

# FORGÁCSOLT FELÜLET TOPOGRÁFIAI PARAMÉTEREINEK BECSLÉSE LÁGYSZÁMÍTÁSI ELJÁRÁSSAL

## ESTIMATION OF TOPOGRAPHIC PARAMETERS OF CUT SURFACE BY SOFT COMPUTING TECHNIQUE

Horváth Richárd\*, Lukács Judit\*\*

### ABSTRACT

*In this article the machinability of C45 steel type is investigated. During the cutting experiments, the depth of cut was held constant, the cutting speed and the feed was varied in six levels. The modern and more informative 3D parameter of the surface roughness,  $S_a$  (average surface roughness) is introduced. One of the main criteria of the cut surface is surface roughness. It is in strong connection with its working conditions and is affected by the cutting parameters. Sugeno type fuzzy based prediction model was generated to calculate average surface roughness as a function of cutting speed and feed. Further experimental runs were used to evaluate the accuracy of the phenomenological model. It was revealed that the presented fuzzy inference system is able to predict  $S_a$  with high accuracy: -0.44...0.49% for the teaching points and -5.77...6.68% for testing ones.*

### 1. BEVEZETÉS

A felületi érdesség, mint a forgácsolt alkatrészek folyamatosan növekvő kritériuma, mindig a gyártástechnológia egyik kutatási területe. A forgácsolt felületi érdességet nagyban befolyásolják a forgácsolási paraméterek. Az elmúlt években is számos kutatás foglalkozott a forgácsolt felületek érdességi paramétereinek becslésére adaptált módszereivel. Számos esetben a lágyszámítási módszerek vagy azok alkalmazása igen eredményesen alkalmazható. B. Veluchamy et al. [1] neuro-fuzzy módszert használtak esztergálás után fellépő átlagos (vonalmonti) érdesség  $R_a$  becslésére, Al7075 anyag esetén. Kísérleteikben a forgácsolási paraméterek hatását az átlagos felületi érdességre az alábbi tartományban vizsgálták:  $v_c = 900...1100$  m/min,  $a_p = 0,5-1,5$  mm;  $f = 0,5-0,7$  mm, 15 mérési pontban. Megállapították, hogy az általuk használt módszer 98%-os pontossággal írja le a vizsgálati paramétertartományt. Hasonlóan Fuzzy alapú módszerrel vizsgálta a felületi érdesség több paraméterét, többek között az átlagos felületi érdességet ( $R_a$ ) Tzu-Liang et al. [2]. 16 mérési pontban 2 szinten változtatták a forgácsoló

sebességet, és az előtoló sebességet, valamint a szerszám csúcssugarát (két féle szerszám) és két szinten változtatták a hűtő kenő anyag összetételét. Ship-Peng Lo [3] marásnál vizsgálta a kialakult felületi érdességet ( $R_a$ ) Fuzzy módszerrel. Vizsgálataiban 48 mérési pontban vizsgálta a kialakult érdességet úgy, hogy a forgácsolási paramétereket (forgácsolási sebesség, előtoló sebesség, fogásmélység) 4 szinten változtatta. Modelljében több tagsági függvényt is elemzett, ahol az eltérő módszerekkel 4% és 6,6%-os hibát ért el a prediktív modelljeiben.

Ebben a cikkben egy C45 acéltípus esztergálási kísérleteit végezzük, amelyben szisztematikusan változtatjuk a forgácsolási sebességet és az előtolást. A mérési pontokban mérjük a kialakult forgácsolt felület átlagos 3D értékét ( $S_a$ ). A forgácsolási paramétereiktől függő mért érdességi paraméter becslését Fuzzy módszerrel végezzük.

### 2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

#### 2.1. Kísérletben felhasznált alapanyag, szerszám és mérési berendezés

A forgácsolási kísérletekhez az egyik legáltalánosabban gépipari alkatrészekhez felhasznált acél típust választottuk (C45). Hiszen ennél a vizsgálatnál nem az acélféleség forgácsolhatósága van fókuszban (mint például az edzett acélok, erősen ötvözött acélok – ún. szuperötvözetek – vagy szén és üvegszál kompozitok esetén). Hanem a 3D-s felületi paraméterrel való minősítés, valamint a lágyszámítási módszer alkalmazhatóságának vizsgálata. Így a forgácsolási kísérleteket  $\varnothing 60$  mm  $\times$  120 mm-es munkadarabokon végeztük ( $l/d = 2$ , a munkadarab kihajlásának minimalizálása miatt). A forgácsolási kísérleti pontok 10 mm-es szakaszokban történtek, hogy az érdességmérésre elegendő hely álljon rendelkezésre, viszont a szerszám kopását (a rövid szakaszok miatt) minimalizáljuk, így csak a szerszám érdességelállító képessége legyen vizsgálva a kopásból adódó változások nélkül.

\* egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar

\*\* adjunktus, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar

A forgácsolási kísérleteket Dugard Eagle BNC CNC esztergagépen végeztük (fordulatszám tartomány: 100-4500,1/min;-motor teljesítménye: 7,58 kW)

A kísérleteknél használt szerszámszám kódja: PDJNR 2525M 15 és a forgácsoló lapka kódja: DCMT 11 T3 08-PM 4325 ami CVD bevonattal volt ellátva (Ti(C,N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN). Az ajánlott forgácsolási paraméter tartományok: forgácsoló sebesség,  $v_c=345...460$  m/min; előtolás,  $f=0,1...0,3$  mm; fogásvétel,  $a_p=0,5...3$  mm.

A 3D topográfiai vizsgálatokat Mahr Perthen Concept metszettepintós érdességmérővel végeztük 4×4 mm-es területen.

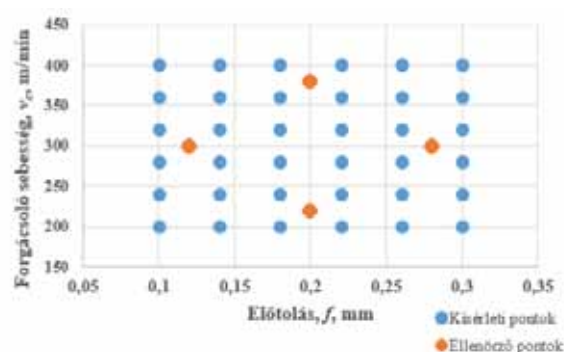
## 2.2. Mérési pontok és ellenőrző kísérleti pontok ismertetése

A mérési pontokat úgy állítottuk be, hogy az minél nagyobb technológiai paraméter tartományt fedjen le. Mivel az előgyártmányok egyre jobban közelítik meg a kész munkadarab geometriáját, valamint előzetes vizsgálatokból kiderült, hogy a fogásmélységnek van a legkisebb hatása a felületi érdességre ezért a fogásmélységet egy általánosan használt konstans értéken tartottuk a vizsgálatok alatt ( $a_p = 1,6$  mm). A forgácsolási sebességet ( $v_c$ ) hat szinten 200...400 m/min között és az előtolást ( $f$ ) is hat szinten változtattuk 0,1...0,3 mm között. A mérési és ellenőrzési pontokat és azok elhelyezkedését a vizsgált forgácsolási paramétersíkban mutatja az 1. táblázat valamint az 1. ábra.

2. táblázat Kísérleti pontok

Mérési pontok	$v_c$ , m/min	$f$ , mm
1	200	0,1
2	200	0,14
3	200	0,18
4	200	0,22
5	200	0,26
6	200	0,3
7	240	0,1
8	240	0,14
9	240	0,18
10	240	0,22
11	240	0,26
12	240	0,3
13	280	0,1
14	280	0,14
15	280	0,18
16	280	0,22
17	280	0,26
18	280	0,3
19	320	0,1
20	320	0,14
21	320	0,18
22	320	0,22
23	320	0,26
24	320	0,3
25	360	0,1

Mérési pontok	$v_c$ , m/min	$f$ , mm
26	360	0,14
27	360	0,18
28	360	0,22
29	360	0,26
30	360	0,3
31	400	0,1
32	400	0,14
33	400	0,18
34	400	0,22
35	400	0,26
36	400	0,3
37 (ellenőrzési pont)	300	0,12
38 (ellenőrzési pont)	380	0,2
39 (ellenőrzési pont)	300	0,28
40 (ellenőrzési pont)	220	0,2



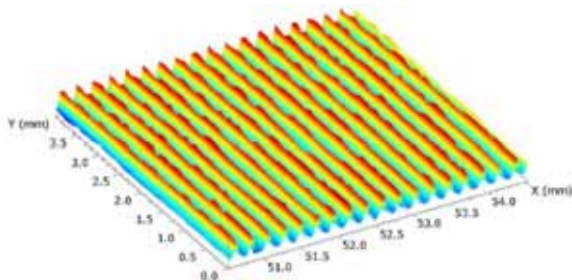
1. ábra Mérési és ellenőrzési pontok elhelyezkedése a vizsgált forgácsolási paraméter síkon

## 2.3. Felület átlagos érdességének ismertetése

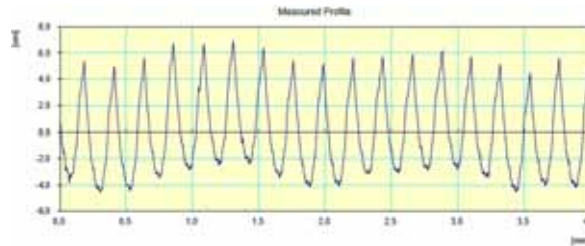
Alapvetően a felületi érdesség jellemzésére a mérés gyorsaságából adódóan 2D-s úgynevezett szűrt ( $R$  paraméterek) vonalmenti jellemzők vannak elterjedve [4]. Egyre elterjedtebb és a forgácsolt felületről lényegesen több információt adnak a térbeli 3D-s felületi érdességi paraméterek. Ebben a cikkben a forgácsolt felület  $S_a$  – átlagos érdességi paramétereit vizsgáljuk. A kétdimenziós paraméterekkel analóg módon ebben az esetben is átlagos felületi érdességről beszélünk [5, 6]:

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x,y)| dx dy \quad (1)$$

Azonos felületről mért 2D-s vonalmenti jellemző és 3D-s topográfia közötti különbséget mutatja a 2. és 3. ábra.



2. ábra Esztergált felületről készült szüretlen 2D-s P- profil



3. ábra Esztergált felületről készült 3D-s topográfia

#### 2.4. Alkalmazott lágyszámítási módszer bemutatása

Napjainkban szerteágazó mérnöki problémák megoldására van szükség, melyek közül számos olyan eset is előfordul, amely a klasszikus matematikai

alapelvek alkalmazásával nem, vagy csak nehézkesen kezelhető. Az esetleges algoritmizálási nehézségek adódhatnak információhiányból, pontatlanságból, bizonytalanságból. Ilyenkor lágyszámítási eljárások lehetőséget nyújtanak a közelítő következtetés alkalmazására [7].



4. ábra Fuzzy következtető rendszer működése [7]

A fuzzy halmazelmélet és fuzzy logika bevezetése L. A. Zadeh [8] nevéhez fűződik; alapvető célja az emberi gondolkodásmód matematikai leírásának a megvalósítása. Ezt a részleges igazság fogalmának bevezetésével teszi lehetővé, így kiterjesztve a kétértékű logika [9] határait. Ennek megvalósítása olyan módon történik, hogy a klasszikus (crisp) halmazelmülethez képest, ahol a halmazhoz tartozás egyértelműen, élesen definiált, a határok elmosódnak. Maga az angol „fuzzy” szó is ezt jelenti. Így lehetőséget biztosít a rendszer az átmenetek jobb kezelésére, a működés pontosabb leírására [7].

A módszer jól alkalmazható tehát empirikus modellek megalkotására, ezen esetekben a nyelvi változók alkalmazása lehetővé teszi a hagyományos módszereknél jobb pontosság elérését.

A fuzzy következtető rendszer Mamdani [10] típusú következtetés esetén 4 fő elemből épül fel (lásd 4. ábra). Első lépés a be- és kimenetek fuzziifikálása, ami a független és függő változó(k) viselkedését leíró tagsági függvények meghatározását jelenti. A szabálybázist alkotó szabályok HA ... AKKOR... (IF ... THEN ...)

felépítésűek, a bemenet(ek) és a kimenet(ek) közötti összefüggést írják le a rendelkezésre álló szakértői tudás felhasználásával. A fuzzy következtető gépben valósul meg a szabályok tüzelési szintjének a meghatározása, vagyis az illeszkedés mértékének a megadása. Ez alapján számítható a kimenet értéke. Az utolsó lépés gyakorlatilag egy fordítási folyamat. Mamdani típusú következtetés esetén a folyamat eredménye fuzzy halmaz, mely mérnöki vonatkozásban meglehetősen nehezen értékelhető. Ezért szükség van annak crisp értékkel való helyettesítésére. Ezt a nevezzük defuzziifikációnak.

Sugeno [11] típusú eljárás alkalmazásakor ezt a rendszerelemet elhagyhatjuk, mivel a következtetés eredménye vagy konstans érték, vagy egy elsőfokú függvény, mely jól értelmezhető. Ennek következtében a módszer alacsonyabb számítási kapacitást igényel, továbbá rugalmasabb következtetést tesz lehetővé [12].

Jelen tanulmány keretein belül a fuzzy alapú modellalkotás megvalósítására egy két bemenettel ( $v_e$ , m/min;  $f$ , mm) és egy kimenettel ( $S_a$ ,  $\mu\text{m}$ ) rendelkező rendszert vettünk alapul. Az átlagos felületi érdesség

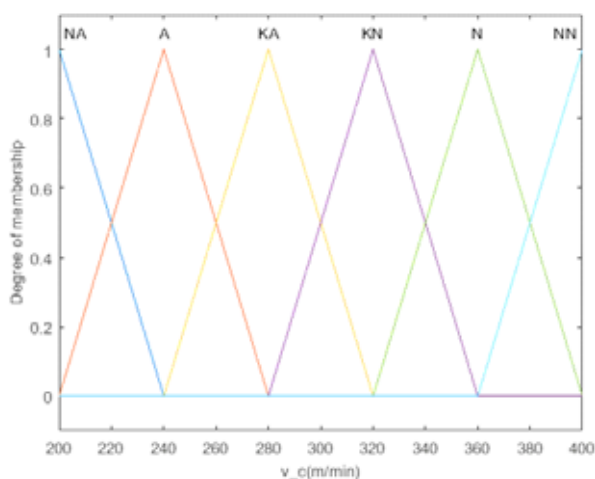
becslésére Sugeno típusú következtető rendszert hoztunk létre.

## 2.5. A módszer adaptálása

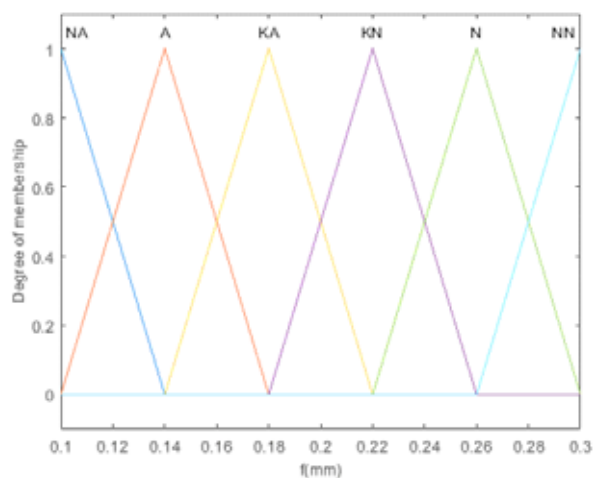
A következtető rendszer építése során első lépés a független változók tagsági függvényekkel történő leírása. Ennek megvalósítására nyelvi változók bevezetésével történik.

Mindkét bemenő változó értékét 6 különböző szinten változtattuk (lásd 1. táblázat). Ezek leírása szintenként egy-egy háromszög alakú tagsági függvénnyel történt, melyek megadása lingvisztikai kifejezések segítségével valósult meg az alábbiak alapján: NA (nagyon alacsony), A (alacsony), KA (közepesen alacsony), KN (közepesen nagy), N (nagy) és NN (nagyon nagy) szintek kerültek definiálásra.

Az 5. ábra a forgácsolósebesség, míg a 6. ábra az előtolás tagsági függvényekkel történő leírását szemlélteti.



5. ábra A forgácsolósebesség leírása



6. ábra Az előtolás leírása

A be- és kimenő paraméterek közötti összefüggés leírására teljes, lefedő szabálybázist hoztunk létre, így lehetséges a mérési folyamat alapján szerzett összes információ beépítése a fenomenológiai modellbe. Az egyes szabályok alapját a mérési pontok adták. A bemenetek összekapcsolása logikai ÉS kapcsolattal történt. A Sugeno típusú eljárás alkalmazása miatt a hozzájuk kapcsolt kimenetek konstans értékek voltak. A szabálybázis a 2 táblázatban található.

2. táblázat Fuzzy szabálybázis és a kapott eredmények

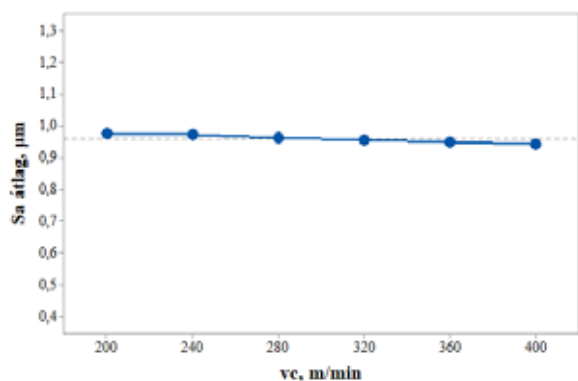
Ssz.	$v_c$ , m/mi n	$f$ , mm	$S_a$ (mért) $\mu\text{m}$	$S_a$ (számított) $\mu\text{m}$	Hiba, %
1.	200	0,10	0,464	0,464	0,00
2.	200	0,14	0,710	0,71	0,00
3.	200	0,18	1,015	1,01	0,49
4.	200	0,22	1,207	1,21	-0,25
5.	200	0,26	1,218	1,22	-0,16
6.	200	0,30	1,247	1,25	-0,24
7.	240	0,10	0,470	0,47	0,00
8.	240	0,14	0,722	0,722	0,00
9.	240	0,18	0,997	0,997	0,00
10.	240	0,22	1,178	1,18	-0,17
11.	240	0,26	1,215	1,22	-0,41
12.	240	0,30	1,258	1,26	-0,16
13.	280	0,10	0,475	0,475	0,00
14.	280	0,14	0,717	0,717	0,00
15.	280	0,18	0,982	0,982	0,00
16.	280	0,22	1,170	1,17	0,00
17.	280	0,26	1,192	1,19	0,17
18.	280	0,30	1,236	1,24	-0,32
19.	320	0,10	0,483	0,483	0,00
20.	320	0,14	0,731	0,731	0,00
21.	320	0,18	0,983	0,983	0,00
22.	320	0,22	1,145	1,15	-0,44
23.	320	0,26	1,189	1,19	-0,08
24.	320	0,30	1,198	1,2	-0,17
25.	360	0,10	0,468	0,468	0,00
26.	360	0,14	0,729	0,729	0,00
27.	360	0,18	0,961	0,961	0,00
28.	360	0,22	1,118	1,12	-0,18
29.	360	0,26	1,197	1,2	-0,25
30.	360	0,30	1,210	1,21	0,00
31.	400	0,10	0,467	0,467	0,00
32.	400	0,14	0,766	0,766	0,00
33.	400	0,18	0,967	0,967	0,00
34.	400	0,22	1,100	1,1	0,00
35.	400	0,26	1,168	1,17	-0,17
36.	400	0,30	1,193	1,19	0,25
37.	300	0,12	0,644	0,601	6,68
38.	380	0,2	1,03	1,04	-0,97
39.	300	0,28	1,17	1,2	-2,56
40.	220	0,2	1,04	1,1	-5,77

A fent ismertetettek alapján Sugeno típusú következtető rendszer hoztunk létre az átlagos felületi érdesség 3D paraméter prediktív számítására.

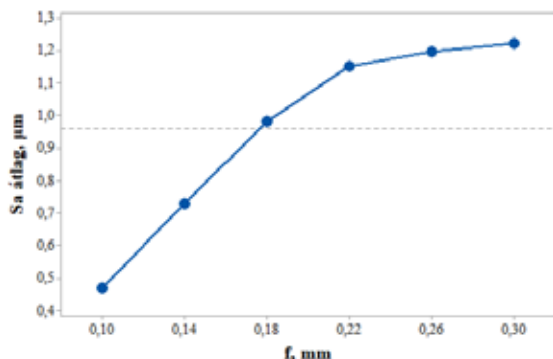
### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. Mérési pontokból kapott eredmények bemutatása

A mért eredmények elemzésénél a 7. ábrán jól látszik az ábrán, hogy a forgácsoló sebesség növelésének az  $S_a$  paraméterre nincs hatása, az előtolás növelése pedig növeli az  $S_a$  érdességi paramétert (8. ábra) a vizsgált forgácsolási tartományon.

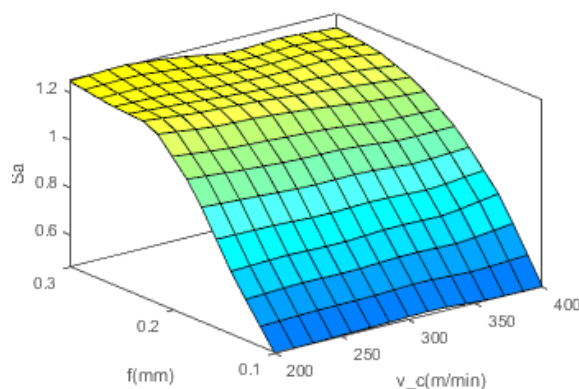


7. ábra A forgácsolási sebesség hatása az  $S_a$  paraméterre



8. ábra Az előtolás hatása az  $S_a$  paraméterre

Az átlagos felületi érdesség  $S_a$  topográfiai paraméterének változását mutatja grafikus ábrázolással a 9. ábra a bemenő forgácsolási paraméterek függvényében.



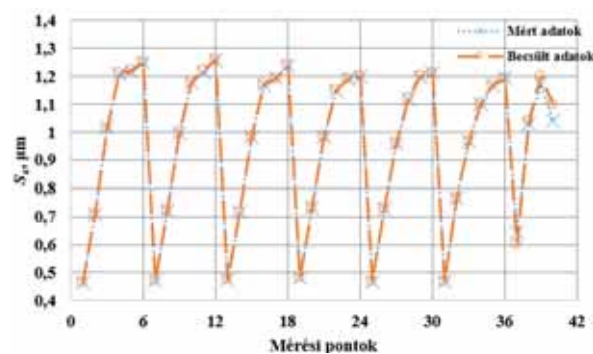
9. ábra Az  $S_a$  paraméter a forgácsolási sebesség ( $v_c$ ) és az előtolás ( $f$ ) függvényében

A Fuzzy alapú prediktív módszerrel a mérési pontokban (1. táblázat: 1-36 pontok) a modell nagy pontossággal becsüli az  $S_a$  paraméter értékét - 0,44...0,49% közötti eltéréssel.

#### 3.2. Modell vizsgálata az ellenőrző pontokkal

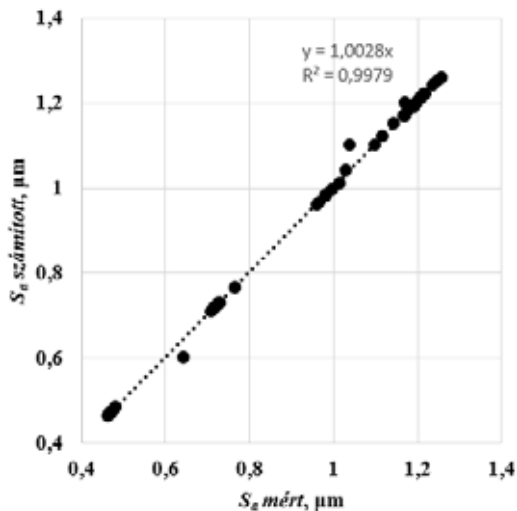
A szabályrendszer alkotásában figyelmen kívül hagyott, de a vizsgálat tartományon belüli ellenőrző pontok esetében (2. táblázat: 37-40 pontok) az eltérés - 5,77...6,68% közötti, mely technológiai előtervezésnél szintén jónak mondható.

A kísérleti pontok és a modelltől számított értékek teljes összehasonlítását ismerteti a 10. ábra.



10. ábra Az  $S_a$  paraméter mért és számított értékei

A modell jóságát jellemezhetjük úgy is, hogy a mért és a becsült értékeket, mint  $x,y$  pontpárokat ábrázoljuk. A modell jóságát mutatja az, ha minél jobban megközelíti az  $x=y$  egyenest, ezt a jellemzést ismerteti a 11. ábra. Az ábrán jól látható, hogy a mért és a becsült pontok jól megközelítik a  $x=y$  egyenest.



11. ábra a mért  $S_a$  paraméter a számított

#### 4. KONKLÚZIÓ

Ebben a publikációban egy általánosan használt C45-ös acéltípus esztergálási kísérleteit végeztük el. A forgácsolási paramétereket viszonylag nagy tartományban (összesen (36 mérési pontban és 4 ellenőrző pontban) végeztük el ( $v_c=200-240-280-320-360-400$  m/min;  $f=0,1-0,14-0,18-0,22-0,26-0,3$ ).

A forgácsolási kísérletek után mérésre került a forgácsolt felület  $S_a$  – átlagos érdességi topográfiai paramétere, majd Fuzzy alapú módszerrel kerestük a bemenő forgácsolási paraméterek és a kimenő érdességi paraméter közötti kapcsolatot. A vizsgálatokból az alábbi következtetések vonhatóak le:

- a forgácsoló sebesség növelése a vizsgált  $S_a$  paraméter nincs hatással a vizsgált paraméter tartományon belül;
- az előtolás növelése növeli az  $S_a$  érdességi paraméter értékét;
- a modell pontossága jónak mondható a vizsgálat paraméter tartományon, az ellenőrző pontokban az eltérések értéke  $-5.77...6.68\%$ ;
- az alkalmazott lágyszámítási módszer jól használható az ilyen forgácsolási paraméter(ek) becslésére is;
- az alkalmazott módszer és annak használhatósága lehetőséget nyújt a továbbfejlesztésre, akár a további topográfiai változók vagy más forgácsolási paraméterektől függő jellemző becslésére.

#### 5. IRODALOM

[1] VELUCHAMY, B., KARTHIKEYAN, N., KRISHNAN, B. R., & SUNDARAM, C. M.: Surface roughness accuracy prediction in turning of

Al7075 by adaptive neuro-fuzzy inference system. *Materials Today: Proceedings* (2020) <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.560>

- [2] TSENG, T. L., KONADA, U., & KWON, Y.: A novel approach to predict surface roughness in machining operations using fuzzy set theory. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(1), (2016) pp. 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcde.2015.04.002>
- [3] Lo, S. P.: An adaptive-network based fuzzy inference system for prediction of workpiece surface roughness in end milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(3), (2003) pp. 665-675. doi:10.1016/S0924-0136(03)00687-3
- [4] GADELMAWLA, E. S., et al. Roughness parameters. *Journal of materials processing Technology*, 2002, 123.1: 133-145. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2)
- [5] KONCSIK, ZS., MOLNÁR, V., MAROSNÉ BERKES M., KUZSELLA L.: Az érdességmérés alkalmazhatóságának lehetőségei és korlátai műszaki kerámiák kopásvizsgálata során, *Gép*, Vol. 11 (2012), pp. 55-63.
- [6] ISO 25178-2:2012: Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters
- [7] KÓCZY, L. T., TIKK, D.: *Fuzzy rendszerek*. TypoTEX, Budapest, (2000).
- [8] ZADEH, L. A.: *Information and control*. Fuzzy sets, 8(3), (1965) 338- 353.
- [9] GIVANT, S., & HALMOS, P.: *Introduction to Boolean algebras*. Springer Science & Business Media (2008) ISBN 978-0-387-40293-2 ISBN 963-9136-55-1
- [10] MAMDANI, E. H., & ASSILIAN, S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, (1975), 7(1), 1-13.
- [11] SUGENO, M., YASUKAWA, T.: A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. (1993) *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 1(1), 7.
- [12] KHOSRAVANI, R., SABAH, M., WOOD, D. A., SHAHRYARI, A.: Weight on drill bit prediction models: Sugeno-type and Mamdani-type fuzzy inference systems compared. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 36, (2016) 280-297. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.10.046