

## Mart gránitfelületek éleit minősítő vizsgálati rendszerek összehasonlító elemzése

### Comparative analysis of examination systems for qualification of milled granite surfaces

Gálos Miklós

*BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, miklos.galos@gmail.com*

Gyurika István Gábor

*BME Gyártástudomány és –technológia Tanszék, gyurika@manuf.bme.hu*

Igali Júlia Csenge

*BME Gyártástudomány és –technológia Tanszék, julicsengi@gmail.com*

Hodosán Zsolt

*BME Gyártástudomány és –technológia Tanszék, hodosan.zsolt@t-online.hu*

Kun Zsuzsanna

*BME Gyártástudomány és –technológia Tanszék, zsuzsanna.kun1991@gmail.com*

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Az ipari gyakorlatban általános problémát jelent a különböző megmunkálási technológiákkal – fűrészeléssel, vágással, marással – előállított kőtermékek éleinek kitöredezése. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Gyurika István kutató mérnök kidolgozott egy olyan objektív mérőszámot, melynek segítségével minősíthetővé váltak a gránit termékek mart felületeinek élein tapasztalható kitöredezések átlagos mértéke. A cikkben szereplő kutatás célja megvizsgálni, hogy egy iparban hatékonyan alkalmazható mérési rendszer milyen hibával és pontossággal adja vissza azokat a kitöredezési paramétereket, amelyeket a mérőszám kidolgozásánál használt vizsgálati módszerrel határoztak meg korábban. A kísérletek során a tanulmányt író kutatók NC vezérlésű kőmegmunkáló központot, kékfényű lézerszkennert, továbbá kiértékelő szoftvereket használtak. A kísérletek eredményeképpen elmondhatjuk, hogy az elméleti mérőszám az ipari gyakorlatban is alkalmazható eszközök és berendezések segítségével is nagy pontossággal meghatározható.

**ABSTRACT:** The edge-chipping of different machined (e.g. sawed, cut or milled) stone products causes a general problem in engineering practice. István Gyurika, research engineer at Budapest University of Technology and Economics, elaborated an objective measure number for the qualification of the average extent of edge-chipping on milled granite products. The aim of the presented research is the inspection of an industrial-used examination system by analyse the errors and the accuracy of the measured data (parameters of edge-chipping) compared to the previous results which are collected during the elaboration of the named measure number. The authors used an NC controlled stone-machining centre, a blue-light laser-scanner and evaluation software in the research process. As the result of the investigation the authors determined that the named measure number could be defined in high accuracy level by using the tools of the engineering practice.

*Kulcsszavak:* gránit, marás, szkennert, kitöredezés

*keywords:* granite, milling, scanner, edge chipping

## 1 BEVEZETÉS

Az építőiparban felhasználásra kerülő gránit termékek végső alakját számos esetben automatikusan működő megmunkáló gépekkel állítják elő. Az NC vezérlésű kővágó, fűrészelő, csiszoló és maró berendezések számítógépes program segítségével munkálják meg az előgyártmányokat. A megmunkálási folyamatok során gyakori problémaként jelentkezik az elkészített felületek éleinek különböző mértékű kitöredezése. A kitöredezés hatására ergonómiai és illesztési problémák léphetnek fel. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kidolgozásra került egy olyan mérőszám, amelynek segítségével objektív minősítés valósítható meg a mart gránitfelületek éleinek átlagos kitöredezési mérté-

kének területén. A mérőszám megalkotását követően azonban szükséges volt egy olyan mérési rendszer kiépítésére, amelynek segítségével az elméleti kutatások során alkalmazott algoritmushoz képest gyorsabban és egyszerűbben lehet meghatározni a minősítő paramétereket. A mérési rendszer kidolgozását követően a tanulmányt író csapat feladat volt megvizsgálni, hogy az új megoldás milyen hibával adja vissza az elméleti kutatások során alkalmazott vizsgálati rendszer által kapott eredményeket.

## 2. GRÁNIT TÖMBÖK MARÁSA

Az összehasonlító elemzési folyamat megkezdése előtt kiválasztottunk három kereskedelmi gránitot, amelyek felületére laponként 5, különböző vágósebességgel végrehajtott mintafelületet martunk. A három gránitot úgy választottuk ki, hogy az elemzést általánosítani lehessen az aprószemű, közepes szemű és durva szemű gránitokra egyaránt.

### 2.1. A felhasznált gránitok

A durva szemcseméretű gránitokat képviselő típusunk a Giallo Farfalla volt. Ez a gránittípus sárgásbarna színű, szürkés árnyalatú, kristályos szemcsés szövetű mélységi magmás kőzet, tömött szerkezetű gránit. Nagy szemű, kissé irányított kőzetalkotójú gránit. Jellegzetes kőzetalkotói a nagyméretű csomókban elhelyezkedő piszkosfehér színű kvarc és a káliföldpát. A kvarcok szemcsenagysága 1 és 10 mm közötti. További fő kőzetalkotóként megjelennek a rózsaszínű ortoklászok, melyek ikres szerkezetűek és táblás kifejlődésűek, szemcsenagyságuk a 15 mm-t is elérheti. A káliföldpátok mellett megjelennek a finomszemű, táblás fejlődésű plagioklászok, melyek szemcsenagysága 1 mm alatti.

A közepes szemcseméretűekkel rendelkező Rosa Beta gránit Olaszországból származik. Világosszürke színű, kissé rózsaszínes árnyalatú tömött szerkezetű mélységi magmás kőzet. Kőzetszöveve irányítatlan kristályos szemcsés. Fő kőzetalkotó a kvarc, mely a kőzetszövetben csomósan helyezkedik el és a káliföldpát. A kvarcok szemcsenagysága átlagosan 1 mm, a legnagyobb szemcsék elérhetik a 2 mm-t is. Színét a rózsaszínű és fehér káliföldpátok adják, melyek táblás fejlődésűek és szemcsenagyságuk meghaladja a 2 mm-t. A káliföldpátok ikres felépítésűek, melyek jól hasadó felületekkel rendelkeznek. A kvarcok izotermikus törési felületei érdekesek. A kőzetszövetben csomókba rendeződve hintetten színes elegyrészek fordulnak elő, melyeket biotit csillémok és piroxének alkotnak. Ezek szemcsenagysága 0,1 és 0,3 mm közötti.

A G684 kereskedelmi megnevezésű Kínából származó gránit szürke színű, sötét árnyalatú, kristályos szemcsés szövetű mélységi magmás kőzet, tömött szerkezetű gabbro. Jellegzetes kőzetalkotó ásványa a hintetten elhelyezkedő, táblásan megjelenő 1-3 mm szemcsenagyságú plagioklász és a piroxén, mely finomszemű, táblás kifejlődésű 1-3 mm szemcsenagyságú alkotó ásvány. Előfordul benne továbbá olivén és klorit, melyek színes kőzetalkotók, méretük milliméter alatti nagyságú. A kőzet porozitása jellegét tekintve szemcséközi, mértéke nem haladja meg a 2 térfogatszázalékot. Ezt a kereskedelmi gránitot a kis átlagos szemcseméretei miatt választottuk ki a vizsgálatokhoz.

### 2.2. A marási folyamat

A kövek megmunkálását egy NC vezérlésű, olasz gyártmányú, Prussiani Golden Plus típusú, kifejezetten kőzetek fűrésására és marására tervezett szerszámgéppel hajtottuk végre, amely a budapesti Woldem Kft. jóvoltából állt rendelkezésünkre. A szerszámgép maximális teljesítményfelvétele 15 kW, maximális mozgásai X irányban 3300 mm, Y irányban 1600 mm és Z-ben 250 mm. A főorsó fordulatszáma a 0 és 10.000 fordulatszám értékek között változtatható. A mozgási sebességek maximális értékei X, valamint Y irányban 40 , Z irányban pedig 10 . A megmunkálások során a nagyobb testek esetén kettő vagy több körmös-megfogót és alátámasztást használnak, míg a kisebb köveknél általában elég egy körmös-megfogó és egy alátámasztás.

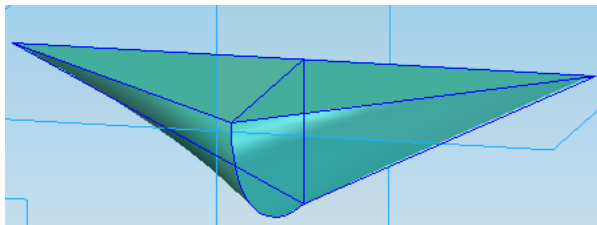
A kutatások során felhasznált munkadarabok mérete 300×300×50 mm volt. A munkadarabok felületén egy 100 mm átmérőjű, 12 gyémánt szegmenssel rendelkező síkmaró szerszámmal (1. ábra) különböző vágási sebességekkel 5 mintát alakítunk ki. Az alkalmazott vágási sebességek 188 m/perc, 283 m/perc, 377 m/perc, 1225 m/perc és 1634 m/perc voltak. A mintákat egymáshoz képest lépcsőzetesen állítottuk elő, így egyértelműen elkülönülnek az egyes vágási sebességekkel készített felületelemek. A jobb felületi érdesség kialakításához ellenirányú marási módot választottunk. A marási folyamatnál figyeltünk arra, hogy a vágási sebesség változásán túl valamennyi technológiai paraméter (előtolás 440 mm/min, fogásmélység 1 mm, fogásszélesség 45 mm) változatlan maradjon.



1. ábra Kömaró szerszám (stone-milling tool)

### 3. ELMÉLETEK IGAZOLÁSÁRA HASZNÁLT SCANTECH LÉZERES ELJÁRÁS

A minősítő mérőszám meghatározásához és alkalmazhatóságának bizonyításához használt eljárásnál egy vörös fényű lézerrel rendelkező, Scantech típusú lézer segítségével szkennelték be a BME szakemberei korábbi kutatások során a mart gránitfelületek vizsgálandó éleit. A mérőszám kidolgozásánál alapvető feltétel volt egy olyan helyettesítő test megtalálása, amelynek segítségével gyorsan és matematikailag egyértelműen leírhatóvá válnak az élkitöredezések által okozott térfogatvesztések. 2012-ben Gyurika [1] azt a következtetést vonta le, hogy a legkisebb hibával dolgozó helyettesítő test – amennyiben a vizsgálandó élt alkotó felületek egymással derékszöget zárnak be – két, egymással lapjával érintkező, azonos térfogattal rendelkező, ellipszis alapú negyed-kúpból áll (2. ábra). A térfogat meghatározásához három paramétert kell meghatározni, minden egyes kitöredezésnél. A kúpok magassága megegyezik a kitöredezés kezdő- és végpontja közötti távolsággal. A kúpok alapjaként szolgáló ellipszoid két tengelyének hossza pedig megegyezik a kitöredezésnek az élt meghatározó egyik és másik felületen mért legnagyobb mélységével. Jelen tanulmányban ezen test térfogatát meghatározó paraméterek mérésének összehasonlítását foglaltuk össze.



2. ábra Kitöredezéseket helyettesítő test (*The replacement body*) (Gyurika (2013) nyomán)

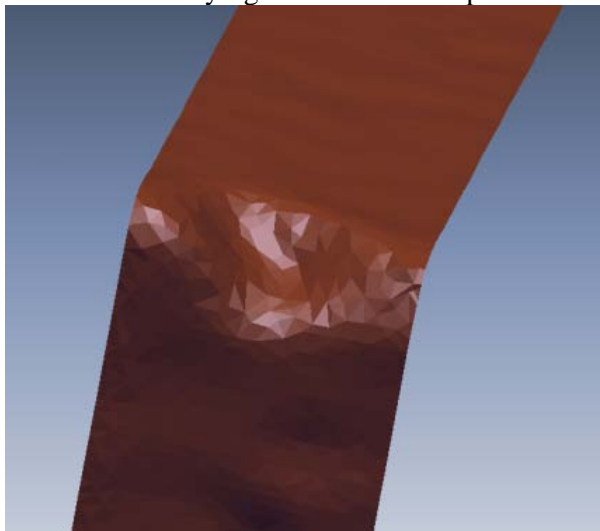
#### 3.1. A vizsgálati rendszer

A vizsgálati rendszer alapjaként az elméleti kutatások során a mérnökök egy Scantech típusú, vörös fényű lézerrel rendelkező szkennelő egységet használtak. A mérőfej a kibocsátott lézer sugár visszaverődéséből származó sugarakat két optikán keresztül egy-egy lineáris CCD-vel (analóg shift regiszterrel) méri. A visszaverődés távolságának megfelelő mértékben a szkennelőről összekötött adatgyűjtő számítógép a beszkennt pontok szinkronizált, és egyben digitalizált x, y, z koordinátáit tárolja. Az 1 mW teljesítményű félvezető lézer segítségével kb. 1000 pont térbeli adatait lehet másodpercenként összegyűjteni. A felbontása 2 mikron, amely  $\pm 0,05$  mm-es pontosságot biztosít egy adott pont z koordinátájának vonatkoztatásában, maximum 400 mm-es távolságban. A rendszer részét képezte egy NC vezérlésű megmunkáló központ is, amelynek a főorsójába helyezve a szkennert, biztosította az irányított mozgatót. A kiértékeléshez egy Rapid Form nevű szoftvert használtak a kutatók, amely rendszer segítségével háromszögháló illeszthető a beszkennt élpontra.

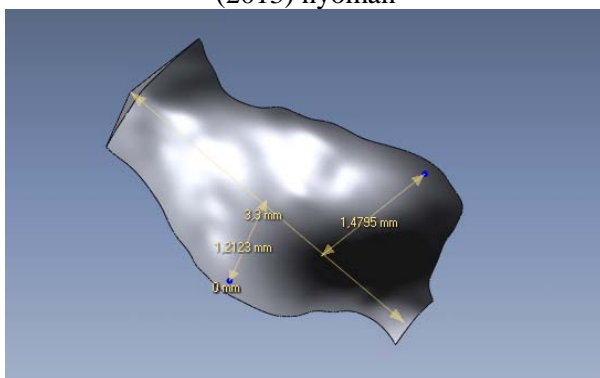
#### 3.2. Mérési és kiértékelési folyamat

A mérési folyamat első lépéseként tehát a kutatók beszkennték a vizsgálandó éleket, a Scantech szkennert, valamint az NC vezérlésű megmunkáló gép segítségével. Ezt követően kezdődhetett a kiértékelés folyamata. A kiértékelés első fázisában háromszöghálót illesztettek a kutatók az élpontra, majd megkeresték az éleken található kitöredezéseket. A megtalált kitöredezéseket külön fájlba

mentették. Az egyes fájlokban található kitöredezésekre ezt követően felületeket illesztettek a háromszöghálókra (3. ábra), melynek hatására kiértékelhetővé vált az adott kitöredezés által keletkező térfogatcsökkenés. A kiértékelés eredményeként kapott, a térfogatvesztésüket reprezentáló virtuális testnek ezután megmérhették a maximális mélységét mindkét befoglaló felületen, valamint meghatározták a kitöredezés kezdő- és végpontja közötti távolságot (4. ábra). A szkennert pontosságát figyelembe véve a kitöredezés felületenkénti maximális mélységeit a felülethez képest 0.05 mm-re mérték meg.



**3. ábra** Kitöredezésre illesztett háromszögháló (*Triangle mesh of the edge chipping*) Gálos et al (2013) nyomán



**4. ábra** Kitöredezés negatívja (*Negative of the edge chipping*) Gálos et al (2013) nyomán

#### 4. IPARI ALKALMAZÁSRA KIDOLGOZOTT ELJÁRÁS

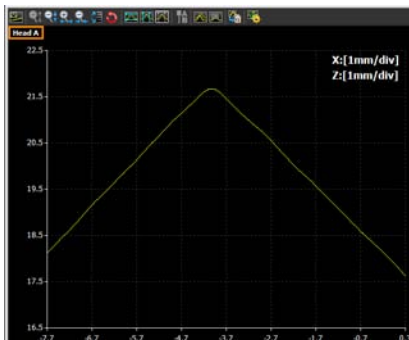
A kísérletek során a csapat egy olyan mérési rendszerrel dolgozott, amelynek segítségével az előző fejezetben bemutatott eljárásnál gyorsabb és egyszerűbb megoldást tud biztosítani a mart gránitfelületek élkitöredezési minősítéséhez. Egy objektív és a gyakorlatban is alkalmazható rendszertől ugyanis elvárható a viszonylag gyors mérés és a minél rövidebb ideig tartó kiértékelés egyaránt. Az eljárással végrehajtott vizsgálatok eredményeképpen lehetővé vált az összehasonlítás az elméleti kutatásokhoz használt és korábban végrehajtott kísérletek, valamint jelen kutatások eredményei között.

##### 4.1. Vizsgálatokhoz használt eszközök

A vizsgálatokhoz a csapat 2013 augusztusában kapott kölcsön egy kékfényű lézerszkennert a Keyence International cégtől. A LJ-V7080 típusú lézerszkennert a kékfény alkalmazásának révén nagyobb pontosságot és ismétlési pontosságot tud elérni, mint vörös fényvel dolgozó társai. Az általunk használt szkennertípusnak a pontossága „X” irányban (haladási irányban) 0,01 mm, míg „Z” (felülettel merőleges) irányban 0,5 μm volt. A lézerszkennert egy Siemens vezérlésű NC megmunkáló központra helyeztük el. A szerszám gép ajtajának alsó merevítőjére rögzített szkennert merőlegesen állítottuk be a vizsgálandó élre, a gépasztalra helyezett gránitömböt pedig meghatározott sebességgel mozgattuk. A kékfényű szkennert – ellentétben a vörös fényvel dolgozó egységgel – nem pontfelhőt rögzít, hanem metszeteket tapogat le az élről. Ezen metszeteket egymás után helyezve kapjuk meg a végső élfelületet, amelyen ezután a kiértékeléseket elvégezhetjük. A metszetek közötti távolságot a szkenneren beállított frekvencia és az NC gépen programozott előtolási érték kapcsolata határozza meg.

## 4.2. Mérési folyamat lépései

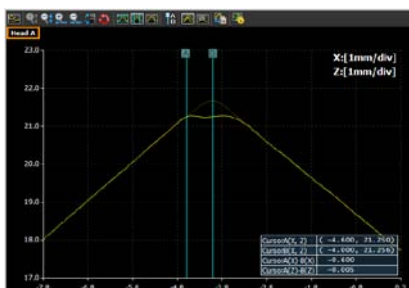
A vizsgálatok során manuálisan értékeltük ki az egyes kitöredezéseket. Az értékelés első lépéseként megvizsgáltuk, hogy az adott mintafelületen meddig tartanak az egyes kitöredezések. A kitöredezéseket mindig egy általunk épnek értékelt metszettől kezdtünk figyelembe venni (5. ábra) és a következő ép élmentszetig vizsgáltuk a felüleletemet. A kitöredezés kezdő- és végpontja közötti tartományban ezt követően megkerestük, hogy a kitöredezést határoló két felületen hol található a kitöredezés legnagyobb mélysége, majd ezt a mélységértéket határoztuk meg a kiértékelő szoftverben található, távolságmérő szakaszok segítségével (6-7. ábra). Az így kapott helyzeti- és mélységértékeket ezt követően táblázatba gyűjtöttük, majd kiszámoltuk az egyes mintafelületeken kapott átlagos kitöredezési mértékeket.



5. ábra Kitöredezésmentes élmentszet (*Edge segment without chipping*)



6. ábra Kitöredezési mélység „Z” irányú mérése (*Measuring of „Z” depth of the edge chipping*)



7. ábra Kitöredezés mélység „X” irányú mérése (*Measuring of „X” depth of the edge chipping*)

## 5. EREDMÉNYEK

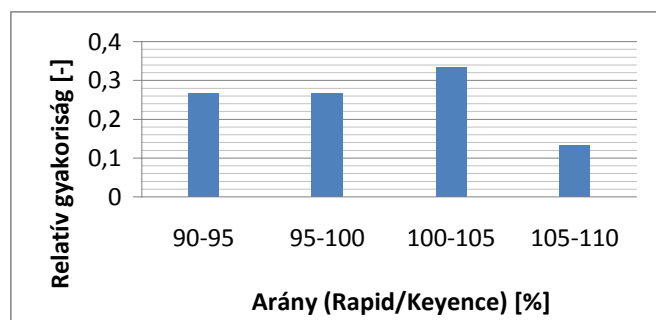
A mart felületek kiértékelését követően összehasonlítottuk a korábban a vörös fényű szkener által végrehajtott vizsgálatok eredményét a kékfényű lézert alkalmazó eljárás során kapott értékekkel. Az összehasonlító elemzés eredményéről készült táblázatban látható, hogy valamennyi mintafelület esetében igaz, hogy a két eljárással készített kiértékelések eredményei közötti hiba  $\pm 10\%$ -on belüli. Ez a hiba származhat az egyes szkennelési eljárások pontatlanságából, a kiértékelésnél használt szoftverek jellegzetességeiből, továbbá emberi hibából (pl. a távolságmérő vonalak beállításának hibája) egyaránt. A táblázatban az 1. kő elnevezés a Rosa Beta gránitra, a 2. kő a Giallo Farfallára, míg a 3. kő a gabbro típusra vonatkozik. A 8. ábrán látható sűrűségfüggvény megmutatja, hogy a vizsgált 15 mintafelület esetében milyen gyakorisággal fordulnak elő a különböző hibatarományok.

A vizsgálatok során kapott eredmények összehasonlítását követően elmondhatjuk, hogy a kékfényű lézerszkennelvel dolgozó, ipari szinten is alkalmazható vizsgálati rendszer nagy pontossággal adja vissza az elméleti kutatásokhoz használt és referenciaként használt, vörösfényű szkennelvel végzett kísérleti eredményeket. A tanulmányt író kutató csapat tehát bebizonyította, hogy egy ipari szinten alkalmazha-

tó eszköz segítségével is nagy pontossággal mérni lehet a mart gránitfelületek éleinek átlagos kitöre-dezési mértékét.

**1. táblázat** Eljárások eredményeinek összehasonlító táblázata (*Chart of the results of investigations*)

	Rapid	Keyence	Arány (Rapid/Keyence)
1ko_kilepo_005_1	0,5942	0,62575	94,96%
1ko_kilepo_005_2	0,5756	0,55763	103,22%
1ko_kilepo_005_3	0,2806	0,28052	100,03%
1ko_kilepo_005_4	0,4066	0,38006	106,99%
1ko_kilepo_005_5	0,8756	0,84187	104,01%
2ko_kilepo_005_1	1,0588	1,13034	93,67%
2ko_kilepo_005_2	0,9975	0,966599	103,20%
2ko_kilepo_005_3	0,9459	0,953336	99,22%
2ko_kilepo_005_4	0,7706	0,81974	94,00%
2ko_kilepo_005_5	0,5865	0,54353	107,90%
3ko_kilepo_005_1	0,3183	0,34316	92,75%
3ko_kilepo_005_2	0,3088	0,33838	91,25%
3ko_kilepo_005_3	0,3074	0,32483	94,62%
3ko_kilepo_005_4	0,1499	0,14037	106,82%
3ko_kilepo_005_5	0,1353	0,12526	107,98%
		átlagos arány:	100,04%



**8. ábra** Hibaértékek sűrűségfüggvénye (*Modulator of failures*)

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányt készítő csapat megvizsgálta, hogy a mart gránit felületek éleinek átlagos kitöre-dezési mértékét meghatározó mérőszámhoz kidolgozott, ipari szinten is hatékonyan alkalmazható, kékfényű lézerszkennert használó eljárással különböző átlagos szemcseméretekkel rendelkező kereskedelmi gránitok esetében mekkora hibával kaphatóak vissza azok az eredmények, amelyeket az elméleti kutatásokhoz használt, vörös fényű lézerszkennelrel lehet előállítani. A kutatás azt az eredményt hozta, hogy nagy pontossággal,  $\pm 10\%$ -os hibával valamennyi gránittípus és alkalmazott vágási sebesség esetében is alkalmazhatjuk a gyorsabb és egyszerűbb mérési rendszert használó, kékfényű szkennert. A kutatók tehát bebizonyították, hogy a kidolgozott mérési rendszer hatékony megoldás a mart gránitfelületek éleinek minősítésére.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- Gyurika I. (2013). Experimental protocols to define quality metrics for milled edges in granite. IN-TECH2013 konferencia, 57-60. o., ISBN-978-953-6326-88-4
- Gálos M., Gyurika I., Kun Zs. (2013): Ismereteink Polírozása: Az élmegmunkálások minősítése. *Diszító- termék-építő- mű- KÖ. XV.*(3)
- Kun Zs., Gyurika I. G (2013): Possible examinations of stone machining focused on the relationship between technological parameters and surface quality *International Review of Applied Sciences and Engineering*, Akadémiai Kiadó, 4(1): , 63-68.
- Fogarassy M., Kun Zs. (2012): A vágósebesség felületi érdességre és csúszásbiztonságra gyakorolt hatásainak vizsgálata kövek marásánál. *BME TDK Konferencia, Gépgyártástechnológia szekció, 2012. november*