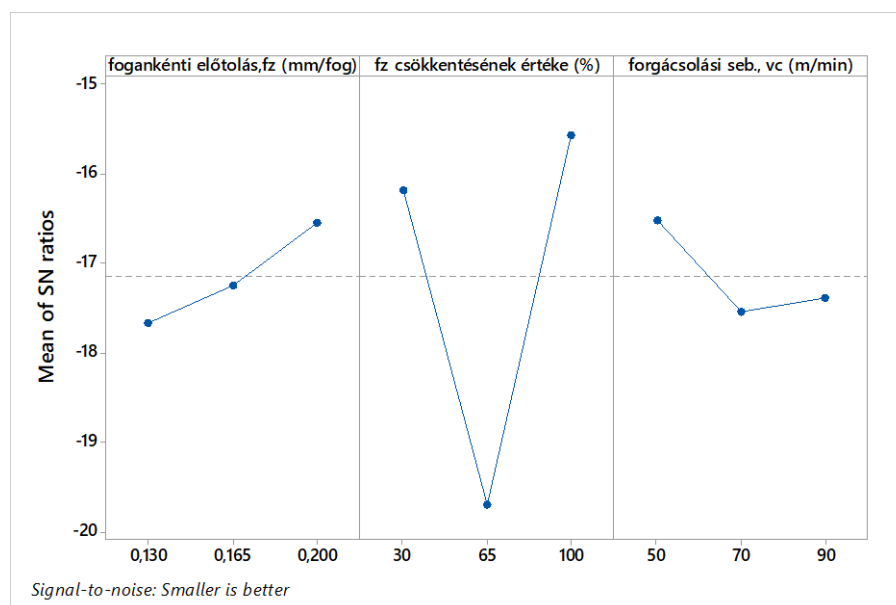
### 7.1.2 Háromélű fúróval készült furatok esetén

A 18. táblázat tartalmazza az (S/N)s alapján történt számításokat, és ez alapján az egyes faktorok hatása rangsorrendbe lettek helyezve.

18.táblázat – Technológiai paraméterek hatásai Rz felületi érdességre (S/N)s alapján (bemeneti)

| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -17,67  | -16,19 | -16,53 | 1,12  | 2       |
| B        | -17,25  | -19,70 | -17,55 | 4,13  | 1       |
| C        | -16,55  | -15,57 | -17,40 | 1,02  | 3       |

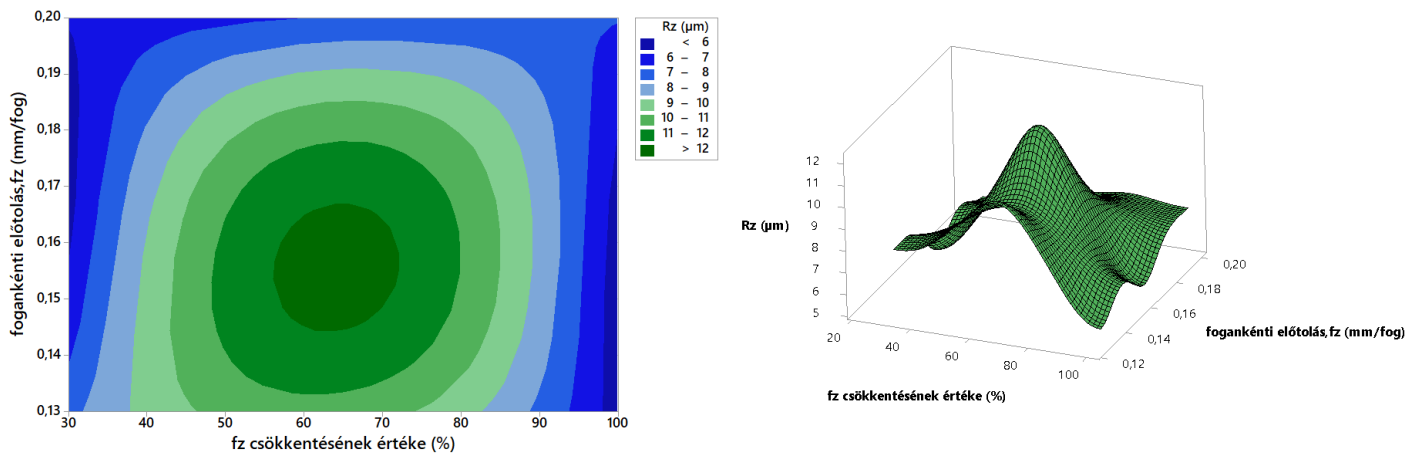
A 18.táblázat eredménye alapján látható, hogy az előtolás csökkentésének értéke (B) van a legnagyobb hatással a furat Rz érdességére a bemeneti szakaszon. Az eredményeket hatásdiagramon való ábrázolása a 45.ábrán látható.



45 ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fúrt furatok bemeneti szakaszán

A taguchi kísérletterv alapján létrehozott kiértékelési diagram és a hozzá tartozó

3D vizuális mesh diagram a 46.ábrán látható

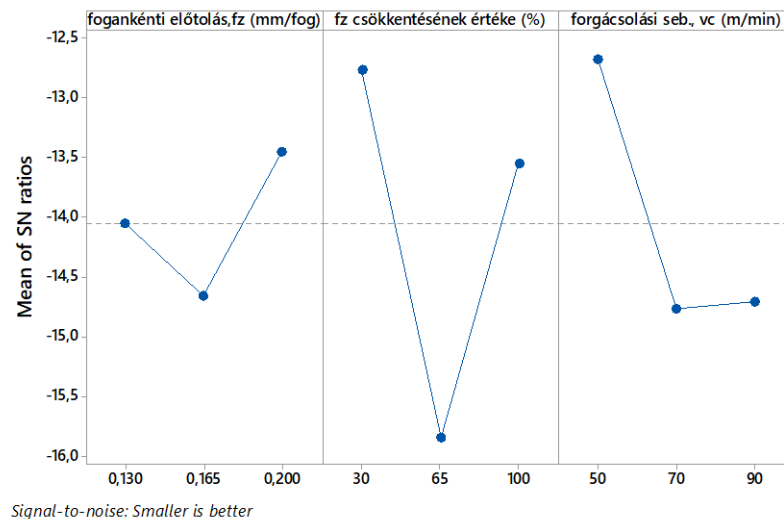


46.ábra. Kiértékelési és mesh diagram háromlélű fúróval készült furatok Rz változására bemeneti szakaszon  
A 19. táblázat tartalmazza a számítások eredményét, melyek alapján felállítottam a sorrendet, mely mutatja az egyes faktorok hatását.

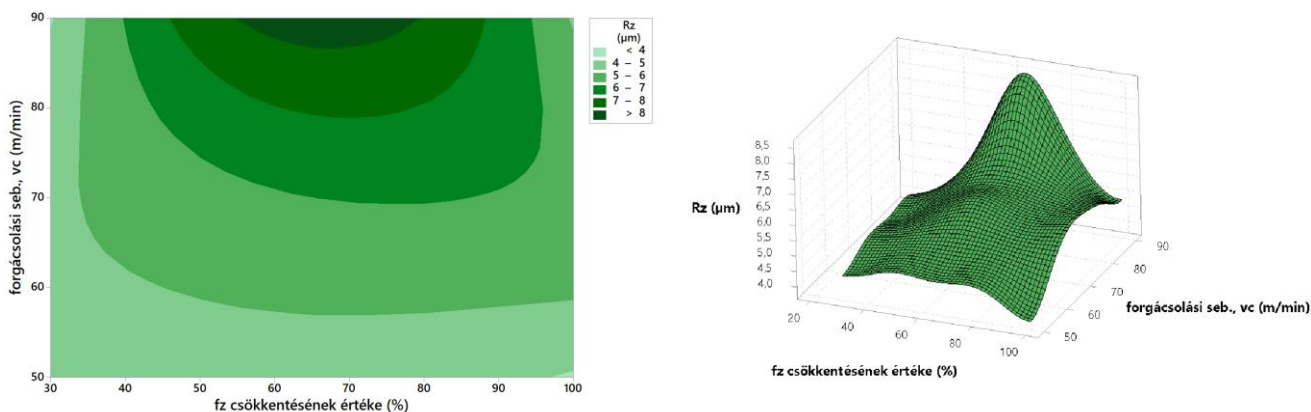
19.táblázat – Technológiai paraméterek hatásai Rz felületi érdességre (S/N)s alapján (kimeneti)

| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -14,05  | -12,76 | -12,68 | 1,12  | 3       |
| B        | -14,66  | -15,84 | -14,77 | 4,13  | 1       |
| C        | -13,45  | -13,55 | -14,71 | 1,02  | 2       |

A 19.táblázat eredménye alapján látható, hogy az előtolás csökkentésének értéke (B) van a legnagyobb hatással a furat Rz érdességére a kimeneti szakaszon. Az eredményeket hatásdiagramon való ábrázolása a 47.ábrán látható.



47. ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fúrt furatok bemeneti szakaszán  
A taguchi kísérletterv alapján létrehozott kiértékelési diagram és a hozzá tartozó 3D vizuális mesh diagram a 48.ábrán látható.



48. ábra – Kiértékelési és háló diagram háromélű fúróval készült furatok Rz változására kimeneti szakaszon

## 7.2 Legkisebb elérhető hengerességi hiba

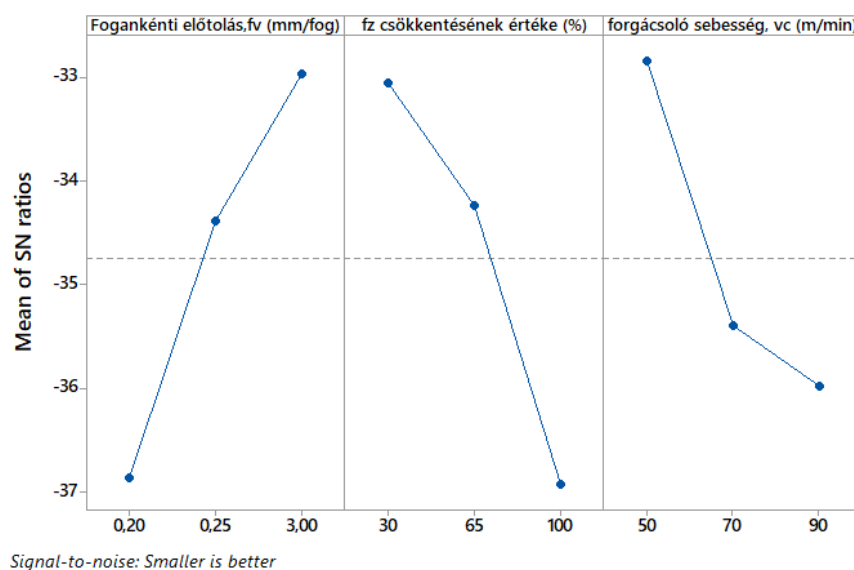
### 7.2.1 Kétélű fúróval készült furatok esetén

A hengerességi hiba értéke, hasonlóan a felületi érdességhez akkor jó, ha minél kisebb értéket vesz fel, ezért a kiértékelő szoftverben ebben az esetben is a „smaller is better” képletet (1-es képlet) használtam. Az eredmények a 20.táblázatban találhatóak.

20.táblázat – Technológiai paraméterek hatásai a hengerességi hibára (S/N)s alapján

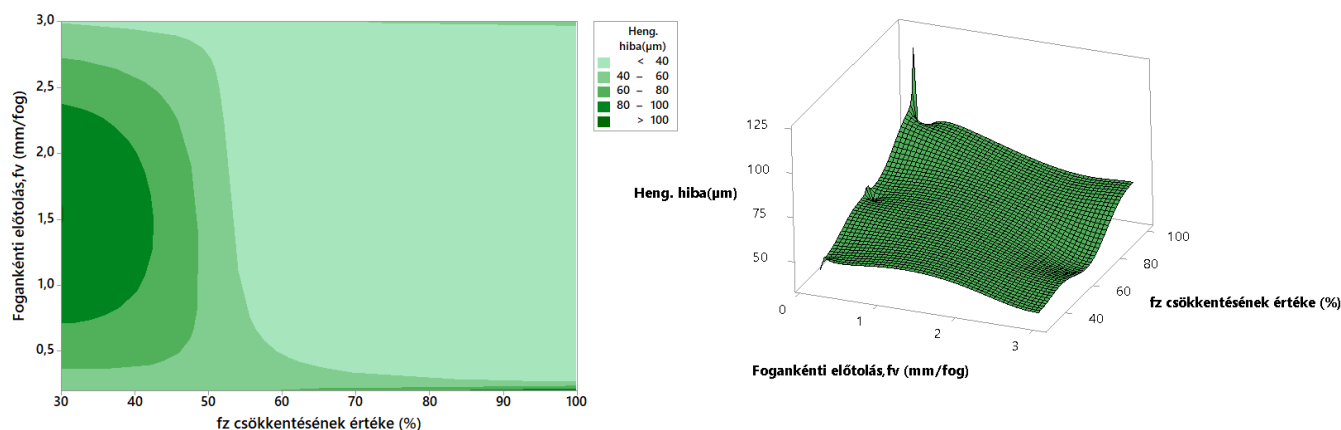
| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -36,87  | -33,06 | -32,84 | 3,89  | 1       |
| B        | -34,39  | -34,24 | -35,4  | 3,88  | 2       |
| C        | -32,97  | -36,93 | -35,99 | 3,14  | 3       |

A 20.táblázat jól szemlélteti, a fogankénti előtolás (A) és az előtolás csökkentésének értéke (B) van legnagyobb hatással a kétélű fúró hengerességi hibájának értékére. Ezt szemlélteti a 49.ábrán látható hatásdiagram.



49. ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fúrt furatok hengerességi hibájára

A taguchi kísérletterv alapján létrehozott plot diagram és a hozzá tartozó 3D vizuális mesh diagram a 50. ábrán látható.



50. ábra. Kiértékelési és háló diagram kétélű fúróval készült furatok hengerességi hibájáról

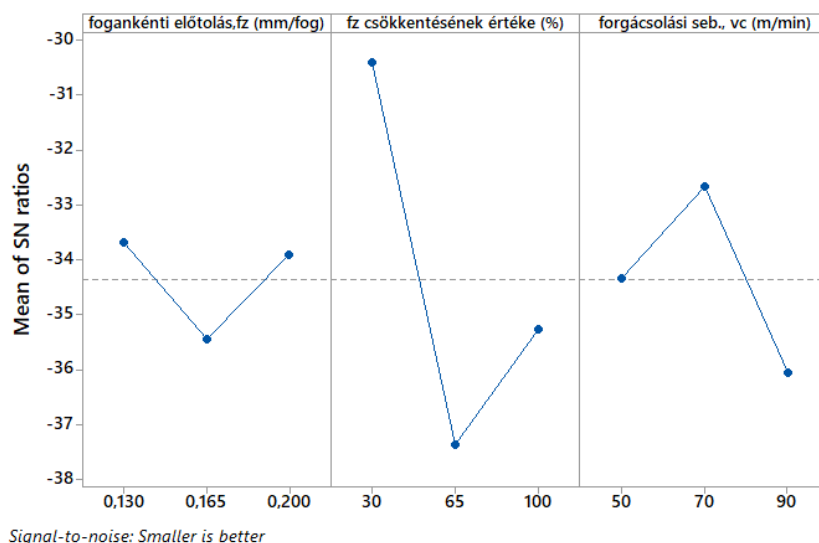
## 7.2.2 Háromélű fúróval készült furatok esetén

A 21. táblázat tartalmazza az (S/N)s alapján történt számításokat, és ez alapján az egyes faktorok hatása rangsorrendbe lettek helyezve.

21. táblázat – Technológiai paraméterek hatásai a hengerességi hibára (S/N)s alapján

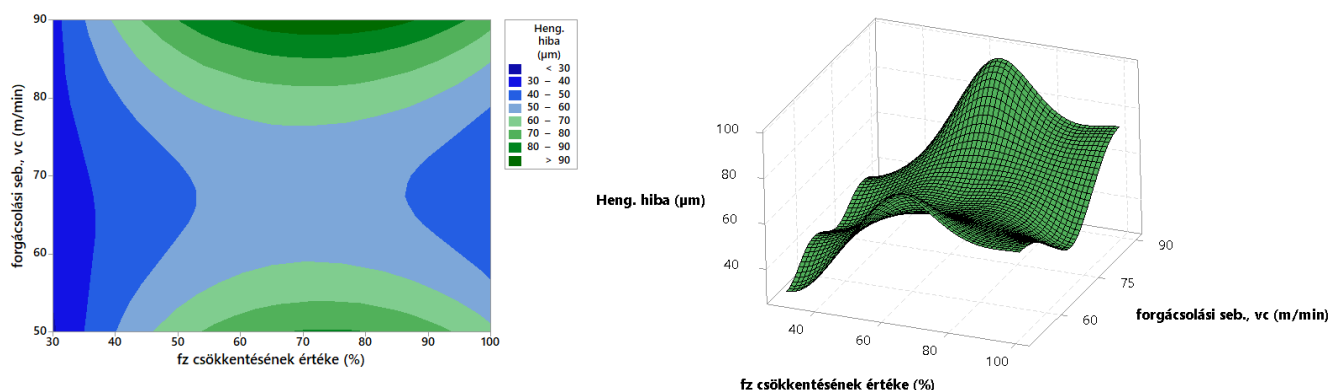
| Faktorok | Szintek |        |        | Delta | Rangsor |
|----------|---------|--------|--------|-------|---------|
|          | 1       | 2      | 3      |       |         |
| A        | -33,68  | -30,4  | -34,33 | 1,76  | 3       |
| B        | -35,44  | -37,38 | -32,66 | 6,98  | 1       |
| C        | -33,92  | -35,27 | -36,05 | 3,38  | 2       |

A 21. táblázat jól szemlélteti, az előtolás csökkentésének értéke (B) van legnagyobb hatással a kétélű fúró hengerességi hibájának értékére. Ezt szemlélteti a 51. ábrán látható hatásdiagram.



51. ábra. (S/N)s értékek hatásdiagramja kétélű fúróval fúrt furatok hengerességi hibájára

A taguchi kísérletterv alapján létrehozott plot diagram és a hozzá tartozó 3D vizuális mesh diagram a 52. ábrán látható.



52. ábra. Kiértékelési és háló diagram kétélű fúróval készült furatok hengerességi hibájáról

## 8 Gazdasági számítás

A műszaki világban nagyon meg kell fontolni, mikor és milyen szerszámot vásárlunk, és hogy mennyire éri meg az számunkra. Ebben a pontban gazdasági számítással szeretném szemléltetni, hogy az általunk választott két fúrot a kiértékelések alapján meghatározott optimális paraméterek használatával mikor éri meg egy vállalatnak használni. A példa során, egy 10mm vastag lemez fúrását vizsgáljuk meg.

A két fúróra tekintett legoptimálisabb fúrási paramétereket a 22. táblázat foglalja össze.

22. táblázat – Legoptimálisabb forgácsolási paraméterek két és háromélű fúróhoz

| Fúró típus | Fogankénti előtolás<br>(mm/fog) | Előtolás százalékos<br>értéke (%) | Forgácsolási sebesség<br>(m/perc) |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Kétélű     | 0,2                             | 30                                | 50                                |
| Háromélű   | 0,2                             | 100                               | 50                                |

A fordulatszám kiszámítása:

$$n = \frac{1000 * v_c}{d * \pi} = \frac{1000 * 50}{10 * \pi} = 1591,6 \frac{ford}{perc}$$

Ahol:

$n$  – fordulatszám

$v_c$  – vágósebesség

$d$  – csigafúró átmérő

Előtoló sebesség két és háromélű fúró esetében:

$$v_{f2} = f_z * z * n * B = 0,2 * 2 * 1591,6 * 0,3 = 190,992 \frac{mm}{perc}$$

$$v_{f3} = f_z * z * n * B = 0,2 * 3 * 1591,6 * 1 = 954,96 \frac{mm}{perc}$$

Ahol:

$f_z$  – fogankénti előtolás

$z$  – forgácsoló élek száma

$n$  – fordulatszám

$B$  – fordulatszám csökkentésének értéke

A két fúróval a megadott paraméterekkel egy furat kifúrására szánt idő:

$$t_2 = \frac{L}{v_{f2}} = \frac{10}{190,992} = 0,0524 \text{ min} = 3,144 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{L}{v_{f3}} = \frac{10}{954,96} = 0,0105 \text{ min} = 0,63 \text{ s}$$

Egy óra alatt kifúrható furathossz:

$$L_{2/1h} = t * v_{f2} = 60 * 190,992 = 11459,52 \text{ mm} = 11,46 \text{ m}$$

$$L_{3/1h} = t * v_{f3} = 60 * 954,96 = 57297,6 \text{ mm} = 52,3 \text{ m}$$

A TDK dolgozat elvégzésénél alkalmazott szerszámgép gépköltség (becsült):

$$K_g = 10000 \text{ Ft/óra}$$

Egy vállalatnak akkor éri meg a fúrót használni, ha legalább a vásárlási árával megegyező értékben használja a megmunkáló berendezésben. Esetünkben a kétélű fúró ára ~35.000 Ft (98 EUR), a háromélű fúróé pedig ~42.500 Ft (118 EUR). Az általunk vizsgált esetben akkor éri meg használni a fúrót, ha az alább látható furathossznak megfelelő furatszámot fúrjuk ki:

$$k_2 = \frac{\text{Ár}}{K_g} * L_{2/1h} = \frac{35000}{10000} * 11459,52 = 40108,3 \text{ mm} \rightarrow 4011 \text{ furat}$$

$$k_3 = \frac{\text{Ár}}{K_g} * L_{3/1h} = \frac{42500}{10000} * 57297,6 = 243514,8 \text{ mm} \rightarrow 24352 \text{ furat}$$

A háromélű fúróval hatszor annyi furat készíthető el, mint a kétélűvel, viszont csak 10.000.-Ft-tal drágább. Ebből adódóan sokkal jobban megéri a háromélű fúró használata, hiszen 1db furat ára:

$$\text{Kétélűnél: } 35000/4011=8,8\text{Ft} \quad \text{Háromélűnél: } 42500/24,352=1,75 \text{ Ft}$$

Ha számunkra  $42500/8,8 \approx 4830$  db furatnál többet fogunk készíteni, akkor már megéri háromélű fúrót használni.

## 9 Összegzés

A fúrás a mai napig egyik elengedhetetlen művelet a gépgyártástechnológiában. Számos fúrótípus létezik manapság, melyek kielégítik azt a feltételt, hogy szilárd anyagba furatot készítsük. Ezek eltérhetnek geometriájukban, bevonatolási módszerük és anyaguk alapján. TDK dolgozatom során két csigafúrót hasonlítottam össze, melyek forgácsolóélük számában különböznek, de közös, hogy mindkettő PVD bevonattal rendelkezik.

Megvizsgáltam, hogy a fúrók milyen anyagminőséghez alkalmazhatók, és milyen forgácsolási paramétertartományban használhatóak. Ezek után Taguchi kísérlettervezéssel elkészítettem egy L9 ( $3^3$ ) kísérlettervet. Ez alapján egy parametrizált CNC programot írtam, ami a 9 furatot úgy fúrjuk ki, hogy érvényesüljön a kísérlettervben feljegyzet faktorokkal (A-fogankénti előtolás, B-annak %-os csökkentett értéke, illetve a C-forgácsolósebesség).

A Taguchi kísérletterv alapján végbe vitt fúrési kísérletet és kiértékelést Minitab17® szoftver segítségével értékeltem. Ahogy az a hatásdiagramokon látszik az előtolás érték csökkentése van legnagyobb hatással a furat minőségére. A ki és bemeneti szakaszt ábrázoló hatásdiagramokon látható, hogy minden esetben a 65%-os előtolás csökkentés eredményezi a legrosszabb felület érdességet és hengerességi hiba értéket. Ezen az értéken járulékos rezgések lépnek fel fúrás közben, melyek rontják a furatnak a jellemzőit. A Taguchi analízis alapján látható, hogy keresztthatás is fellép, mivel az egyes faktorok viselkedése azt mutatja.

Amennyiben kétélű fúrót alkalmazunk jó minőségű furatot készíthetünk, ha a forgácsolósebesség 50 vagy 90 m/perc-es értéket vesz fel, illetve, ha a fogankénti előtolást 30%-ára csökkentjük. Viszont, ha előtérbe helyezzük, hogy nagyon pontos furatot szeretnénk készíteni, legkisebb hengerességi hiba értéke a furatnak a 30%-ra csökkentett fogankénti előtolás értékénél, illetve 50 m/perc-es forgácsolósebességnél éri el.

Háromélű fúrónál amennyiben az érdességi értéket tesszük előtérbe akkor legjobb eredményt akkor érhetünk el, ha vagy nem alkalmazunk vagy 30%-ára csökkentett fogankénti előtolás értéket alkalmazunk 50m/perc-es forgácsoló sebesség mellett. De ha a furat alakhiba értékét is szeretnénk, hogy minél kisebb értéket vegyen fel nagy mértékben javítható, ha csökkentjük az előtolást be és kilépésnél, de ez a furatérdesség romlását

okozza. Azonban a háromélű fúró önközpontisító jellege segít a hengerességi hiba csökkentése érdekében, amely nagy előny a kétélű fúróval szemben.

Gazdasági oldalról tekintve, ha egy cégnek döntenie kell, hogy melyik fúrót válassza nagyon fontolóra kell vennie azt a tényt, hogy milyen pontosságú munkát szeretne végezni. Mivel a két fúró között különbség van optimális paraméterek terén, így különbözik az a minimális fúrt furathossz, amely fúrása felett érdemes használni, mint a kétélű, illetve háromélű fúrót. Ha a vállalatnak nem szükséges nagy pontosságú furatot előállítani, akkor elegendő a kétélű fúró használata, mivel általa hatszor kevesebb furat elkészítése után is gazdaságos a gyártás. Azonban háromélű fúró nagy pontossága végett, és gyorsabb megmunkálási paraméterekkel történő gyártásával több furatot kell elkészíteni, de azok nagyobb pontosságot érnek el, mintha kétélűvel készítettük volna azokat.

## **Tovább lépési lehetőségek**

TDK dolgozatom során a kísérletterv végrehajtásával, és a furatok tulajdonságait megvizsgálva, és kiértékelve Minitab17® szoftverben, meghatároztam egy globális optimumot mindkét szerszámmra, amivel a legjobb furatot tudjuk készíteni.

Azonban legjobb eredmény elérése érdekében a vizsgálatot tovább szeretném folytatni, és szűkített paraméter tartománnyal egy lokális optimumot találni, amellyel megtalálhatjuk a tényleges optimális paramétereket. Továbbá vizsgálni kívánom a faktorok egymásra gyakorolt kereszthatását is.

Mindezek mellett vizsgálni szeretném a szerszám élettartamát, mivel az jelentős mértékben növekedhet az alkalmazott előtolás csökkentés végett.

## Irodalomjegyzék

- [1] V.V. de Oliveira, P.A. de C. Beltrão, G. Pintaude, Effect of tool geometry on the wear of cemented carbide coated with TiAlN during drilling of compacted graphite iron, 18th International Conference on Wear of Materials, pp. 2561-2569, 2011
- [2] D. Biermann, M. Heilmann, M. Kirschner, Analysis of the Influence of Tool Geometry on Surface Integrity in Single-lip Deep Hole Drilling with Small Diameters, 1st CIRP Conference on Surface Integrity, pp. 16-21, 2011
- [3] A. Zabel, M. Heilmann, Deep hole drilling using tools with small diameters Process analysis and process design, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 61, pp. 111-114, 2012
- [4] E. Kilickap, Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite, Expert Systems with Applications Volume 37, pp.6116-6122, 2010
- [5] Kodácsy János, Gépgyártástechnológia, Kecskeméti Főiskola Nyomda, Kecskemét, p. 87, 2010.
- [6] Kodácsy J, Pintér J, Forgácsolás és szerszámai, Széchenyi István Egyetem, 2011,
- [7] Szalayné Kovács Eszter, Fúrás, Nemzeti szakképzési és felnőttképzési intézet, pp. 8-10  
[https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi\\_dokumentumok/Bemeneti\\_kompetenc\\_iak\\_meresi\\_ertekelesi\\_eszkozrendszerenek\\_kialakitasa/5\\_0111\\_022\\_101215.pdf](https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenc_iak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0111_022_101215.pdf)  
[Megtekintés dátuma: 2021.01.04]
- [8] Sandvik Coromant, Furatfúrás, <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/drilling/pages/default.aspx> [Megtekintés dátuma: 2021.01.04]
- [9] Diydata: Drillbits – the different types,  
Link: <https://www.diydata.com/tool/drillbits/drillbits.php> [Megtekintés dátuma: 2021.01.18].
- [10] Cnclathing: Types of drill bits  
Link: <https://www.cnclathing.com/guide/drill-bit-material-comparison-types-what-is-the-best-drill-bit-material-cnclathing> [Megtekintés dátuma: 2021.01.18].
- [11] Wood R. J. Tribo-corrosion of coatings: a review pp. 5502, 2007
- [12] Antunes R. A., De Oliveria M. C. L, Corrosion processes of physical vapor deposition-coated metallic implants, pp.425-460, 2009
- [13] Fauchais P. Vardelle A. Thermal sprayed coatings used againsts coorrosion and corrosive wear Advance Plasma Speay Applications chapter 1, 2012

- [14] Voevodin A, O' neill J, Zabinski J, Tribological performance and tribochemistry of nanocrystalline WC/amorphous diamond-like carbon composites, pp. 194-200, 2012
- [15] Chowdhury S., Borham J., Catledge S. A., Eberhardt A. W., Johnson P. S., Vohra Y. K. Synthesis and mechanical wear studies of ultra smooth nanostructured diamond(USND) coatings deposited by microwave plasma chemical vapor deposition with He/H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> mixtures, pp. 419-427, 2008
- [16] Hee Ay Ching, Dipankar Choudhury, Md Julker Nine, Noor azuan Abu Osman, Effects of surface coating on reducing friction and wear of orthopaedic implants, pp. 2-5 2014
- [17] Thomasnet: Drill bit materials  
Link: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/drill-bit-materials/> [Megtekintés dátuma: 2021.01.18].
- [18] Zsoldos Ibolya, Bevonatok – bevonatolási technológiák pp. 7-8
- [19] Gabriela Strnad, Joseph Buhagiar, LATEST DEVELOPMENTS IN PVD COATINGS FOR TOOLING, pp. 10-13, 2010.
- [20] Korszerű anyagok – korszerű technológiák, Felületmódosítás, <https://www.szfki.hu/~konczos/tanfolyam/6.pdf> [Megtekintés dátuma: 2021.01.19]
- [21] Sz. Csik Zsuzsanna, Szász András, Kojnok József, Speciális felületek – Felületi specialitások, pp.170-175 <http://real.mtak.hu/6307/1/1182706.pdf> [Megtekintés dátuma: 2021.01.19].
- [22] Dr. Lósy-Schmidt Ede, Dr. Barát Béla, Technikai Lexikon – építészet, mérnöki és gépészmérnöki tudományok, Budapest, 1928
- [23] Csizmazia Ferencné, Szerszámanyagok és kezelésük, p. 26 és pp. 42 - 44 ,2004  
Link: <https://docplayer.hu/3810716-Szerszamanyagok-es-kezelesuk.html> [Megtekintés dátuma: 2021.01.20]
- [24] Majid Tolouei-Rad, Ankit Shah, Development of a Methodology for Processing of Drilling Operations, p. 12, 2012
- [25] Manish Kale, Prof. D. A. Mahajan, Prof. (Dr.) S. Y. Gajjal- “A Review Paper on Development of SPM for Drilling and riveting operations, p.5, 2015
- [26] Chandresh P. Rana, Pankaj D Pandey, Akshar Y Parmar, Pradipsinh A Parmar, Advance types of drill bit—a review, p.543, 2017
- [27] Taegutec, furatkészítés szerszámai  
Link: [https://www.taegutec.com/pages/en/products-2/cutting-tools/?mod=document&pageid=1&keyboard\\_search\\_option%5Btree\\_category\\_1%5D%5Bkey%5D=tree\\_category\\_1&keyboard\\_search\\_option%5Btree\\_category\\_1%5D%5](https://www.taegutec.com/pages/en/products-2/cutting-tools/?mod=document&pageid=1&keyboard_search_option%5Btree_category_1%5D%5Bkey%5D=tree_category_1&keyboard_search_option%5Btree_category_1%5D%5)

Bvalue%5D=%ED%99%80+%EA%B0%80%EA%B3%B5%5EHolemaking&kboard\_search\_option%5Btree\_category\_2%5D%5Bkey%5D=tree\_category\_2&kboard\_search\_option%5Btree\_category\_2%5D%5Bvalue%5D=%ED%99%80+%EA%B0%80%EA%B3%B5+%EB%9D%BC%EC%9D%B8%5EHolemaking+Line&uid=2972  
[Megtekintés dátuma: 2021.01.25]

- [28] Stefan Roman, Drilling tool set, drilling tool and indexable bit therefor, p.1, 2003
- [29] Amir Parsian, Dynamics of Torsional and axial Vibrations in Indexable Drills, p.1-4, 2015
- [30] Ulrich Krenzer, Twist drill for drilling having a replaceable drill bit, and a replaceable drill tip for use in a twist drill, p.1, 2004
- [31] Szmejkál Attila, Ozsváth Péter, Járműszerkezeti anyagok és technológiák II. pp. 46-50, 2011  
[https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/97/dd/1/Szmejkál\\_Ozsvath\\_Jarmuszerk\\_II.pdf](https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/97/dd/1/Szmejkál_Ozsvath_Jarmuszerk_II.pdf) [Megtekintés dátuma: 2021.01.26]
- [32] C. J. Oxford Jr. A review of some recent developments in the design and application of twist drills, p.845, 1967
- [33] R. Hosoi, M. A. Fugelso, Int. J. Machine. Tool design, p.321, 1984
- [34] A. K. Pal, A. Bhattacharyya, G. C. Sen, Int. J. Machine tool design, p.205, 1965
- [35] R. Levi, Int. J. Machine tool design, p.269, 1967
- [36] G. F. Micheletti, R. Levi, The effect of several parameters on twist drill performance, p.863, 1967
- [37] S. Bera, A. Bhattacharyya, On the determination of torque and thrust during drilling of ductile materials, p.879, 1967
- [38] S. KALDOR and E. LENZ. CIRP Annals pp.29 – 23, 1980
- [39] S. Ema, H. Fujii és E. Marui, New type drill, with three major cutting edges, pp. 461-465, 1990
- [40] Tomas Beno, Curt Muhren, Drill bit with three cutting edges, p.1, 2004
- [41] Matthew Bono, Jun Ni, The location of the maximum temperature on the cutting edges of a drill, p.906, 2005
- [42] Kazuteru Takai, Three-bladed drill with cutting fluid supply hole, p.1, 2017
- [43] D. F. Galloway, Some Experiments on the Influence of various Factors on Drill Performance, pp.191-231, 1957
- [44] M. Tudea, Y. Hasegawa, H. Kimura, On Walking Phenomenon of Drill, pp.816-825, 1961

- [45] Jochem C. Roukema, Yusuf Altintas, Generalized modelling of drilling vibrations. Part I.: Time domain model of drilling kinematics, dynamics and hole formation pp. 1, 3, 10, 2006
- [46] H. Fujii, E. Marui, S. Ema, Whirling vibration in drilling. Part 1: Cause of vibration and role of chisel edge, p. 162, 1986
- [47] H. Fujii, E. Marui, S. Ema, Whirling vibration in drilling. Part 2: influence of drill geometries, particularly of the drill flank, on the initialation of vibration, p. 168, 1986
- [48] M. Kato, S.Enomoto, Y. Saito, T. Hanaoka, Whirling vobration of a drill at the beginning of cutting
- [49] H. Fujii, E. Marui, S. Ema, Whirling vibration in drilling. Part 3: Vibration Analysis in Drilling Workpiece with a Pilot Hole p. 318, 1988
- [50] Woei-Shyan Lee, Tzay-Tian Su, Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions, pp.199-201, 1997
- [51] Satish Chinchankar, S.K. Choudhury, Investigations on machinability aspects of hardened AISI 4340 steel at different levels of hardness using coated carbide tools, pp.126,128-133, 2013
- [52] Sayuti M, Sarhan AAD, Salem F, Novel uses of SiO<sub>2</sub> nanolubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption, pp. 265-276, 2014
- [53] Lin YC, Liu YX, Liu G, Chen MS, HUANG YS, Prediction of ductile fracture behaviors for 42CrMo steel at elevated temperatures, pp.221-228, 2015
- [54] Cui MC, Zhao SD, Zhang DW, Chen C, Fan SQ, Li YY, Deformation mechanism and performance improvement of spline shaft with 42CrMo steel by axial-infeed incremental rolling process, pp.2621-2630, 2017
- [55] Bayrakceken H, Tasgetiren S, Aksoy F, Failures of single cylinder diesel engines crank shafts, pp.725-730, 2007
- [56] El-Domiaty, Cold-workability limits for carbon and alloy steels, pp.171-183, 1999
- [57] The World Material: 1.7225 Material 42CrMo4 +QT Steel Chemical Composition, Equivalent, Properties  
Link: <https://www.theworldmaterial.com/42crmo4-steel-1-7225-material/>  
[Megtekintés dátuma: 2021.03.14]

- [58] Qingzhong Xu<sup>1</sup>, Jun Zhao, Xing Ai, Cutting performance of tools made of different materials in the machining of 42CrMo4 high-strength steel: a comparative study, pp. 4-9, 2017
- [59] Loksacél katalógus, C45  
 Link: <http://loksacel.hu/wp-content/uploads/2018/10/c45.pdf> [Megtekintés dátuma: 2021.03.21]
- [60] Didit Sumardiyanto, Sri Endah Susilowati and Anton Cahyo, Journal of Mechanical Engineering and Automation, pp.1-6, 2018
- [61] T.V. SreeramaReddy, T. Sornakumar, M. VenkataramaReddy, R. Venkatram, Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts, 2008
- [62] Taegutec katalógus  
 Link: <http://www.imc-companies.com/TaeguTec/ttkCatalog/Products.aspx?mapp=DR&app=77>  
 [Megtekintés dátuma: 2021.03.22]
- [63] NCT függőleges CNC megmunkálóközpontok, gépkönyv  
 Link: [https://www.nct.hu/pdf/gepkonyv/EmL-510-610-850-1020\\_gepkonyv\\_NCT\\_hun.pdf](https://www.nct.hu/pdf/gepkonyv/EmL-510-610-850-1020_gepkonyv_NCT_hun.pdf) [Megtekintés dátuma: 2021.03.22]