

MÉRÉSI BEÁLLÍTÁSOK HATÁSA A TOPOGRÁFIA MÉRT ÉRTÉKEIRE HOMLOKMART FELÜLETEN

Nagy Antal 

PhD hallgató, Gyártástudományi Intézet, Miskolci Egyetem
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: antal.nagy@uni-miskolc.hu

Kundrák János 

Professor Emeritus, Gyártástudományi Intézet, Miskolci Egyetem
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: kundrak@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Az érdességmérési beállítások hatással lehetnek a forgácsolt felület mért 3D-s topográfiai értékeire. E hatásokat a kutatók kevésbé vizsgálták, pedig az adott megmunkálás forgácsolási, elsősorban kinematikai viszonyainak függvényében ennek (a mérési beállítások) figyelmen kívül hagyása a pontosságát és reprodukálását akár jelentősen is befolyásolhatja. Ezért indokoltnak láttuk a mérési beállítások hatásának feltárását és ezen vizsgálatok eredményeinek elemzését. A cikkben homlokmart síkfelületen vizsgáltuk a mérőrendszeren beállítható értékek – a mért pontok távolsága és a mérési sebesség – hatását az érdességi paraméterekre.

Kulcsszavak: felületi érdesség, felületi topográfia, konfokális kromatikus szenzor

Abstract

The roughness measurement settings can affect the 3D areal roughness results of the machined surface. These effects have been poorly investigated by researchers. Ignoring these may significantly affect the results' accuracy and reproduction, depending on the cutting, mainly the kinematic conditions of the machining. Therefore, we aimed to explore the effect of the measurement settings and analyze the results of the studies. In the article, we examined the effect of the values that can be set on the 3D measuring instrument – density of the measured points and measuring speed – on the roughness parameters on a face milled plane surface.

Keywords: surface roughness, areal roughness, confocal chromatic sensor

1. Bevezetés

Egy felület érdességét két dimenzióban, profil mentén már több mint 100 éve vizsgálják (Jiang et al., 2007), azóta különböző módszereket fejlesztettek ki a mérések megvalósításához. A sokéves tapasztalatok alapján megállapodások születtek a mérési műveletekben a mérési beállítások egységesítésére, melyeket különböző nemzeti és nemzetközi szabványokban foglaltak össze. Emellett az utóbbi több mint két évtizedben a felületen értelmezett 3D-s topográfia vizsgálata is egyre nagyobb teret hódít, mivel pontosabb és több információt hordozó elemzés lehetőségét biztosítja a felületekről. A fejlődés ellenére van olyan vélemény, hogy a topográfiairól szerzett (még inkább a szerezhető) információkat még mindig nem kezelik professzionális módon (Fecske et al., 2020).

A különböző eljárásokkal megmunkált alkatrészek felületeinek topográfiai vizsgálata és annak eredményei változatlanul és folyamatosan az érdeklődés középpontjában állnak, mivel a felületi érdességnek (topográfiának) kiemelt jelentősége van a gyártási folyamatokban a működési, tribológiai stb. tulajdonságok eléréséhez. A felületek technológiai és felhasználási tulajdonságai közötti összefüggések egyértelmű meghatározása bonyolult, ezért nehéz következtetni a felületek működési és funkcionális tulajdonságaira közvetlenül a felületek profil és felületi érdességi paramétereiből (Zagórski et al., 2020). A mérési feltételek vizsgálatát indokolja, hogy egyre bonyolultabb felületeket tudunk előállítani, és a termelékenység növelése, a szerszámgepeken alkalmazott kinematikai megoldások és technológiai beállítások is pontosabb elemzést igényelnek. Például a növelt előtolás a termelékenységet fokozza, de egyúttal az érdességet meghatározóan befolyásoló forgácsolási adat (Karpuschewski et al., 2017).

A felületen létrehozott topográfia megfelelő minősítéséhez (topográfia, illetve textúra jellemzők helyes méréséhez és elemzéséhez) szükséges a mérőgépen az előírásoknak megfelelő beállítások alkalmazása. Ezeket az ISO 25178:2021 (ISO 25178, 2021) szabvány tartalmazza, amelyben az ISO 25178-3:2012 (ISO 25178-3, 2012) ad leírást a mérések beállításához. E szerint a vizsgált topográfia négyzet területű, azonos oldalhosszú legyen, a fő vizsgálati irány pedig a vonatkozó szabványban a profilmérésnél leírtakkal egyezzen meg. A mért felületen az alaki eltérést a névleges alaknak megfelelően kell eltávolítani, ezenkívül a mikroérdességet leválasztó S-szűrő és az érdességet a hullámosságtól elszeparáló mintavételi hossz is alkalmazandó Gauss-szűrőként, X és Y irányban egyaránt. Mindkettő értéke táblázatból megválasztható, amely az ISO 21920 (ISO 21920, 2021) szabványban feltüntetett megfelelő értékkel azonos lehet. Javasolt a kiértékelési hosszak a mintavételi hossz ötszörösét felvenni.

Homlokmarat felületen továbbá figyelembe kell venni, hogy az előtolási sebesség növelése elméleti és valós felületen nemcsak az érdességi értékek jelentős növelését eredményezi (Kundrák et al., 2018), hanem a felület eltérő részein mért értékek közötti differenciákat is növeli (Kundrák et al., 2016) (Varga et al., 2017). A szomszédos szerszámél lenyomatok távolsága befolyásolja az érdességmérés kiértékelésekor beállítandó szabványos kiértékelési és levágási hosszt. Mindezek miatt kiemelt jelentősége van forgószerszám megmunkálásoknál a teljes előállított felületekre vonatkozó beállítási értékek megadására. Ugyanis néhány megmunkáló eljárással ellentétben, ahol előtolási irányban különböző felületelemeken az érdesség elméleti értékei azonosak (Kundrák et al., 2019), marásnál eltérőek. Ezért a különböző felületelemek elméleti és mért értékei is különböznek. Ilyen eljárásokkal előállított felületek elméleti topográfiájának érdességi jellegzetességeit Felhő pontosan bemutatta az általa kidolgozott CAD modell segítségével (Felhő, 2014), amelyet csak a szerszám élgeometria és a kinematikai viszonyok határoznak meg. Egyúttal kialakította a kívánt érdességi értékek becslésének és tervezhetőségének lehetőségét (Kundrák et al., 2016). Kundrákkal együttműködve, a modell adottságai révén rámutattak (Kundrák et al., 2018) a sík felület különböző részein végzett mérésekkel, hogy a homlokmarat felület érdesség értékei pozícióként változók. Ismertették az elméleti és a kísérleti érdességi mérőszámok közti kapcsolat leírására alkalmas módszert határozott élű szerszám megmunkálásra (Felho et al., 2012). Az összefüggések meghatározásához a kiszámított elméleti érdességi értékeket, valamint a kísérletek során előállított felületek mért érdességét használták fel.

A felületi topográfia elemzésére irányuló publikációkban a mérés beállítási paramétereinek megadása nagy változatosságot mutat. Több esetben tapasztalható a nem teljeskörű megadás, ami ahhoz vezet, hogy a mérés nem reprodukálható megfelelő megbízhatósággal. Takács munkatársaival kemény acélok mikromarását vizsgálta (Balazs et al., 2020), mely során variancia analízis módszerrel értékelték az egyes forgácsolási adatok hatásainak mértékét. A cikkben a mérés során alkalmazott eszköz ismertetése mellett a mérések helyét és irányát adták meg. Egy másik vizsgálatukban (Adizune et al., 2022), ahol a kemény anyagok mikromarására kidolgoztak egy felületi érdességet előre megbecsülő, mesterséges neurális háló

elven működő modellt, mindössze az érdességmérő eszköz típusát közölték. Eifler és mtsai. az Sa és Sq paraméter értékekkel hasonlították össze a $600 \times 600 \mu\text{m}^2$ területeken mért eredményeket, ahol F-operátort és Gauss típusú L-szűrőt alkalmaztak a kiértékelések során (Eifler et al., 2018). Magnéziumötvözet nagysebességgel homlokmarat felületein elemezte az érdességet Zagórski és Korpysa az Abbott-Firestone görbét és az Sa , St , Sp , Sv , Ssk és Sku mérőszámokat felhasználva (Zagórski et al., 2020). Megadták a mérőeszköz típusát, a tapintó méretét és a mérési irányt. A kiértékelés során Gauss szűrőt alkalmaztak. Mikó, munkatársaival együttműködve gömbvégű maróval forgácsolt szoborfelületek topográfiáját analitikai és kísérleti úton vizsgálta. Felírták az elméleti (maximális) csúcsmagasság egyenletét geometriai alapon (Mikó et al., 2012). Ennek értékeit hasonlították össze a forgácsolt felületen mért Rt illetve Rz (Beno et al., 2014) paraméterek értékeivel, ahol a szerszámél - munkadarab felület érintőszögét, az előtolást, a forgácsolósebességet és a fogásszélességet változtatták. A kísérleti eredmények alapján regressziós analízissel közelítő összefüggéseket adtak meg Rz -re, és statisztikai úton elemezték a forgácsolási adatok és a felületi dőlésszög hatásainak mértékét (Mikó et al., 2016). Megállapították, hogy a maximális egyenetlenség-magasságot nem csak a barázda irányú egyenetlenség határozza meg, hanem a léptetésből (fogásszélességből) adódó domborzat is. Kijelentették, hogy az elméleti és a mért Rz értékek közötti összefüggés nem lineáris és nem teljesen egyértelmű; más paraméterek is hatással vannak az eredményekre. A vizsgálataik során közölték a mérőeszköz típusát, a tapintó adatait (csúcssugár, feszítőerő a felületre, szűrési feltételek), a mérések helyét és irányát, illetve a kiértékelési és levágási hosszt. Itt tapasztaltuk az egyik legteljesebb megadási módját a mérési és kiértékelési feltételeknek. Molnár a keménysztergált és köszörült felületeken mért érdességi paraméterek, és a tribológiai jellemzők korrelációinak meghatározásával foglalkozott (Molnar, 2022). Azt tapasztalta az azonos tribológiai jellemzőt leíró érdességi paraméter párok (a topográfia csúcsrészére az $Sp - Vmp$, és völgyrészére az $Sv - Vvv$) erős kapcsolata alapján, hogy a párok bármelyike megbízhatóan alkalmazható az adott szempontú jellemzéshez. A cikkben közölte a méréshez alkalmazott mérőeszköz és szenzor típusát és érzékenységet, Gauss szűrés mellett a kiértékelési és a levágási hosszt, valamint a kiértékelte felületelem alakját, méretét és benne a mérési pontok sűrűségét. Így a mérési és kiértékelési feltételeket teljeskörűen megadta, de nem volt célja ezek hatásait tanulmányozni.

Az alábbiakban néhány jellegzetes vizsgálatot mutatunk be, ahol a mérőgépen beállítható paraméterek elemzésével foglalkoztak. Molnár az érdesség kiértékelésekor felvett területek nagyságának mérési eredményre való hatásával foglalkozott, azzal a céllal, hogy megfelelően pontos eredmény mellett minimalizálható legyen a ráfordított munka és idő (Molnar et al., 2022). Ugyanis az ISO 25178 szabványban a kiértékelési terület mérete nincs rögzítve. Ehhez edzett acélon keménysztergált, illetve köszörült furatokat mért meg. Meghatározta érdességi paraméterenként azokat a legkisebb területnagyságokat, melyek értékei a legnagyobb területen mért értékektől legfeljebb 5%-os eltérést mutattak. Megállapította, hogy a minimális területnagyságok egyértelműen kijelölhetők, amelyek a vizsgált paramétereknél eltértek. A terület csökkenésével az érdesség értékeiben jelentős ingadozást tapasztalt. A más-más topográfiai jellemzőre mutató érdességi paraméterek értékváltozásainak jellege eltérő volt.

Érdességi vizsgálatkor a szabványos kiértékelési hossz felvétele gyakran nem lehetséges a felület korlátozott kiterjedése miatt. Ekkor a szabvány megengedi a kisebb érték beállítását, ami miatt a vizsgált felületek eredményei nem feltétlenül összehasonlíthatók. Nagalingam és mtsai. ilyen megfontolásból additív megmunkálással készített fém alkatrészekon vizsgálták a kiértékelési és a mintavételi hossz változtatásának hatását a 2D-s és 3D-s érdesség értékekre (Nagalingam et al., 2021). Javasolják a levágási hossz szabványos értékének rögzítését, amely nagymértékben befolyásolta az értékeket, és szükség szerint a kiértékelési hossz változtatható, mely hatása kismértékűnek bizonyult. Valamint a

kiértékelt topográfia oldalhosszait ajánlják azonosra felvenni a pontosabb számításokért, melyek lehetőleg a levágási hossz ötszöröse, de minimum a kétszeresei legyenek.

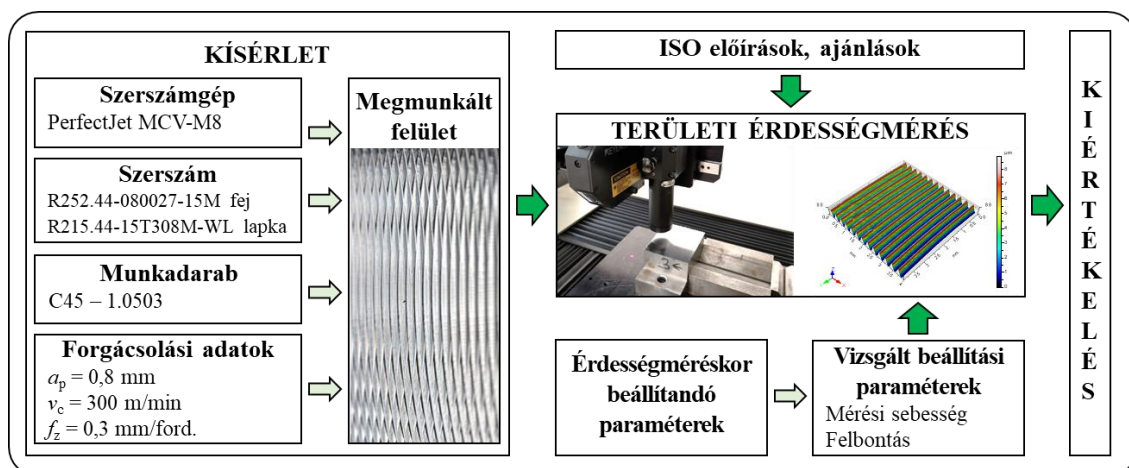
Žylka a különböző lenyomattal megmunkált felületeken vizsgálta a megadott területnagyságú topográfia mérési pontjainak sűrűségét, hogy az milyen hatással van az érdességi kiértékelés pontosságára (Zylka, 2021). Valamennyi vizsgált felületi textúra esetében arra a megállapításra jutott, hogy a mérési pontok távolságának csökkentése az eredmények pontosságának javulásához vezet. Az optimum értékek megválasztásához összefüggést írt fel, amely függ az S_{sc} (a kiemelkedő csúcsok körülírható köreinek átlagos sugara), az S_{dq} (a felületi egyenetlenség átlagos meredeksége) paraméterek értékeitől, és a tapintó csúcssugarától.

Davinci és mtsai. etalon felületen vizsgálták a tapintós érdességmérés során beállítandó mérési sebesség és a fő mérési irányú ponttávolság változtatásának hatását 2D-s és 3D-s érdességi paraméterekre (Davinci et al., 2014). Megállapították, hogy a sebességnek jelentős hatása az R_a , S_a és R_z , S_z paraméterekre, a pontsűrűségnek az R_q -ra és S_q -ra is van. A sebesség növelése során azt tapasztalták, hogy míg a kisebb beállításoknál (50 $\mu\text{m/s}$ – 1 mm/s) közel azonos értékek adódtak, a nagyobb sebességeknél értéknövekedést mértek; R_a , R_q esetében 2%-ot és R_z paraméternél 6,2%-ot. A ponttávolság növelése során csökkentek a 2D-s érdességi értékek, melynek mértéke nem haladta meg a 3%-ot.

E rövid irodalmi áttekintésből is látható, hogy az érdesség vizsgálatánál ritkábban adják meg a mérőgépen beállítható adatokat, legritkább esetben törekedve a teljességre, és keveset vagy egyáltalán nem foglalkoznak a mérési beállítások hatásának elemzésével, illetve a beállítások indoklásával. Ezen adatok sokszor hiányos megadása csorbítja a vizsgálatok reprodukálhatóságát, a paraméterek értékeinek változtatása pedig az érdességi eredmények eltéréseihez vezethet. Ezek kiküszöböléséhez a különböző eljárással és forgácsolási feltételek mellett megmunkált felületekhez a szabványos értékek tudatos megválasztása szükséges.

2. A kutatás célja és a kísérleti körülmények

A vizsgálatok célja a mérőrendszeren beállítható értékek hatásainak elemzése a topográfiai paraméterek értékeire. Ehhez homlokmarat síkfelületen elemezzük a mérési sebességnek, valamint a kiértékelt területen felvett pontok számának a hatását különböző érdességi paraméterek értékeire, figyelembevéve a vonatkozó érdességmérési szabvány előírásait (1. ábra).



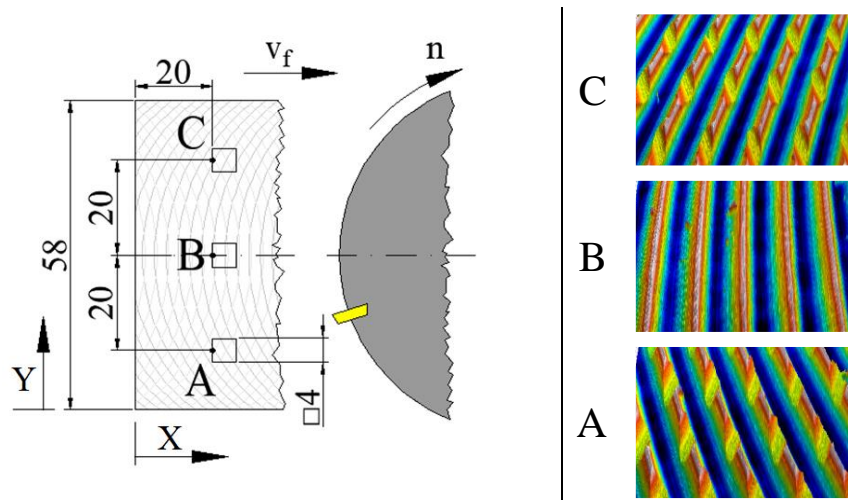
1. ábra. Vizsgálat folyamata

2.1. Kísérleti feltételek

A vizsgálathoz a forgácsolási kísérleteket egy PerfectJet MCV-M8 típusú függőleges marógépen végeztük, amelyben egy Sandvik R252.44-080027-15M homlokmaró fejet (névleges átmérője $D_1=80$ mm) alkalmaztunk a megmunkáláshoz. A marófejbe egy lapkát fogtunk be, mely Sandvik R215.44-15T308M-WL típusú, GC4030 minőségű paralelogramma alakú, bevonatolt keményfém lapka ($\kappa_r=90^\circ$, $\gamma_o=0^\circ$, $\alpha_o=11^\circ$, $r_\epsilon=0,8$ mm) volt. Normalizált állapotú C45 minőségű ötvöztelen acél (1.0503) munkadarabon sík felületet forgácsoltunk hűtés-kenés nélkül, 58 mm szélességben és 50 mm hosszán. A gépen $v_c = 300$ m/min forgácsolósebességet, $a_p = 0,8$ mm fogásmélységet és $f_z = 0,3$ mm/ford. előtolást állítottunk be. A megmunkálás során a szerszám tengelyvonala a mart síkfelület szimmetriavonalát járta be. Valamint a merőleges tengelyhelyzet révén a szerszámél előrehaladásakor, majd visszafordulásakor is forgácsolta a felületet, így azon kettős marónyom alakult ki.

A munkadarabok felületeit egy AltiSurf 520 felületi topográfiamérő berendezésen mértük meg egy CL2 konfokális kromatikus szenzorral. A felületeken a topográfia mérést 3 különböző helyen végeztük, melyek egyikét (**B** felületelem) a marási szimmetriasíkhhoz igazítottuk, az **A** és **C** területek pedig attól egyforma távolságra vannak (2. ábra). A homlokmarásra jellemző, hogy a kinematikai viszonyokból adódóan a felület különböző részein változnak az érdességi lenyomatok, így az érdesség értékei is (Nagy et al., 2020).

A méréseket az AltiMap Premium szoftverben értékeltük ki. A méréseket és a vizsgálatokat az ISO 25178-3:2012 szabvány (ISO 25178-3, 2012) előírásainak betartásával végeztük el. Ennek megfelelően a mért felületelemek kiértékelési területe $I_n = 4 \times 4$ mm² volt. Ezen S-L felületeken alkalmaztunk különböző szűréseket. Először egy alakhiba levételt, amely a sík felületeknél vízszintezést jelent. Ezután levágtuk a legmagasabb és legmélyebb hibás részeket a topográfiaíkról, végül a hullámosság leválasztásához Gauss-típusú, $I_r = 0,8$ mm mintavételi hosszt állítottunk bevolt.



2. ábra. Mért felületelemek helyzetei

2.2. Kísérleti módszer

A vizsgálat során fő (X) mérési iránynak az előtolással párhuzamos irányt vettük fel (2. ábra), amelyet az ISO 21920:2021 szabvány (ISO 21920, 2021) a 2D-s érdességmérés során is előír.

Az alábbiakban felsoroljuk az optikai szenzorral végzett érdességmérés során a lehetséges beállítható paramétereket.

- A fő (X) mérési irányban a mérési sebesség,
- A fő (X) mérési irányban a felületelem mért pontjai közötti távolság,
- A merőleges (Y) mérési irányban a felületelem mért pontjai közötti távolság,
- Felületelem nagysága, és pozíciója a felületen (megadható kezdő-, közép-, vagy végpontjával),
- A méréshez használt szenzor típusa, és a hozzátartozó konfigurációs adatok,
- A szenzorból kibocsátott, illetve a felületről visszavert fénynyaláb fényerőssége.

A mérési pozíciók és a mért felületelemek nagyságai is azonosak a felületen. Továbbá rögzítettük a méréshez használt szenzort (lásd a 2.1. alfejezetben). A fénynyaláb erősségét úgy állítottuk be, hogy a teljes felületet előzetesen végig pásztázva a vezérlés ne jelezzen vissza se túl kevés, se túl sok visszavert fényt a detektorba. Minden mérést háromszor ismételtünk meg, a közölt értékek a mérési eredmények számtani átlagai.

Ebben a munkánkban a mérési sebesség és a mért területek X és Y irányú felbontásának hatását vizsgáljuk a topográfia értékeire. Ezen paraméterek értékeit az 1. táblázatban foglaljuk össze.

1. táblázat. A vizsgált paraméterek beállított értékei

Vizsgált paraméter	Beállított értékei
Mérési sebesség X irányban	$v_x = 200-1000 \mu\text{m/s}$, $100 \mu\text{m/s}$ -os lépésként
Ponttávolság X irányban	$l_x = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \mu\text{m}$
Ponttávolság Y irányban	$l_y = 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 \mu\text{m}$

3. Mérési eredmények és kiértékelésük

A vizsgálat során az iparban gyakrabban alkalmazott 3D-s érdességi paraméterek értékeit közöljük, és segítségükkel elemezzük a vizsgált paraméterek hatását (Todhunter et al., 2017). Egy korábbi cikkben (Nagy, 2020) $f_z = 0,1 \text{ mm/ford}$. előtolás értékkel és azonos egyéb forgácsolási feltételek mellett homlokmart síkfelületen vizsgáltuk ezen beállításokat. Ez lehetőséget ad arra, hogy a jelen vizsgálat során kiértékelt eredményeket és az észrevételeket összehasonlítsuk a korábban tett megállapításokkal. Az előtolás változtatásának igényét az indokolta, hogy a forgácsolási adatok közül az az egyik érdességet legjobban befolyásoló paraméter.

A kiértékelés során az értékek különbségét adott S_i érdességi paraméter és mérési hely szerint az alábbi százalékos kifejezéssel határozzuk meg (1. egyenlet).

$$\text{Értékek százalékos különbsége} = \frac{\max(S_i) - \min(S_i)}{\text{átlag}(S_i)} [\%] \quad (1)$$

- **A mérési sebesség hatása az érdességre**

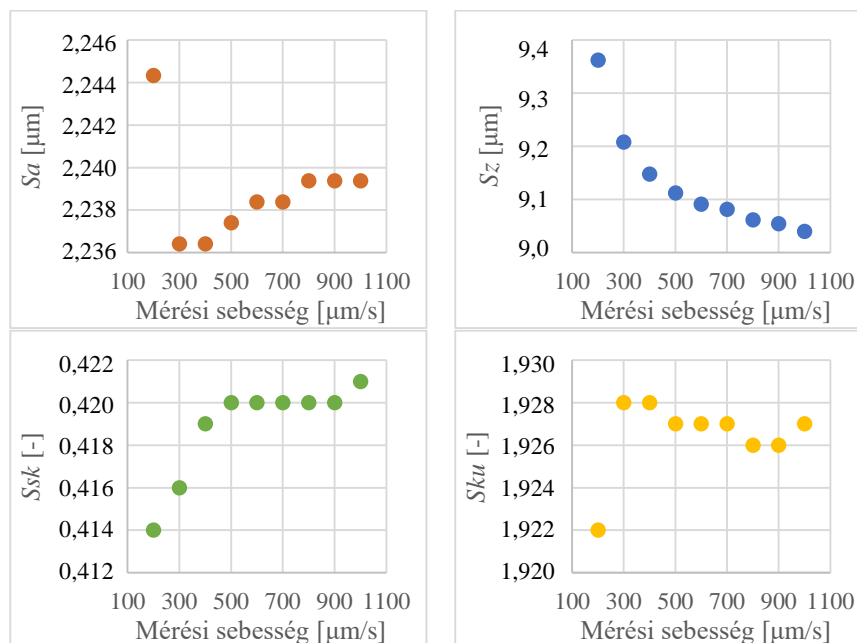
Először az X irányú mérési sebesség hatását vizsgáljuk az érdességre, ahol állandó értékekre állítottuk be a ponttávolságot: X irányban $l_x = 1 \mu\text{m}$ és Y irányban $l_y = 10 \mu\text{m}$. Ehhez a **B** felületelemen mért eredményeket a 2. táblázatban foglaljuk össze, illetve a 3. ábrán vázoljuk az értékeket diagramokban.

A vizsgált értékek szóródásainak nagysága a beállított sebességek tartományában legfeljebb 0,35% S_a -nál, 3,54% S_z -nél, 1,67% S_{sk} -nál, és 0,33% S_{ku} -nál. Az $f_z = 0,1$ mm/ford. előtolással mart felületen (Nagy, 2020) ezek az arányok (max. 1,3%, 4,4%, 2,1% és 4,5% sorrendben) nagyobbak voltak. A sebesség növelésére míg az S_a , S_{sk} és S_{ku} értékei növekednek, addig a maximális érdesség értékei folyamatosan csökkennek. A változás eltérő jellegének oka egyelőre nem ismert, ennek feltárásához további vizsgálatok elvégzése szükséges. Valamennyi paraméternél, a vizsgált tartományban nagymértékű eltéréseket a 200 $\mu\text{m/s}$ (valamint az S_{sk} mérőszámánál a 300 $\mu\text{m/s}$) sebességgel mért értékeknél figyeltünk meg. Ettől nagyobb sebességeknél (400-1000 $\mu\text{m/s}$) azonban a különbségek 1,5% alatt maradnak.

2. táblázat. Érdességi eredmények a vizsgált X irányú mérési sebességekre a B felületelemen

Sebesség [$\mu\text{m/s}$]	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
S_a [μm]	2,244	2,236	2,236	2,237	2,238	2,238	2,239	2,239	2,239
S_z [μm]	9,362	9,208	9,148	9,112	9,091	9,081	9,061	9,055	9,040
S_{sk} [-]	0,414	0,416	0,419	0,420	0,420	0,420	0,420	0,420	0,421
S_{ku} [-]	1,829	1,835	1,835	1,834	1,834	1,834	1,833	1,833	1,834

A korábbi elemzésben (Nagy, 2020) ugyanezen differenciát a 700-1000 $\mu\text{m/s}$ közötti sebességeknél tapasztaltuk. Ebből az látható, hogy nagyobb előtolásnál nagyobb az a mérési sebesség intervallum, ahol azonos mértékű eltérést tapasztalhatunk. Az eredmények alapján a vizsgált sebesség tartományban a 700-1000 $\mu\text{m/s}$ beállítását ajánljuk, amelyek esetében az $f_z = 0,1$ mm/ford. és annál nagyobb értékű fogankénti előtolással az elemzett, topográfiaát jellemző paraméterek mért értékei csak kismértékben térnek el.



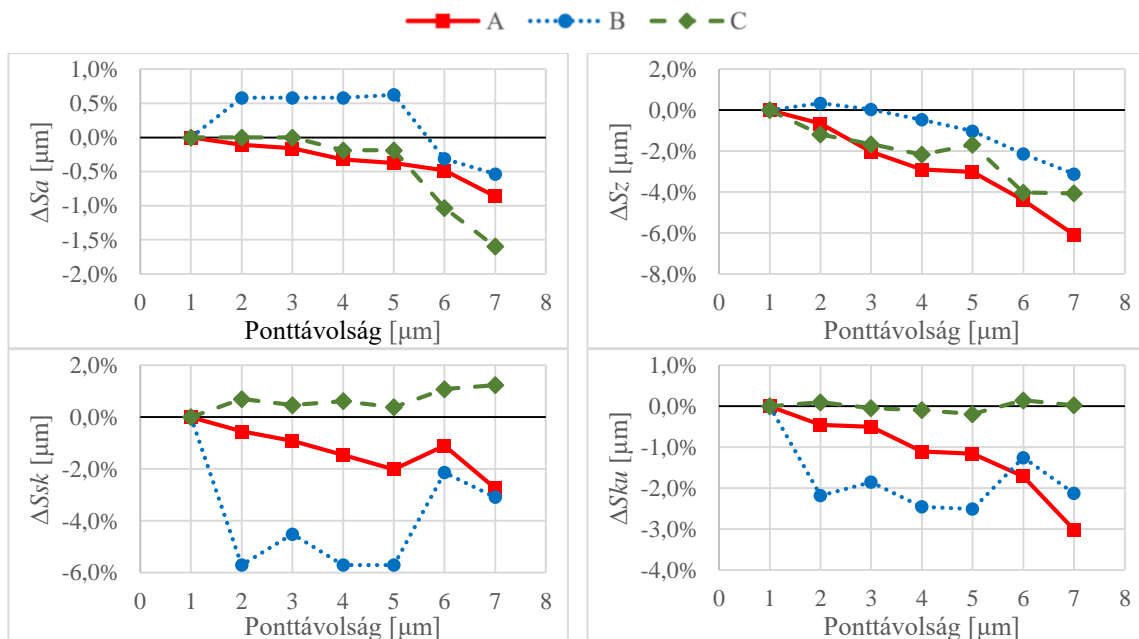
3. ábra. Érdességi értékek a B felületelemen a mérési sebesség függvényében

• **A mérendő felületelem X irányú felbontásának hatása**

A felületelemet alkotó mérési pontok egymástól való távolságát a fő (X) mérési irányban elemezzük. Ennek során bázisértéknek a legkisebb, 1 μm -es távolságot választottuk meg, valamint rögzítettük a mérési sebesség ($v_x = 1000 \mu\text{m/s}$) és a ponttávolság értékét Y irányban ($l_Y = 10 \mu\text{m}$). A különböző ponttávolsággal mért érdességi eredményeket a három mérési területre a 3. táblázatban összegezzük, illetve azoknak az adott felületelem bázisértékeitől való százalékos eltéréseit diagramokban szemléltetjük (4. ábra).

3. táblázat. Érdességi eredmények az X irányú ponttávolságokra

Pontok közti távolság [μm]		1	2	3	4	5	6	7	Eltérés nagysága
S_a [μm]	A	1,859	1,857	1,856	1,853	1,852	1,850	1,843	0,9%
	B	2,241	2,254	2,254	2,254	2,255	2,234	2,229	1,2%
	C	1,064	1,064	1,064	1,062	1,062	1,053	1,047	1,6%
S_z [μm]	A	8,200	8,146	8,033	7,962	7,952	7,839	7,701	6,3%
	B	8,999	9,029	9,002	8,957	8,907	8,806	8,718	3,5%
	C	7,679	7,588	7,551	7,512	7,550	7,370	7,367	4,2%
S_{sk} [-]	A	0,547	0,544	0,542	0,539	0,536	0,541	0,532	2,8%
	B	0,421	0,397	0,402	0,397	0,397	0,412	0,408	5,9%
	C	1,295	1,304	1,301	1,303	1,300	1,309	1,311	1,2%
S_{ku} [-]	A	1,987	1,978	1,977	1,965	1,964	1,953	1,927	3,1%
	B	1,834	1,794	1,800	1,789	1,788	1,811	1,795	2,6%
	C	4,182	4,186	4,180	4,178	4,174	4,188	4,183	0,3%



4. ábra. Érdességi értékek változása az X irányú pontsűrűség függvényében

Az S_a , S_{sk} és S_{ku} paraméterek értékei felületelemenként gyakorlatilag változatlanok, melyek legnagyobb eltérése a vizsgált tartományban a mérőszámok sorrendjében 1,6%, 5,9% és 3,1%. Így a méréskor beállítandó ponttávolság mértéke a vizsgált mérőszámok közül az S_z értékeire van a legnagyobb hatással, ahol a maximálisan 6,3%-os terjedelem jelentősen kisebb a korábbi 20,8%-os eltéréstől (Nagy, 2020). A távolság növelésére az S_z értékei csökkennek, ahogy azt Davinci és mtsai. is tapasztalták (Davinci et al., 2014).

Figyelembe véve egy 3%-os megengedett eltérést a bázisértékektől, az 1-5 μm -es beállításokkal közel azonos pontosságú S_z értékeket lehet elérni. Azonban a korábban vizsgált kisebb előtolásnál (Nagy, 2020) az 1-3 μm beállítandó ponttávolságokat javasoltuk ugyanúgy a legfeljebb 3%-os különbségű eredményekért, ahol az S_a , S_q és S_z mérőszámok értékeinél tapasztaltunk nagyobb mértékű változást. A két intervallum azonos határeltérés mellett azt mutatja, hogy nagyobb előtolásnál az érdességi értékek százalékos különbségei csökkennek a pontsűrűség változtatásának hatására.

A fentiek alapján javasoljuk az $f_z = 0,1$ mm/ford. előtolással mart felületen az $X = 1-3$ μm , $f_z = 0,3$ mm/ford. esetén az $X = 1-5$ μm ponttávolságok valamelyikének beállítását.

- **A mérendő felületelem Y irányú felbontásának hatása**

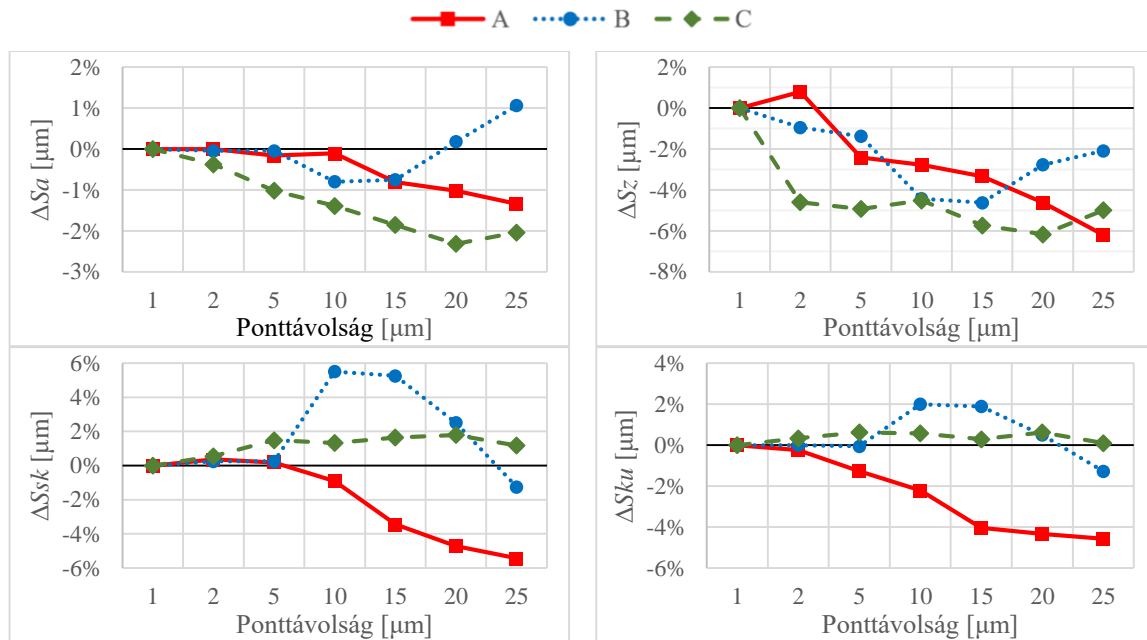
A mérési pontok egymástól való, merőleges (Y) irányú távolságuk érdességre tett hatásának elemzéséhez (2. ábra) közöljük az érdességi értékeket a három mérési területre a 4. táblázatban, valamint felületelemenként azok százalékos eltéréseit a bázisértéktől ($Y = 1$ μm) az 5. ábrán illusztráljuk. Ennek során a mérési sebesség ($v_x = 1000$ $\mu\text{m/s}$) és a ponttávolság értékét X irányban ($l_x = 1$ μm) állandó értéken tartottuk.

4. táblázat. Érdességi eredmények az Y irányú ponttávolságokra

Pontok közötti távolság [μm]		Eltérés							
		1	2	5	10	15	20	25	nagysága
S_a [μm]	A	1,861	1,861	1,858	1,859	1,846	1,842	1,836	1,4%
	B	2,259	2,258	2,258	2,241	2,242	2,263	2,283	1,9%
	C	1,079	1,075	1,068	1,064	1,059	1,054	1,057	2,4%
S_z [μm]	A	8,434	8,501	8,230	8,200	8,153	8,044	7,912	7,2%
	B	9,416	9,327	9,286	8,999	8,981	9,155	9,219	4,7%
	C	8,042	7,672	7,646	7,679	7,581	7,546	7,641	6,6%
S_{sk} [-]	A	0,552	0,554	0,553	0,547	0,533	0,526	0,522	5,9%
	B	0,399	0,400	0,400	0,421	0,420	0,409	0,394	6,6%
	C	1,278	1,285	1,297	1,295	1,299	1,301	1,293	1,8%
S_{ku} [-]	A	2,032	2,027	2,006	1,987	1,950	1,944	1,939	4,7%
	B	1,798	1,798	1,797	1,834	1,832	1,807	1,775	3,3%
	C	4,158	4,172	4,184	4,182	4,170	4,184	4,162	0,6%

Az Y irányú ponttávolság növelésére az A területen mért értékek jellemzően csökkennek, a másik két felületelemen nem egyértelmű a változás trendje. A korábbi vizsgálatunkban (Nagy, 2020) ettől eltérően a szélső A és C területeken adott ponttávolságnál hasonló értékeket, azokhoz képest pedig a B felületelemen nagyobb mértékű értékcsökkenést, illetve kisebb eltéréseket figyeltünk meg. A maximális eltérés nagysága S_a (2,4%), S_{sk} (6,7%) és S_{ku} (4,7%) paramétereknél minimális. A topográfia legnagyobb magasságkülönbségét jellemző – így az eltérésekre érzékenyebb – S_z mérőszámnál a maximum 7,2%-os eltérés is kismértékű, a kisebb előtolási esetben (Nagy, 2020) tapasztalt 19%-os arányhoz képest.

Összességében megállapítható, hogy a bázisértékhez közeli eredményeket egy 5%-os maximális eltérés mellett az 1-10 μm -es beállításokkal is elérhetünk. Korábban (Nagy, 2020) a beállítandó távolságot 5-15 μm között javasoltuk, ahol maximum 7%-os (az $Y = 1-15 \mu\text{m}$ tartományban 14%-os) különbségeket mértünk.



5. ábra. Érdességi értékek eltérése az Y irányú pontsűrűség függvényében

Ezek alapján is látható az érdességi értékek eltéréseinek csökkenése az előtolás növelésével, ahol az Y irányú ponttávolságot változtattuk. Javasoljuk mérés során az $f_z = 0,3 \text{ mm/ford.}$ előtolással homlokmart felületen az $Y = 1-10 \mu\text{m}$ intervallum értékeinek beállítását.

4. Összefoglalás

A felületi topográfia mérésnél a mérési beállítások hatásainak vizsgálata nem kellően kutatott, ezért vizsgálatokat végeztünk annak tanulmányozására, hogy a mérőrendszeren beállítható paraméterek hogyan befolyásolják az érdességi eredményeket. Azok közül a mérési sebesség és a mért pontok sűrűségének hatását elemeztük. Ehhez egy homlokmart felületet állítottunk elő, amelyen három felületelemen mértük az érdességet, a mérési pontokat a marási és mérési középsíkra szimmetrikusan helyeztük el. A vizsgálat során az alábbi megállapításokat tettük.

Azt tapasztaltuk, hogy míg a nagyobb előtolással mart felületen az érdességi értékek nagyobbak, azok százalékos eltérései kisebbek. Ezzel együtt más intervallummal ajánlott beállítási értékeket állapítottunk meg:

- Javasoljuk a topográfia konfokális kromatikus szenzorral való mérésekor a fő mérési – előtolási – irány mentén, $f_z = 0,1 \text{ mm/ford.}$, vagy annál nagyobb előtolás esetén, a vizsgált tartományból a 700-1000 $\mu\text{m/s}$ határok közötti sebességek alkalmazását.
- Előtolási irányban a mérési pontok távolságának 1-5 μm közti beállítását ajánljuk az 1-7 μm elemzett értékek közül, az eredmény legfeljebb 3%-os eltérése mellett. A korábbi vizsgálataink

eredményei alapján, $f_z = 0,1$ mm/ford. előtolásnál javasolt 1-3 μm tartományt az előbbi teljesen lefedi.

- Az előtolásra merőleges irányban pedig javasoljuk a vizsgált 1-25 μm tartományból az 1-10 μm közötti értékek megválasztását, ahol maximum 5%-os különbség várható.

A forgószerszámok megmunkálás viszonyaiból következő érdességi változás átfogó elemzéséhez további kísérletek elvégzése szükséges. Az eddigi tapasztalataink alapján homlokmarásnál a fogásszélesség (munkadarab szélesség) és a szerszám átmérő viszonya (b/D) is hatással lehet a mért eredményeken túl a méréskor beállítandó paraméterekre is.

Irodalom

- [1] Jiang, X., Scott, P., Whitehouse, D., Blunt, L. (2007). Paradigm shifts in surface metrology. Part I. Historical philosophy. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 463(2085), 2049–2070. <https://doi.org/10.1098/rspa.2007.1874>
- [2] Fecske, S., Gkagkas, K., Gachot, C., Vernes, A. (2020). Interdependence of amplitude roughness parameters on rough Gaussian surfaces. *Tribology Letters*, 68(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11249-020-1282-4>
- [3] Zagórski, I., Korpysa, J. (2020). Surface quality assessment after milling AZ91D magnesium alloy using PCD tool. *Materials*, 13(3), 61. <https://doi.org/10.3390/ma13030617>
- [4] Karpuschewski, B., Kundrák, J., Emmer, T., Borysenko, D. (2017). A new strategy in face milling - Inverse cutting technology. *Solid State Phenomena*, 261, 331–338. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.261.331>
- [5] ISO 25178: *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal*. (2021)
- [6] ISO 25178-3: *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal — Part 3: Specification operators*. (2012)
- [7] ISO 21920: *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile*. (2021)
- [8] Kundrák, J., Felho, C. (2018). Topography of the machined surface in high performance face milling. *Procedia CIRP*, 77, 340–343. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.09.030>
- [9] Kundrák, J., Felho, C. (2016). 3D roughness parameters of surfaces face milled by special tools. *Manufacturing Technology*, 16(3), 532–538. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/MT/16/3/532>
- [10] Varga, G., Kundrák, J. (2017). Effects of technological parameters on surface characteristics in face milling. *Solid State Phenomena*, 261, 285–292. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.261.285>
- [11] Kundrak, J., Nagy, A., Markopoulos, A., Karkalos, N. (2019). Investigation of surface roughness on face milled parts with round insert in planes parallel to the feed at various cutting speeds. *Cutting & Tools in Technological System*, 91, 87–96. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2019.91.09>
- [12] Felhő, C. (2014). *Investigation of surface roughness in machining by single and multi-point tools*. Shaker Verlag, Aachen.
- [13] Felho, C., Kundrak, J. (2012). Characterization of topography of cut surface based on theoretical roughness indexes. *Key Engineering Materials*, 496, 194–199. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.496.194>
- [14] Balazs, B., Takacs, M. (2020). Experimental investigation and optimisation of the micro milling process of hardened hot-work tool steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(11), 5289–5305. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-04991-x>

- [15] Adizune, U., Balazs, B., Takacs, M. (2022). Surface roughness prediction applying artificial neural network at micro machining. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1246(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1246/1/012034>
- [16] Eifler, M., Klauer, K., Kirsch, B., Seewig, J., Aurich, J. (2018). Micro-milling of areal material measures–influences on the resulting surface topography. *Procedia CIRP*, 71, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.05.083>
- [17] Mikó, B., Beno J., Mankova, I. (2012). Experimental verification of cusp heights when 3D milling rounded surfaces. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9(6), 101–116.
- [18] Beňo, J., Mikó, B., Maňková, I., Vrabel, M. (2014). Influence of tool path orientation on the surface roughness when end ball milling rounded surfaces. *Key Engineering Materials*, 581, 329–334. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.581.329>
- [19] Mikó, B. (2016). Surface quality prediction in case of steep free form surface milling. *Key Engineering Materials*, 686, 119–124. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.686.119>
- [20] Molnar, V. (2022). Tribological properties and 3D topographic parameters of hard turned and ground surfaces. *Materials*, 15(7), 2505. <https://doi.org/10.3390/ma15072505>
- [21] Molnar, V., Szabo, G. (2022). Minimization method for 3D surface roughness evaluation area. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.08.042>
- [22] Nagalingam, A., Vohra, M., Kapur, P., Yeo, S. (2021). Effect of cut-off, evaluation length, and measurement area in profile and areal surface texture characterization of as-built metal additive manufactured components. *Applied Sciences*, 11, 5089. <https://doi.org/10.3390/app11115089>
- [23] Żyłka, W. (2021). Sampling interval selection for 3D surface roughness measurements using the contact method. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 15(4), 283298. <https://doi.org/10.12913/22998624/142192>
- [24] Davinci, M., Parthasarathi, N., Borah, U., Albert, S. (2014). Effect of the tracing speed and span on roughness parameters determined by stylus type equipment. *Measurement*, 48, 368–377. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.11.023>
- [25] Nagy, A., Kundrak, J. (2020). Changes in the values of roughness parameters on face-milled steel surface. *Cutting & Tools in Technological System*, 92, 85–95. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.10>
- [26] Todhunter, L., Leach, R., Lawes S., Blateyron, F. (2017). Industrial survey of ISO surface texture parameters. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 19, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.06.001>
- [27] Nagy, A. (2020). Influence of measurement settings on areal roughness with confocal chromatic sensor on face-milled surface. *Cutting & Tools in Technological System*, 93, 65–75. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.93.08>