



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Gyártástudomány és -technológia tanszék

TDK DOLGOZAT

A vágósebesség felületi érdességre és csúszásbiztonságra gyakorolt hatásának vizsgálata kövek marásánál

Készítette:

Kun Zsuzsanna

III. évfolyamos hallgató

Fogarassy Márton

V. évfolyamos hallgató

Konzulensek:

Gyurika István Gábor

Tanszéki mérnök, Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Dr. Gálos Miklós

Egyetemi tanár, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. Irodalomkutatás	6
2.1. Kőanyagok mikrogeometriai tulajdonságainak jelentősége a megmunkálhatóság szempontjából.....	6
2.2. A kövek vágásának vizsgálata	8
2.3. A csiszolás vizsgálata.....	11
2.4. A kövek megmunkáláshoz alkalmazott szerszámokkal kapcsolatos kutatások..	14
2.5. Kőanyagok felületi érdességének mérése	18
2.6. Javasolt kísérleti megmunkáló és mérő rendszer	20
2.7. Irodalomkutatási összefoglaló.....	21
3. Kőtermékek előállítása	22
3.1. Néhány szó a Woldem Kft.-ről	22
3.2. Megmunkáló központ	23
4. A gránitok fő kőzetalkotói, jellemző tulajdonságaik	25
4.1. A legfontosabb ásványtulajdonságok.....	25
4.2. Fő kőzetalkotók.....	29
5. Vizsgálati folyamatok leírása.....	32
5.1. Célkitűzések	32
5.2. Megmunkáláshoz használt berendezés, valamint a mérés bemutatása	32
5.3. Megmunkálás menete.....	35
5.4. A fordulatszám és vágási sebesség átszámításának módja	38
5.5. Kőanyagok felületi érdességének mérése	39
5.6. Csúszási ellenállás vizsgálat	40
5.7. Mikroszkópos vizsgálat bemutatása.....	42
6. A vizsgált kövek bemutatása	46
6.1. Rosa Beta	46
6.2. Giallo Farfalla, brazil gránit.....	48
6.3. G684 gránit, gabbro	49
6.4. Süttöi forrásvízi mészkő.....	51
7. Értékelés.....	53
7.1. Érdességmérés.....	53

7.2. Csúszási ellenállás mérése és a csúszási ellenállás összefüggése a felületi érdességgel.....	64
7.3. A csúszási ellenállás és az érdességmérés eredményeinek összefoglalása.....	67
8. Következtetések	68
9. Összefoglalás	70
10. Köszönetnyilvánítás.....	71
11. Irodalomjegyzék	72
12. Mellékletek	74
12.1. A mért felületi érdesség értékek táblázatai	745
12.2. A mért csúszásbiztonsági értékek táblázatai	746

1. Bevezetés

A különböző kövek – gránitok, márványok, mészkövek – megmunkálási folyamatainak vizsgálatai az automatizált gyártási folyamatok elterjedésével egyre lényegesebbé váltak. Az utóbbi két évtizedben számos nemzetközi szakirodalom foglalkozik a kőtípusok vágási, csiszolási és fűrészelési technológiájával. A kutatások között számos kísérletet lehet találni a különböző megmunkálási folyamatok során keletkező felületi érdesség változásával, vagy előre becslésével kapcsolatban. Érdekes tény, hogy míg a kövek előbb említett megmunkálási eseteivel számos kutató foglalkozott, a gránitok, márványok és mészkövek marási folyamataival szinte senki sem.

TDK munkánk kezdetekor két alapvető célt tűztünk ki magunk elé. Az első cél egy olyan irodalmi összefoglaló készítése volt, amelyben rendszereztük a különböző kőmegmunkálási technológiák esetében a kutatási eredményeket, kísérleti következtetéseket, valamint a továbbfejlesztési lehetőségeket. A TDK munka második részében megvizsgáltuk, hogy egy NC megmunkáló központon végzett síkmarási folyamatban miképp változik a különböző átlagos szemcseméretű gránittípusok felületi érdessége és csúszásbiztonsága.

A TDK munka során a kőmarási kísérleteket a Woldem Kft-nél hajtottuk végre, egy kimondottan a kőtömbök fűrására és marására kifejlesztett, NC vezérlésű megmunkáló központon. Három különböző átlagos szemcsemérettel rendelkező gránittömbön, valamint egy forrásvizi mészkőtípuson hajtottunk végre 5 különböző vágósebességgel síkmarási műveletelemet. A vágási sebesség értékeken kívül valamennyi technológiai paraméter és környezeti beállítás – beleértve az alkalmazott szerszámot is – változatlan volt. A marási folyamatok végrehajtását követően a BME Gyártástudomány és –technológia Tanszékén található átlagos felületi érdességmérővel vizsgáltuk meg az egyes minták felületi érdesség-értékeit, majd a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék tulajdonában lévő, csúszásbiztonságot meghatározó ingás mérőrendszerrel mértük a csúszási ellenállás értékeit.

A mért és összefoglalt értékek alapján következtetéseket vontunk le az átlagos felületi érdesség – mint mérőszám – alkalmazásának hatékonyságáról, kövek esetében, továbbá egyértelmű eredményt kaptunk a csúszásbiztonság különböző vágósebességek esetében végbemenő változásának mértékéről.

TDK munkánk eredményeképpen létrejött egy olyan, magyar nyelvű irodalmi összefoglaló, amely az országban egyedülként foglalja össze a kövek megmunkálási folyamatával kapcsolatos legfontosabb kutatási eredményeket és következtetéseket. A TDK munka második felében pedig marási és mérési folyamatok végrehajtásával következtetéseket vontunk le az NC megmunkáló központ által megvalósítható, automatikus kőmarási folyamatok esetén a vágósebesség változás hatására módosuló felületi érdesség-értékekről és csúszábiztonsági paramétereikről, különböző átlagos szemcseméretekkal rendelkező kövek esetében. Reméljük, hogy munkánkkal lökést adhatunk a - gépgyártástechnológusok és geológusok által is méltatlanul hanyagolt – kőmarási folyamatok honi vizsgálatának.

2. Irodalomkutatás

TDK munkánk kísérleteit egy közel fél évig tartó irodalomkutatás előzte meg, melynek célja az volt, hogy feltárjuk a világban zajló kőmegmunkálással kapcsolatos kísérleteket, képet kapjunk a tudományterület helyzetéről, illetve olyan vizsgálati eredményeket ismerjünk meg, amelyek segítségünkre lehetnek a saját kutatási tervünk megfogalmazásában. Kísérleteinkben a kőmarást és annak technológiai paramétereit vizsgáltuk, ám erről a megmunkálási módról szinte alig olvashatunk a szakirodalomban. Így kísérleteink összeállításakor felhasználtuk azokat a következtetéseket és irányelveket, melyeket más kőmegmunkálási folyamatok vizsgálatakor foglalmaztak meg a szerzők. A bemutatásra kerülő irodalmak az általunk legfontosabbnak tartott, kísérleti tervünk összeállításához felhasznált, többnyire a kődarabolással, kőfűrészeléssel és a csiszolással foglalkozó cikkek. A technológiák bemutatása mellett fontosnak tartjuk a megmunkáláshoz alkalmazott gyémántszerszámokról szóló kutatások rövid ismertetését, valamint a felületi érdesség vizsgálatának módszereit.

2.1. Kőanyagok mikrogeometriai tulajdonságainak jelentősége a megmunkálhatóság szempontjából

A széles körben elterjedt kőanyagok makrogeometriai tulajdonságait, mint szemcsenagyság és –eloszlás, keménység, porozitás korábbi kutatások részletesen vizsgálták. A kialakuló felületi érdesség szempontjából azonban fontos szerepet játszanak a mikrogeometriai paraméterek, a mikrokeménység és a mikrotörés. Xie 2010-es cikkében [1] foglalkozott ezeknek a mikro-szintű tulajdonságoknak a vizsgálatával, illetve kutatta a kapcsolatukat a precíziós megmunkálhatósággal. Korábbi kutatások eredményét alapul véve, miszerint ugyanolyan megmunkálási feltételek alkalmazásakor a gránitok átlagos felületi érdessége magasabb, mint a fémeknek, kvarcoknak vagy üvegnek, kísérleteivel a kövek tulajdonságainak hatását vizsgálta a kialakuló felületi érdességre. A hagyományos megmunkálási technológiákkal végzett kísérletek száma lényegesen meghaladja a precíziós technológiákkal történő megmunkálásokról szóló vizsgálatokét.

Xie kapcsolatot tárt fel a mikorkeményység, a megmunkálás teljesítménye és a szerszámmélettartam között. A mikrokeménységnek jelentős hatása van továbbá a felületi érdességre és a megmunkálási erőre is. A mikrokeményégi értékek megállapítása hasonló mechanikai vizsgálattal történik, mint a fémek esetében, ezt szemlélteti a 2.1. ábra. Vizsgálta a gránitok egyes összetevőinek keménységértékeit és ezeknek az alkotóknak az eloszlásvizsgálatán keresztül hozott létre általános mutatót az egyes gránitfajtákra. A mikrotörési értékek közel azonos tendenciát mutatnak a mikorkeményégi értékek változásával. A mikrotöréseket a megmunkálási erő alakulásával hozta kapcsolatba a fogásmélység és a megmunkálási sebességek változtatásán keresztül. Egyértelmű kapcsolatot a mikrotörési és a felületi érdességi értékek között nem mutattak ki kutatásai, de a mikrokeménység általános eloszlása, a fogásmélység és a vágósebesség paramétereinek felhasználásával tapasztalati képletet határozott meg a várható felület érdesség becslésére (1.):

$$R_a = a_2 H^{-2} D_H^{-c_2} \quad (1.)$$

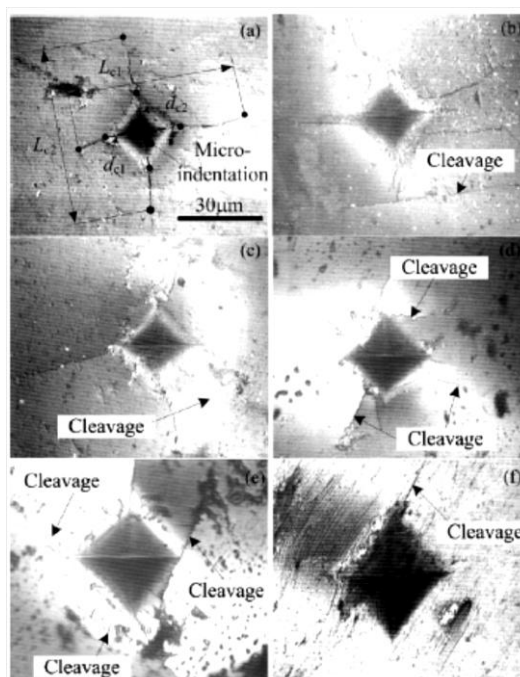
R_a : felületi érdesség

a_2 , b_2 és c_2 : pozitív, a csiszolási körülményektől függő konstansok

H : mikrokeménység

D_H : a mikrokeménység általános eltérése

Kísérleti eredményeiből megállapítható, hogy a növekvő mikrokeményégi értékek csökkenő átlagos eloszlás mellett a felületi érdesség csökkenését idézik elő, miközben a megmunkálási erő növekszik. A képlékeny anyagleválasztási szakaszban a megmunkálási erőnek alacsony szintű kapcsolata van a felületi érdességgel.



2.1. ábra A kövek mikorkeménységi értékének mérése (forrás: Xie [1] 041007-3, 2. ábra)

2.2. A kövek vágásának vizsgálata

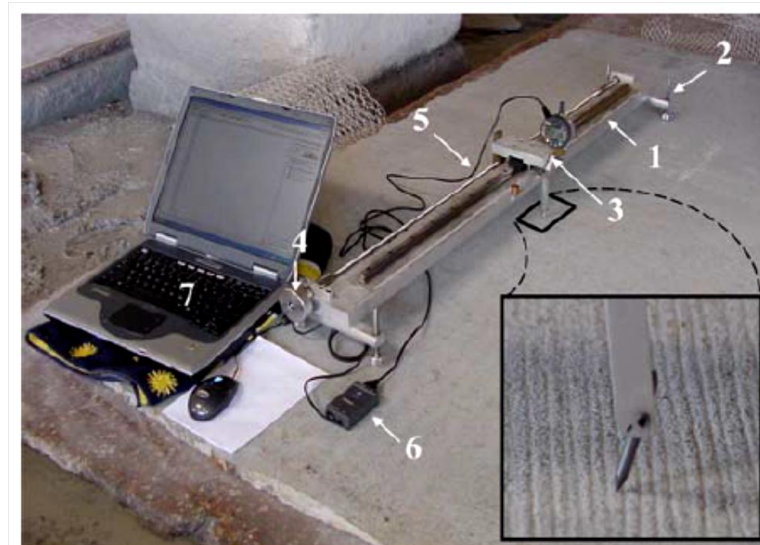
A kövek vágásának vizsgálatában jelentős eredményeket publikált Ribeiro, brazil kutató. Első, 2007-es cikkében [2] két különböző gránit ásványszerkezetének és szövetszerkezetének hatását vizsgálta a kövek vágása során alkalmazható vágósebességre. Kísérleteinek kivitelezése során folyamatosan vizsgálta a kialakuló felületi érdességet is, mellyel az volt a célja, hogy meghatározzák a fűrészelést követően eltávolítandó anyagmennyiséget és így a technológiai paraméterek hatását a megmunkálás költségeinek tükrében vizsgálhassák. A megmunkálások során a brazil iparban alkalmazott többpengés, acél vágóélű fűrészgépet használt, melyben az abrazív szemcsék is nagy Vickers keménységű acélból készülnek. A kísérleti megmunkálásokat egy alapos közetvizsgálat előzte meg. Ennek során az EN 12.407 (CEN 2000) irányelv szerint három merőleges irányban vettek vékonycsiszolatokat, ezek közül a fűrészelés irányába eső mintát polarizált fényű mikroszkópos vizsgálatnak vetették alá. A viszonylag nagy szemcseméret miatt a százalékos összetételt közvetlen, digitalizált szemcseszámolással állapították meg. A közettani analízissel pontos leírást adtak a vizsgált gránitok ásvány- és szövetszerkezetéről, valamint a jellemző közetalkotókról és

azok százalékos előfordulásáról. A Knoop keménységet a Vernier-mérték szerint határozták meg, de a mért értékek mindkét vizsgált gránit esetében közel egyezőre adódtak. A szerző egy, a csempék kopásának vizsgálatára kifejlesztett mélykopási tesztnek is alávetette a vizsgált gránitokat. Továbbá mérte az Amsler kopást is, mely kifejezheti a gránitok feldolgozási nehézségeinek egyik fő okát.

A kísérletek reprodukálhatósága és a mérési eredményekből kimutatható tendenciák megbízhatósága érdekében a teljes munka során a megmunkálásokhoz és a mérésekhez is ugyanazokat a berendezéseket használta, ugyanazokkal a feltételekkel és beállításokkal. A megmunkálásokhoz 70 tömb közül véletlenszerűen választotta ki a vizsgált három lapot, melyeket három-három különböző vágósebességgel munkáltak meg. A kísérletek bebizonyították, hogy a homogénebb szemcseszerkezetű gránit (jelen vizsgálatban ilyen fajtájú a „Realegno Champagne”) megmunkálásakor alkalmazható vágósebesség több mint kétszerese lehet, mint egy inhomogén szemcseméretű gránit („Red Pretty Capao”) esetében.

A megmunkált lapokon a felületi érdességet egy egyedi fejlesztésű profilométer (Ribeiro, 2005) segítségével mérte (2.2. ábra), melyet kimondottak a polírozatlan lapok érdességprofiljának meghatározására hoztak létre. Az érdességmérés eredményeképp bebizonyosodott, hogy az inhomogénebb szerkezetű gránitok esetén az elérhető felületi érdesség (R_t értéke) magasabb, mint a homogén szerkezetű gránit megmunkálása után. Ez természetesen költségtöbbletet vonz magával, mivel több anyag leválasztására van szükség a vágást követő polírozással.

Tehát a szövet- és ásványszerkezet lényegesen befolyásolja a Knoop keménységet és a mélykopást. A kvarc százalékos mennyisége és eloszlása nagymértékben befolyásolja a vágási sebességet, az Amsler kopást, valamint ezeken keresztül a felületi érdességet is.



2.2. ábra A felületi érdesség meghatározására fejlesztett berendezés (forrás: Ribeiro [2], 104. oldal 3. ábra)

(1. Acél állványzat; 2. Állítható láb; 3. „Mérőkocsi” (a mérést végző eszköz mozgatását lehetővé tevő berendezés); 4. Kalibráló henger; 5. Csatlakoztató kábel; 6. Mérő interfész; 7. Hordozható PC)

2010-ben megjelent publikációjában [3] Ribeiro a kölapok felületi érdessége és a dinamikus súrlódási együttható közötti kapcsolatra koncentrált. Ebben a kísérletben a 2007-es munkájához használt fűrészgéppel megegyezőt alkalmazott újabb öt, különböző szerkezetű és összetételű gránit vizsgálatához. A minta-előkészítés és –vizsgálat is az előzőekhez hasonlóan történt.

Az érdességet, mint a fűrészelési sebesség és a működő paraméterek közötti kapcsolat eredményeként értelmezte. A kísérleti megmunkálások elvégzése után a regisztrált adatokat elemezve összehasonlította az elért fűrészelési sebességeket a fellépő súrlódási együtthatóval, így megállapította, hogy a keményebb, kvarcosabb szerkezetű gránitok érdességi értékei a megmunkálás után magasabbak lesznek, mivel hálós szerkezetüknek és összetételükből adó keménységüknek köszönhetően jobban koptatják a szerszámot. Ezen gránitok esetében a fűrészelési sebesség is csupán 50%-a egy kevésbé keményebb gránit vágása esetén. Az alacsonyabb vágási sebesség jelentős megmunkálási időtöbbletet jelent, illetve a polírozással leválasztandó anyagmennyiség is nagyobb lesz, így a felületi érdesség javítására irányuló utómunkák is növelik a költségek mértékét.

A felületi érdességet a mért Knoop keménységekkel és mélykopási értékekkel is összehasonlította a szerző. Az érdesség és a Knoop keménység között negatív

korrelációt fedezett fel, mivel a kvarc hiánya és a magasabb biotit tartalom a választott gránitok összehasonlítása során alacsonyabb Knoop keménységet eredményezett, ugyanakkor ezek azok a gránitfajták, amelyeknek a fűrészelési sebessége magasabb volt, és már a fűrészelés során jobb volt az elérhető felületi minőség. A mélykopás és az érdesség között nem mutatható ki összefüggés, de a mikroszerkezet hatása jelentős lehet erre a kopásfajtára.

A kutatások igazolták a korábbi feltevéseket, miszerint az ásványszerkezet és a mikrostrukturális felületek jelentősen befolyásolják az adott kő megmunkálása során elérhető felületi érdességet, valamint a kő fűrészelhetőségét.

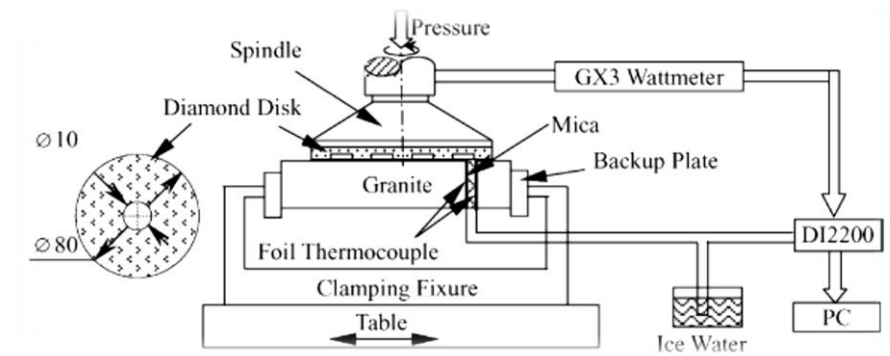
2.3. A csiszolás vizsgálata

A kövek csiszolásának vizsgálata rendkívül fontos a kőmarási folyamatok megismerésének céljából. A csiszolás kinematikájában, szerszámaiban és a megmunkáláshoz alkalmazható gépek felépítésében is jelentős hasonlóságot mutat a marási folyamatokkal. Éppen ezért a kövek csiszolásának kutatása terén elért eredmények egy része felhasználható, esetenként adaptálható a marási műveletekre.

A kövek csiszolása az iparban rendkívül fontos technológiai folyamat, mivel a kövek szükséges felületi érdességének kialakításához az esetek többségében nélkülözhetetlen. Többlépcsős, több, különböző gyémántszemcse-méretű szerszámmal végzett folyamat, melynek eredménye a kívánt felületi érdességű, az alkalmazásnak megfelelő kőfelület.

A kialakult felületen megfigyelhető vékony, csillogó réteget vizsgálta Huang [4]. Első, 2002-es cikkében még csak a felületi csillogó réteg kimutatásával foglalkozott. Ez a felületi réteg a kemény és törékeny (magas kvarctartalmú) gránitok esetén is jellemző, amennyiben a megmunkálást végző szerszám gyémántszemcse-méretét kellőképpen csökkentik.

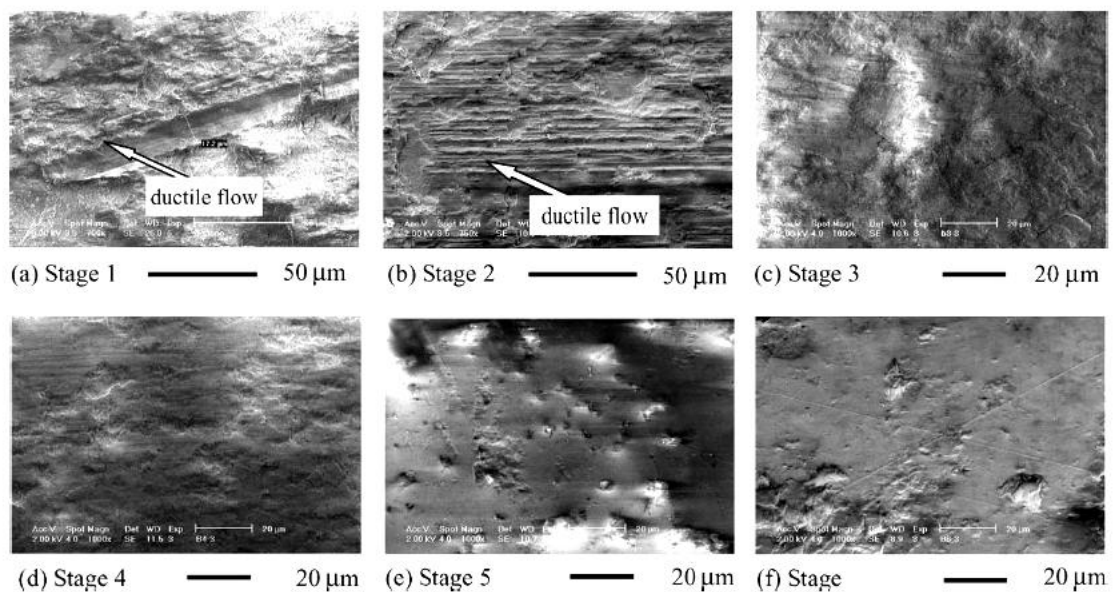
Korábbi feltételezései szerint ez a réteg a megmunkálás során fellépő magas hőmérséklet, és az ezzel járó hőhatás eredménye, de a szerző 2004-es kísérleteivel [5] cáfolta ezt a feltevést.



2.3. ábra A kísérleti berendezés vázlata (forrás: Huang [5], 264. oldal 1. ábra)

Vizsgálatai során hat darab, különböző gyémántszemcse méretű gyantakötésű szerszámot használt, melyek azonos nyomóerőt fejtettek ki a vizsgált kőfelületre, illetve a fordulatszám is megegyezett minden esetben. A főorsó által így felvett teljesítményt a megmunkálások során folyamatosan mérték. A felületen termoelemeket helyeztek el, melyek alkalmasak voltak a felületen végbemenő hőmérsékletváltozás kimutatására. A felület vizsgálatát elsősorban egy pásztázó elektronmikroszkóppal végezte, továbbá az érdességek és felületi egyenetlenségek vizsgálatához egy röntgendiffrakciós készüléket, illetve digitális fényerősségmérőt használt.

Pásztázó elektronmikroszkóppal készített felvételeivel igazolta, hogy minél kisebb az alkalmazott szerszám szemcsemérete, annál jellemzőbbek a képlékeny megfolyással kialakuló fényes felületfoltok a gránitok felszínén. Ilyen képlékeny megfolyásokról (ductile flow) készült felvételek láthatók a 2.4. ábrán. Minél több képlékeny megfolyással kialakult felület van a gránit felszínén, annál tükrösebb felület alakul ki.



2.4. ábra Képlékeny megfolyás (forrás: Huang [5], 265. oldal 2. ábra)

A képlékeny megfolyás a kisebb szemcseméretű szerszámokkal történő anyagleválasztásra jellemző, ebben a szakaszban (képlékeny anyagleválasztás szakasza) az érdesség kismértékben csökkenthető, de a felület fényessége markánsan változhat. A csiszolási folyamat elején alkalmazott, nagyobb gyémántszemcse-méretű szerszámokkal történő anyagleválasztás során, illetve abban az esetben, ha a felület érdessége nagyobb, mint 0,2 mikron, gyakrabban fordul elő az ásványok ridegtörése.

A kialakuló hőmérséklettel kapcsolatban Huang egy extrém megmunkálási körülmények között végzett kísérlettel bebizonyította, hogy a képlékeny megfolyás jelensége nem a kialakuló hőhatás eredménye. Ennek oka, hogy a szerszám, és a gránit tömb is elég hőstabil ahhoz, hogy a hőmérséklet hatásainak ellenálljon. A kísérletek során 100 °C-nál magasabb hőmérsékletet még az 50 másodpercig tartó egy pozícióban történő, hűtés nélküli (száraz) csiszolás sem eredményezett. A regisztrált hőmérsékletmaximumok igaz, hogy a fémeknél tapasztalhatóknál lényegesen magasabbak, de sokkal rövidebb ideig állnak fenn, így nem okoznak kémiai reakciót sem a gránitban, sem a gyémántszerszámokban, ám utóbbiak kopásáért felelőssé tehetők. A maximális hőmérséklet a szerszám gyémántszemcse méretének csökkenése mellett folyamatosan növekszik, ez feltehetőleg a képlékeny deformáció hatása lehet. Mivel a képlékeny anyagleválasztás szakaszában történő megmunkálás emészt fel a legnagyobb energiát, ebben a megmunkálási fázisban folyamatos hűtésről, kenésről kell gondoskodni.

2.4. A kövek megmunkálásához alkalmazott szerszámokkal kapcsolatos kutatások

Békevári (1986) [6] részletesen bemutatja a 20. században alkalmazott szerszámokat, melyek sok esetben megegyeznek, de legalábbis alapját képezik a napjainkban használatos szerszámoknak. Ezek a szerszámok készülhetnek természetes, vagy mesterséges gyémántszemcsék felhasználásával, melyeket gyanta, vagy fémkötésbe ágyaznak a szerszámban. Az ilyen szerszámok kedvező tulajdonságai a nagy teljesítmény, a tartós méretpontosság, az önéleződési képesség és az üzembiztonság mellett garantálható magas élettartam. A maró- (és csiszoló-) szerszámok esetén gyémántszemcsés szerszámokról beszélhetünk, melyekhez többnyire természetes gyémántszemcséket használnak.



2.5. ábra Az iparban alkalmazott szegmenses gyémántszemcsés kőmaró szerszám
(Woldem Kft.)

A marótárcsák használhatók nagyoló, illetve simító fokozatként is a megmunkálás során. Fő feladatuk a kőlapok felületeinek a csiszolás megkezdéséhez szükséges lemunkálása, illetve az egyenletes kőlapvastagság előállítása.

Napjainkban elterjedten alkalmaznak bevonatolt gyémántszemcséket tartalmazó szerszámokat az élettartósság, illetve a szemcsevisszatartás mértékének növelése érdekében. A bevonatolt szerszámok közül a szinterelt kobalt kötőanyagú fúró- és vágószerszámokat vizsgálta Webb 1999-ben [7]. A szinterelt fém és a gyémántszemcse által alkotott kapcsolatot nevezzük szegmensnek, melyet forrasztással vagy hegesztéssel erősítenek a szerszám magjára. Ilyen szegmensekből álló szerszámokról beszélhetünk a

csiszolás, illetve a marás esetén is, a szegmensek méretében, formájában és elhelyezkedésében azonban lényeges különbségek tapasztalhatók. Továbbá a leppeléshez és csiszoláshoz használatos szerszámokban lágyabb gyanta is elegendő lehet kötőanyagként. A gyémántszemcse és kötőanyag közötti fémes kötések kialakításához szinterelt fémporokat használnak. A kötésnek rögzítenie kell a szemcséket, a megmunkálás során fellépő nyomóerő hatására a szerszámban kialakuló súrlódás segítségével. A szegmensben jellemző kötés minőségét három paraméterrel írhatjuk le Webb szerint:

- szemcsevisszatartás

A szemcsevisszatartás annak mértékét határozza meg, hogy a megmunkálás során a gyémántszemcsék mekkora hányada marad a szerszám kötőanyagában. A gyémántszemcsék kipergésével a szerszám élettartama jelentősen csökken, valamint a szerszámmal előállítható felület minősége is romlik a kedvezőtlen megmunkálási körülmények kialakulásának következtében. A szemcsevisszatartási problémák megoldását a fémporok és azok előállítási technológiája, illetve a szerszám használatának korlátozása nélkül a szemcsék bevonatolási technológiái jelenthetik. A bevonat minőségét egy összetett jellemzővel írhatjuk le, ezt bevonatolási képességnek nevezzük és magába foglalja a bevonat teljességének leírását, a bevonat vastagságát, a fellépő adhéziós és megmunkálásból eredő erőket, a bevonat sűrűségét, a nedvességtartalmat és egyéb tényezőket.

- terhelésátadás

A megfelelő termelékenységhez elengedhetetlenül fontos a szerszám és munkadarab közötti érintkezési feszültségek könnyű, legkevesebb elnyelődéssel járó átadása a szerszámgép elemein keresztül a gép állványzatának.

- kopási ráta

A kopási ráta a gyémántszemcsék és a mátrixanyag kopásának mértékét foglalja magában. A kopási ráta szoros kapcsolatban áll a szerszám élettartamával. A kötés mátrixanyagát a megmunkálás során keletkező forgács roncsolhatja, így a mátrixanyag épségét megőrizendő, elengedhetetlen a megfelelő hűtés alkalmazása, melynek nagy szerepe van a forgács eltávolításában. A kötés kopási rátájának közel azonosnak kell lennie a gyémántkristály szemcsék kopási

rátájához, így biztosítható a stabil vágóél fenntartása, az önéleződés és a megfelelő szemcseviszatarthatás is.

Webb a kísérletei során különböző gyémántkorongokkal végzett vágó, csiszoló és fűrő megmunkálásokat. A használt szerszámok vizsgálata során pásztázó elektronmikroszkóppal felvételeket készített a törött, benyomódott és kipergő gyémántszemcsékről. A felvételeken felfedezhető továbbá a néhány mikrométer vastagságú bevonatréteg, mely nem befolyásolja a szegmens sűrűségét vagy porozitását és nem mutatható ki jellemzően a diffundálása sem a gyémántszemcsékbe. A bevonat növelte a súrlódást a kötőanyag és a szemcsék között, ezáltal növelte a szerszám éltartósságát.

Pollini 2004-es kísérletei [8] kiemelkedő fontossággal bírnak TDK munkánk szempontjából, mivel marószerszámokkal végzett kísérleti megmunkálások során vizsgálta a szerszám mikro-geometriai kopását. Kísérletei során rögzített, az iparban használatos értékeknek megfelelő technológiai paraméterekkel, szinte rezgésmentesen rögzített kövek vágását végezte el a kiválasztott szerszámokkal, az azoknak megfelelő kőtáblákon. A hűtőfolyadék áramlási irányának a szerszám felületét állította be és rögzítette a hűtő-kenő folyadék, illetve annak adagolására vonatkozó paramétereket. A kapott eredményeket összevetette a szerszám alkalmazásával elérhető felületi érdességgel is. Egy teszt protokollt dolgozott ki, mellyel becsülhető a szerszám mikrogeometriai kopása a megmunkálás közben. Kidolgozott módszerét az egyélű szerszámok vizsgálatára fejlesztett hasonló protokollra alapozta (ISO 3685, Szerszám élettartam vizsgálat egyélű szerszámokra; 1977 [9]). A vizsgálati rendszer figyelembe veszi az alkalmazott technológiai paramétereket, a megmunkálást végző gép és szerszám jellemzőit, valamint a megmunkálandó anyag tulajdonságait is. Pollini munkájában megjelenő szerszámkopást jellemző paraméterek a gyémántszemcse életciklusa, a dolgozó gyémántszemcsék koncentrációja és az anyageltávolítási arány. Kutatásai során a kőmarási műveleteket egy NC vezérlésű, általános kőmegmunkálásra kifejlesztett kőmegmunkáló központon hajtotta végre. Az általa kifejlesztett teszt protokoll mikrogeometriai kopástesztje azon alapul, hogy a megmunkálási sorozat végrehajtása közben folyamatosan, vagy ciklikusan mérik és rögzítik a meghatározó, felsorolt kopásjellemző paramétereket.

Kísérleteinek kivitelezéséhez felhasználta az ipari gyakorlatban használatos technológiai paraméter értékeket, melyek a 2.1. táblázatban láthatók.

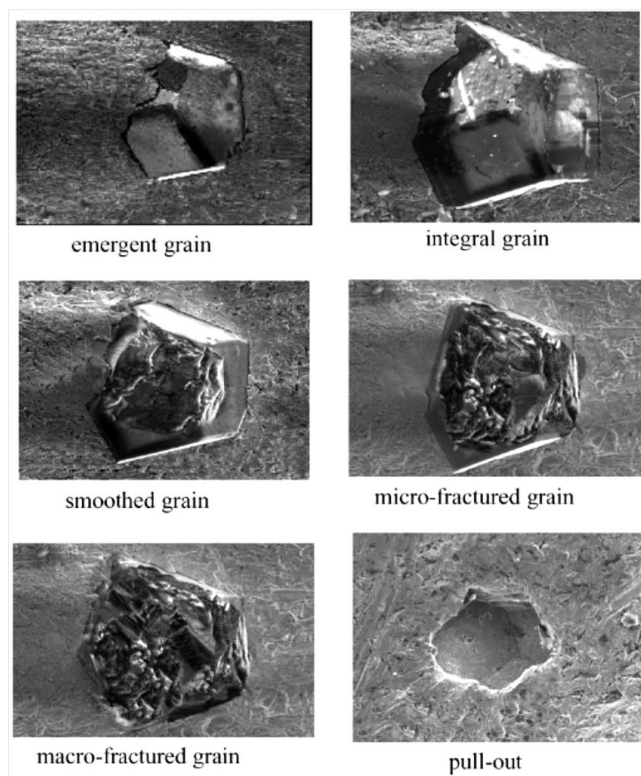
Recommended conditions of cutting			
Material	Machining parameters		
	Rotation speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	Axial depth of cut (mm)
Granite	5000	300	20
Marble	5000	400	
Granite	4500	200	30
Marble	5000	400	
Granite	4500	200	40
Marble	4500	400	

2.1. táblázat A kövek vágásához alkalmazott, ajánlott technológiai paraméterek (forrás: Pollini [8], 249. oldal 2. táblázat)

A teszt protokollban megfogalmazta a szerszámgéppel szemben támasztott követelményeket és előírta a vizsgálatok kivitelezéséhez szükséges mérőrendszer elemeit. A kopási folyamatot két részre választotta, az egyik a szerszám szegmens mátrix anyagának kopása, a másik a gyémántszemcsék kopása a megmunkálás során. A mátrixanyag kopásával nő a szemcsekipergések száma, a gyémántszemcse kopása pedig a szemcsék gömbölyödését, törését, kitöredezését okozza. Az élettartam imént felsorolt jelenségekhez kapcsolódó fázisait a 2.6. ábra szemlélteti.

A vizsgálati jelentésben a szerző kiemeli, hogy a kapott értékek csupán általánosságban írják le a kopási folyamatokat, mivel a megmunkálási környezet és a megmunkálás paraméterei minden egyes vizsgálati sorozatban változhatnak. Az előkészítési folyamat részeként leírja az gyémántszemcsék kopásának előzetes tesztjét, mely a szemcse mátrixanyagból történő kiválásáig eltelt idő mérésén alapszik. A teszt protokoll ismételhetősége és reprodukálhatósága érdekében az R&R rendszer alkalmazását javasolja.

A fejlesztett teszt protokollal két különböző marószerszámot vizsgáltak két különböző átlagos szemcsenagysággal rendelkező grániton. A szerszámelettartam különbségét főleg a gránitok eltérő keménységértékei és a különböző abrazivitás okozta. A protokoll alkalmazásával meghatározhatóvá váltak azok a kritikus paraméterek, amelyek hatással vannak a szerszám élettartamának csökkenésére, illetve összehasonlíthatóvá váltak a különböző típusú kőmegmunkáló szerszámok.



2.6. ábra A gyémánszemcsék élettartamának fázisai (forrás: Pollini [8], 248. oldal 1. ábra)

2.5. Kőanyagok felületi érdességének mérése

A hagyományos, fémekhez alkalmazott érdességmérő berendezések sok esetben nem alkalmazhatók a kőanyagok felületi érdességének meghatározásához, mivel utóbbiak felülete, az anyag heterogenitásának következtében tartalmazhat olyan egyenetlenségeket, melyeket a műszer nem tud kiértékelni, vagy akár meg is hibásodhat.

Chae 2003-as cikkében [10] olyan eszközöket mutat be, melyek a kövek esetén érdességmérésre használt profilométerek mellett vagy helyett alkalmazhatók a minőségi paraméter meghatározásához. Munkájában ismerteti a korábban alkalmazott rendszereket is, mint a kísérleti felület letapogató számítógéppel vezérelt eszközt (Develi, 2001), illetve kiemeli a pásztázó elektronmikroszkóppal végzett vizsgálatok fontosságát. Említést tesz az árnyék profilometriáról és a gyantából készített digitalizálható érdességprofil leképezésekről is. Kísérletei során konfokális lézeres elektronmikroszkópot és Fourier színeképelemző rendszert használt. Kutatásainak célja az volt, hogy a töretfelületek érdességét minél pontosabban modellezze, mivel ez a

felületi tulajdonság rendkívül fontos a megmunkálás során történő hűtővíz áramoltatása szempontjából. Összehasonlította a természetes és a mesterséges töréseket, valamint kísérleti úton bebizonyította, hogy ezek tulajdonságai a vizsgálatok szempontjából megegyezőnek tekinthetők.

A konfokális lézeres pásztázó elektronmikroszkóppal (CLSM) két- és háromdimenziós képek is készíthetők a felületről, így meghatározható a rések elhelyezkedése és eloszlása, valamint megkülönböztethetők a különböző ásványi felületek is. A felületek pásztázását nem befolyásolja a lézer korlátozott behatolóképesége, CLSM-mel alkalmazhatók a rövid hullámhosszú lézerfénnyel is a vizsgálatokhoz, a konfokális optika pedig javítja a felbontást a fény tengelyének irányában. CLSM alkalmazásával nagyobb felbontás és kontraszt érhető el, így javul a képminőség és a képeken megjelő alakok mérhetővé válnak. A konfokális kép digitális adatokat szolgáltat, melyek így számítógéppel már a felvételek készítésekor értékelhetők. A CLSM-hez egy szoftvert is javasol a szerző, mellyel a felvételek könnyen és gyorsan értékelhetők, valamint a mikroszkóp kezelését is lényegesen megkönnyíti. Az érdességmérés több különböző mértékű nagyítással készült kép elemzésével történik (5x-100x-os nagyításig).



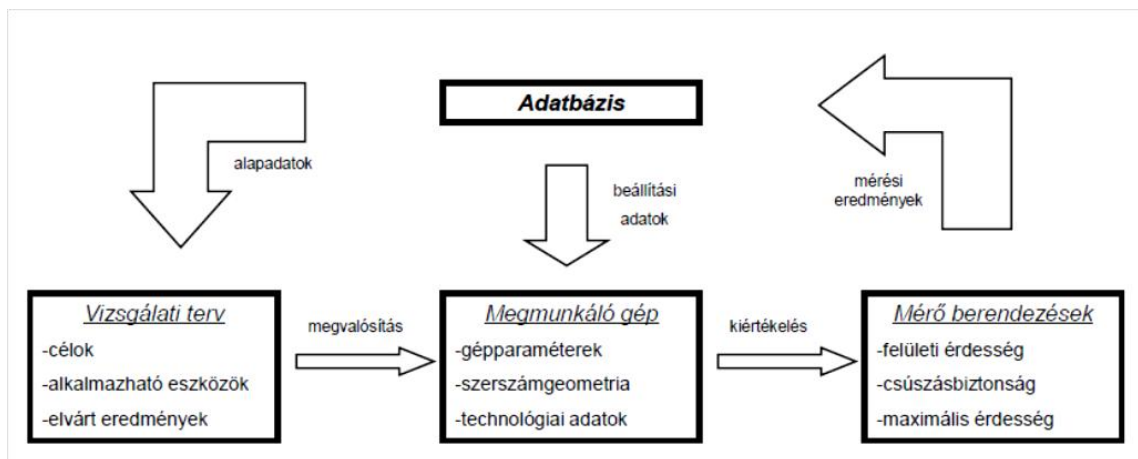
2.7. ábra Olympus OLS 1100Konfokális lézeres elektronmikroszkóp (forrás: Chae [10], 184. oldal 1. ábra)

Az érdesség spektrális analízise a Fourier színeképelemző rendszerrel (FFT) történhet. Ezzel a vizsgálattal állapította meg a szerző, hogy a mesterséges és természetes törések felülete gyakorlatilag egyező profilokat mutat. A mintákból nyert érdességadatokat

frekvenciatartományokba sorolja, ezeket pedig számítógépes szoftver segítségével elemzi a rendszer. Tehát az FFT a többi mechanikus vagy optikai mérőeszkőzettel nyert adatok értékelésére szolgálhat.

2.6. Javasolt kísérleti megmunkáló és mérő rendszer

A mérési eredmények megfelelő értékeléséhez szükség van egy olyan megmunkáló és mérőrendszerre, melynek segítségével az adatok tárolása, az adatgyűjtés, illetve a tárolt paraméterek felhasználása gyorsan és könnyedén történhet. Egy ilyen rendszer sematikus vázlatát mutatja a 2.8. ábra [11]. A rendszer központi modulja egy adatbázis, mely alkalmas a technológiai paraméterek, gépek és felhasznált eszközök adatainak, valamint a mért adatok tárolására és rendszerezésére. A kísérleti terv tartalmazza a kutatási célokat, az alkalmazható eszközök listáját (ebben már azok az eszközök szerepelhetnek, amelyek rendelkezésre állnak, vagy beszerezhetők az adott vizsgálathoz), illetve az elvárt eredményeket, melyek akár az irodalomkutatási munka során gyűjtött adatokból is összeállíthatók. A megmunkáló egység modul tartalmazza a vizsgálat során alkalmazott gépeket, illetve az adatbázisból kiválasztott paramétereket.



2.8. ábra Megmunkáló és mérőrendszer sematikus vázlata (forrás: Kun és Gyurika [11],
4. ábra)

Végül a mérő berendezések modul tárolja a használt mérőeszközök listáját, valamint a definiált mérendő jellemzőket.

Az így kiépített megmunkáló és mérőrendszer egy hosszabb és részletesebb kutatási sorozat megvalósításához is segítséget nyújthat, támogathatja a több intézmény együttműködésével létrejött kutatási tevékenység folyamatát [12].

2.7. Irodalomkutatási összefoglaló

Irodalomkutatási munkánk célja az volt, hogy elvégzendő kísérleteinkhez összeállíthassuk a megfelelő megmunkálási környezetet, illetve kiválaszthassuk az értékeléshez szükséges eszközöket. Az ismertetett kutatási eredmények szerint kijelölhetők azok a jellemző tulajdonságok és kőalkotók, amelyek befolyásolják a választott kövek megmunkálását és a kialakítható felületi érdesség értékét. A tulajdonságokat és megmunkálásra való hatásukat kísérleteink során mi is figyelembe vettük, az értékelés során külön foglalkozunk ezekkel a befolyásoló tényezőkkel.

A bemutatott irodalmak szerint a kövek szövet- és ásványszerkezete jelentős hatással bír a kopási tulajdonságokra. A százalékos összetétel (a kvarc és a többi kőzetalkotó átlagos mennyisége) a vágási sebességen keresztül befolyásolja a felületi érdességet, valamint a Knoop keménységet és a kopást is. A csiszolási folyamatoknál megfigyelhető képlékeny megfolyást a marási műveletek esetében még nem vizsgálták, ennek megállapításához többlépcsős (különböző gyémántszemcse méretű szerszámokkal történő) megmunkálás elvégzése lenne célszerű a marás esetében is. A hőmérséklet hatása nem kimutatható, a megfelelő vízűtés alkalmazásával pedig a véletlenszerűen előforduló hőmérsékletugrások száma és mértéke csökkenthető. A kísérletek összeállításakor figyelembe vettük az irodalmak által ajánlott technológiai paramétereket, melyeket az iparban alkalmazott értékekkel vetettünk össze beállításuk előtt. A megmunkálások során használt szerszám szintén az irodalmak által ajánlott, gyémántos szegmenses marószerszám.

Az irodalmakban bemutatott érdességmérésre szolgáló eszközök tulajdonságait és alkalmasságát próbáltuk mi is elérni az általunk választott eszközökkel annak érdekében, hogy a korábbi eredményekkel összehasonlítható jellemző értékeket kaphassunk. A mikroszkópos vizsgálatok célja az, hogy a felületi hibák és az érdességet befolyásoló tényezők kimutathatóak legyenek, valamint meghatározhatóvá váljon az átlagos szemcseméret, illetve a kőzetalkotók százalékos összetétele.

3. Kőtermékek előállítása

A bányászat során az első és legfontosabb feladat az, hogy megtudják, hol és hogyan helyezkedik el a kibányászni kívánt kőzet. Annak érdekében, hogy a lehető legkevesebb hulladék keletkezzen, igyekeznek a kőzetet úgy eltörni, hogy egyenesek mentén történjenek. Ezt követően megtisztítják a földtől és egyéb szennyeződésektől. Majd megtörténik az első vágás a kibányászott kőzeten, általában huzalfűrészszel vagy vízsugárral. Amennyiben ez fűrészszel történik, úgy hűtésként vizet használnak.

Miután a kövekből kívánt méretű tömböket vágnak, minden durva hibát, felületi egyenetlenséget, szemcsekitöréseket eltüntetnek. Ezek a műveletek általában a kibányászás helyén történnek, hiszen a szállítás során sérülhetnének és nagy tömegük miatt ez drága lenne. A tömböket ezt követően a kívánt méretű táblákra vágják, egyszerre több lapot is el lehet készíteni, akár különböző vastagságban is. A végső fázis a polírozás, vagy égetett felület megalkotása. Ezt követően a táblákat méretük szerint osztályozzák, és szortírozzák a felhasználhatóság helyének megfelelően. Ekkor megmunkálásra, esetleg közvetlenül felhasználásra készek pl. a csempék, különféle munkapultok, fali burkolóelemek.

Általában tömbös falburkolatokat is szoktak készíteni. Ezeket is méretre vágják. Leggyakrabban téglaszerű burkolóelemekként használják fel, de szobrászatban is gyakran használják. Azonban ahhoz, hogy ezek készek legyenek, meg kell munkálni. Azonban ma ezt a feladatot már nem kőfaragók végzik, hanem számítógéppel vezérelt gépek (például kőmarógépek), amelyek speciális késekkel, szerszámokkal állítják elő a kívánt, olykor-olykor bonyolult felületeket. A kövek megmunkálása után következik az ellenőrzés, amelyet a csomagolás, végezetül pedig a szállítás követnek. [13]

3.1. Néhány szó a Woldem Kft.-ről

A Woldem Kft.-t 1998-ban alapították magánvállalkozásként. E cég esetében mikrovállalkozásról beszélhetünk, hiszen mindössze hét fő dolgozik itt, ebből hárman a gépeknél. Itt volt lehetőségünk a kutatásunkhoz szükséges megmunkálásokat elvégezni. A cég fő profilja a vízsugaras vágás. De ezen kívül rendelkeznek egy kőmarógéppel is - amelyet mi is használtunk - aminek a segítségével a legtöbb típusú munkát el tudják végezni a kőipar ezen területén. Annak ellenére, hogy egy kisméretű cégről van szó,

kiemelkedő referenciákkal rendelkezik. A teljesség igénye nélkül, a Pólus Center világításának, fémburkolatainak, továbbá a Sziklakápolna előtt található Szent István szobor kültéri burkolatainak legyártása is az ő nevükhöz fűződik.

Mindösszesen két vízsugaras vágógéppel rendelkeznek. A vízsugaras vágógépeket a Perndorfer cég gyártotta, a vágás során nagy, 3600 bar nyomást használnak. Puha anyagok esetében –műanyagok, habosított anyagok- a vágást tiszta vízzel végzik el. Ezzel ellentétben, a keményebb anyagoknál, kőtábláknál, valamint fémeknél ún. abrazív vízsugaras vágást alkalmaznak.

3.2. Megmunkáló központ

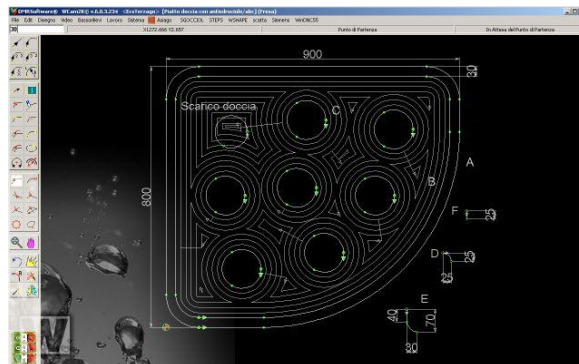
A megmunkáló központot, amelyen a megmunkálást végeztük, az olasz Prussiani cég gyártotta. Ahogyan, általában a kőiparban használt gépek, ez is nagy munkatérrel rendelkezik. Kialakítása esetében portál jellegűről beszélhetünk. Az asztal anyaga rozsdamentes acél. Eerre különböző támasztó elemeket szoktak feltenni, majd ezekre helyezik rá a lapokat, valamint tömböket. Található a megmunkáló központban egy lineárisan elhelyezett szerszámtartó, amelybe összesen 34 darab szerszámot lehet behelyezni.

E gép esetében vízhűtést használnak. A főorsón található egy fixen felhelyezett lap, amin azonos átmérőjű fűvókák találhatók, összesen 14 darab. A fémlap felső lapjára van csatlakoztatva a vízcső, és a fűvókákon keresztül kiáramlik a nagy nyomású víz a szerszámra és a megmunkálandó felületre. Lehetőség van a belső hűtésre is, de ebben az esetben a szerszámnak kell olyan kialakításúnak lennie, hogy ez megvalósulhasson. A szerszámon keresztül érkező vízsugár átmérője általában nagyobb, mint a fűvókáké, de a szerszám geometriai méreteitől függően ez nem minden esetben igaz. Az 1.1. ábrán látható a megmunkáló központ asztala, ahol megfigyelhető a szerszámok elhelyezkedése és a megmunkálandó anyag felfogatása. [14]



1.1. ábra Megmunkáló központ (forrás: Woldem Kft. honlapja [14])

A szerszám lehet polírkő készlet, vagy szegmenses marószerszám. A maró, geometriai kialakítása sokféle lehet, de minden esetben szegmensekből áll. Az egyes szegmensek forrasztással kerülnek a keményfém szára. Ezek valamilyen mátrixanyagból és gyémánt szemcsékből állnak. A mátrix anyag biztosítja a szívósságot, míg a szemcsék végzik a megmunkálást. A szemcsék mérete az adott szerszámon azonos, és a megmunkálás jellegéhez mérten kisebb illetve nagyobb szokott lenni.



1.2. ábra StoneCam számítógépes környezete

Az 1.2. ábrán látható a számítógépes környezet [14]. A megmunkáló gép a StoneCam rendszert használja. A programok megírása a számítógépre telepített részen történik. Ez a CAD/CAM rendszer, míg a megmunkáló központra áttöltve végrehajtoi környezetbe kerül. Itt módosítható a program és a finomhangolások is elvégezhetőek a potméterek segítségével.

4. A gránitok fő kőzetalkotói, jellemző tulajdonságaik

A gránitok kőzetalkotói befolyásolják az egész kőzetre jellemző mechanikai és fizikai tulajdonságokat. A kőzetvizsgálat során először az alkotók azonosítását végzik el, majd a jellemző szemcsenagyságot állapítják meg. A kőzetvizsgálat, az alkotó ásványok bemutatása, valamint a megmunkálási körülményeket befolyásoló tényezők ismertetését fontosnak tartottuk, mivel az eredményeink értékelése során részletesen foglalkoztunk a kőzetalkotók tulajdonságainak hatásával.

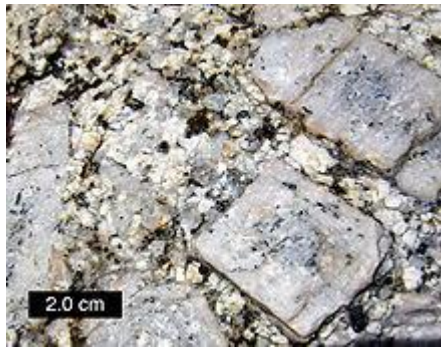
4.1. A legfontosabb ásványtulajdonságok

Először bemutatjuk azokat a tulajdonságokat, melyek a megmunkálás során hatással lehetnek a technológiai paraméterek alkalmazhatóságára, illetve a felületi érdességre. Ezeknek az ásványtulajdonságoknak a hatását az értékelés során részletesen vizsgáltuk, kitérve azokra a jelenségekre, felületi hibákra, melyeket az ásványok, illetve a kőzetek szerkezeti sajátosságai okoznak.

Hasadás és törés

Mechanikai hatás következtében (pl. ütés, húzás, nyomás) a kristály meghatározott síkok, kristálylapok mentén válik szét. Mindig a legtömörebb rácssík mentén történik, tehát függ a kristályok belső szerkezetétől. Egy kristály több irányban is hasadhat, de a hasadás mértéke az egyes irányokban eltérhet. A hasadási felület általában sík és változó fényességű. A hasadás lehet kitűnő, igen jó, jó és rossz a hasadási felület minőségétől függően [15]. A hasadással létrejövő felület sima, jól hasadt földpát ásványfelületeket mutat a 4.1. ábra. A rétegszerkezetre merőlegesen még a szépen hasadó ásványok is törnek. A kalcit, a csillámok igen jól hasadnak. Jól hasadó ásvány a földpát. A gránátok és a cirkon rossz hasadók. Az amorf ásványok a határozott belső szerkezet hiánya miatt nem hasadnak, csak törnek. Törés akkor következik be, amikor az erőhatásra elváló felület nem sík, hanem egyenetlen. Olyan kristályokban megy végbe, ahol a ható kötőerők nagysága nagyjából minden irányban megegyezik.

A hasadások és a törések befolyásolják a megmunkálással kialakítható felületi érdességet. Magasabb fordulatszám alkalmazása esetén jellemzővé válik a szemcsék kitépődése, alacsonyabb fordulatszám mellett a szemcsék törése általánosabb. A hasadás az ásvány elhelyezkedésétől függően megy végbe, ám a rosszul megválasztott technológiai paraméterek a hasadó ásványok kiszakadását is eredményezhetik. A vizsgálatok értékelése során kitérünk arra, hogy az érdességeltéréseket milyen felületi szabálytalanságok okozhatták.



4.1. ábra Földpát hasadása gránitban és hasadt földpát kristálycsomó (forrás: [16])

Karcolási keménység

Relatív keménységi sorrend az egymást karcoló ásványokról. A karcolási keménység az ásvány belső szerkezetétől is függ. Egy ásvány karcolási keménységének megállapítása aszerint történik, hogy mely anyagot képes karcolni, illetve mely ásvány képes karcolási nyomot hagyni rajta[16]. A mechanikai vizsgálat szerint kerül be a Mohs-féle keménységi sorba, a skála alapelemei közé (4.1.táblázat) és kap karcolási keménységi értéket a vizsgált ásvány.

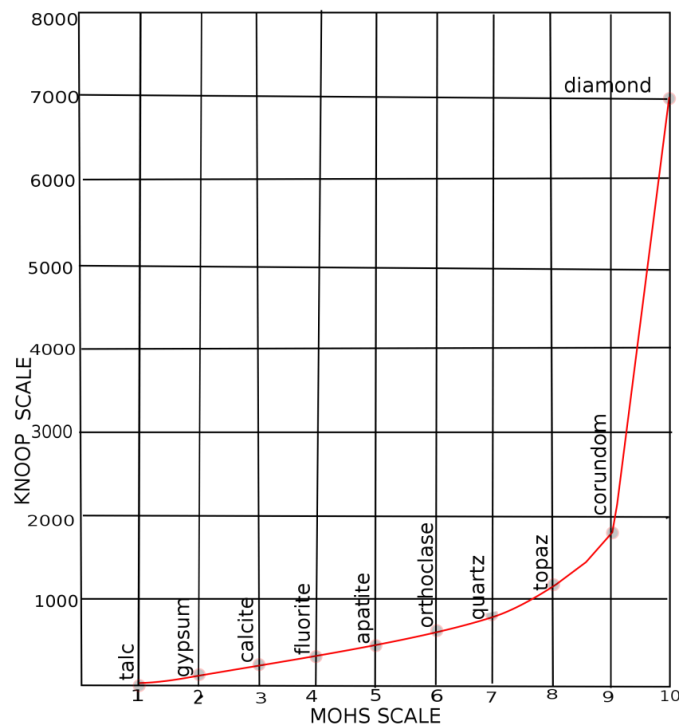
Knoop keménység

A Knoop keménységi teszt egy mechanikai mikrokeménységi teszt, mellyel rideg anyagok és vékonycsiszolat-minták keménysége állapítható meg. A vizsgálat hasonlóan zajlik, mint a fémek keménységmérése. A polírozott felületbe meghatározott ideig egy gyémántgúlát nyomnak, majd a lenyomatot mikroszkóp alatt vizsgálják. A benyomódási mélység adja a Knoop keménységet. Ennek a keménységi tesztnek a fő előnye, hogy nagyon kevés mintaanyagot igényel és a tesztelő erők széles

tartományában érvényes vizsgálati eredményeket szolgáltat. A problémát a mikroszkópos mélységmérés jelenti, mely 0,5 mikrométeres pontosságot igényel. Emellett a minta előkészítése is hosszadalmas. Hátrányai ellenére a Knoop keménységmérés a legszélesebben elterjedt keménységmérési módszer a kőzetek vizsgálata terén [16].

1.	talk (zsírkő)	körömmel könnyen karcolható
2.	gipsz	körömmel nehezen karcolható
3.	kalcit	körömmel nem karcolható, tűvel igen
4.	fluorit	tűvel nehezen, késsel könnyen karcolható
5.	apatit	tűvel nem, késsel nehezen karcolható
6.	földpát	késsel nem karcolható, reszelő fogja
7.	kvarc	üveget karcolja, acéllal szikrázik
8.	topáz	üveget karcolja
9.	korund	üveget karcolja
10.	gyémánt	üveget karcolja

4.1. táblázat A Mohs-féle keménységi skála alapelemei (forrás: [16])



4.2. ábra A Knoop keménység (függőleges tengely) a Mohs-skála értékeinek (vízszintes tengely) függvényében (forrás: [16])

A Knoop keménység, valamint a Mohs-féle karcolási keménység alapvetően befolyásolja a szerszám és a munkadarab között ható erőket. A keménység függvényében a kőzetek heterogén anyagának megmunkálásakor folyamatosan változó energetikai viszonyok a szerszám gyorsabb kopását okozzák.

Kőzetek kopása

A kőzet felületi térfogatvesztését határozza meg, a felhasználási körülményei között. A kopási veszteség függ a felületre ható súrlódási erőtől, amely ingadozó lehet, így a kopás mértéke is nagymértékben ingadozó. A kopási veszteséget csiszolókorongos berendezésekkel vizsgálják. A kopási ellenállás kőzetre jellemző tulajdonság, amely nagyjából a karcolásos keménységgel arányos. A kőzet eredő kopása a kőzetalkotó ásványok kötési szilárdságától függ. A 7-es karcolási keménységű kvarc kopik a fő kőzetalkotók közül a legkevésbé. A jól hasadó, kemény ásványok, mint a földpátok kötési szilárdsága csekély. A kopás a kőzet tényleges felületével arányos: a nagyobb hégztérfogatú kőzetek jobban kopnak, mint a tömöttebbek. A kopás lehet egyenletes vagy egyenetlen a kőzettani fejlődés szerint. A gránitok általánosságban egyenlőtlenül kopnak a beépített gránitkocka szélein legömbölyödik és így pl. hamar hullámossá teszi az útfelületet. A gránitok közül jobban ellenálló az apró, egyenletes szeműek (ilyen gránitok a gabbrok), mint a nagy vagy vegyes szemű gránitok.

A bemutatott kísérleteinkben alkalmazott gránitoknak a Böhme-féle kopásvizsgálatát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában végezték el. A Böhme-féle kopásteszt meghatározott szemcseméretű porral történik, szabványban rögzített méretű próbatesttel. A vizsgálat végeztével a leválasztott anyagmennyiséget kell megállapítani. [17]

4.2. Fő kőzetalkotók

Kvarc

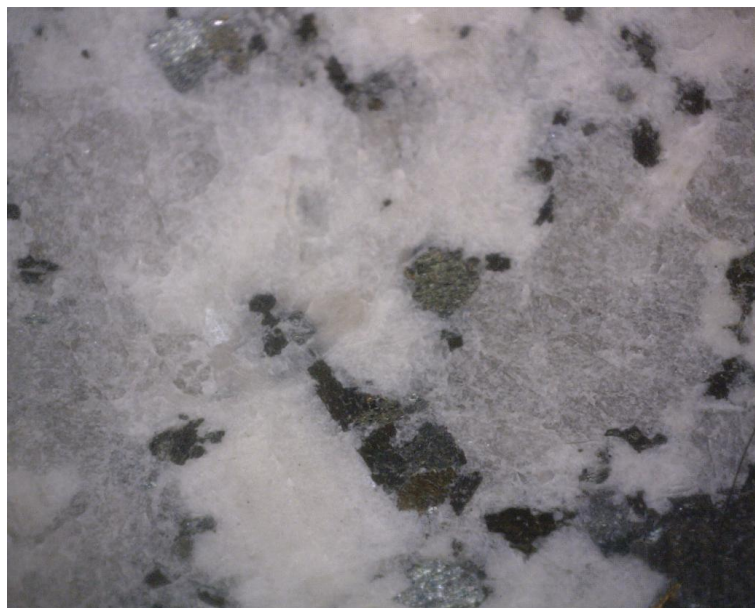
A gránitok szerkezetében leggyakrabban előforduló ásvány a kvarc. Az egyszerű oxidok közé tartozik, kristályára nem jellemző a hasadás, törése kagylós, szálkás képet mutat. Kristályos változata nagyon rideg, vaskosabb, csomósabb előfordulásai szívósabbak. Kristályaiban gyakran fordulnak elő különböző zárványok, mely a törést befolyásoló anyaghibákat jelentenek [16]. Színe az átlátszótól egészen a piszkos szürkés áttetszőig terjedhet, meghatározhatja a gránit árnyalatát. Keménysége a Mohs-skála szerinti 7-es értékű. A 4.3. ábrán kvarccsomó látszik a Rosa Beta gránit felszínén, körülötte fehéres árnyalatú földpátok.

Káliföldpát

Ez az ásvány többféle színben fordulhat elő, jellemző színt kölcsönöz a különböző gránitoknak. A törés nem jellemző rá, hasadni képes ásvány, törései a hasadási síkok mentén fordulnak elő. Keménysége alig marad el a kvarcétól [16].

Biotit

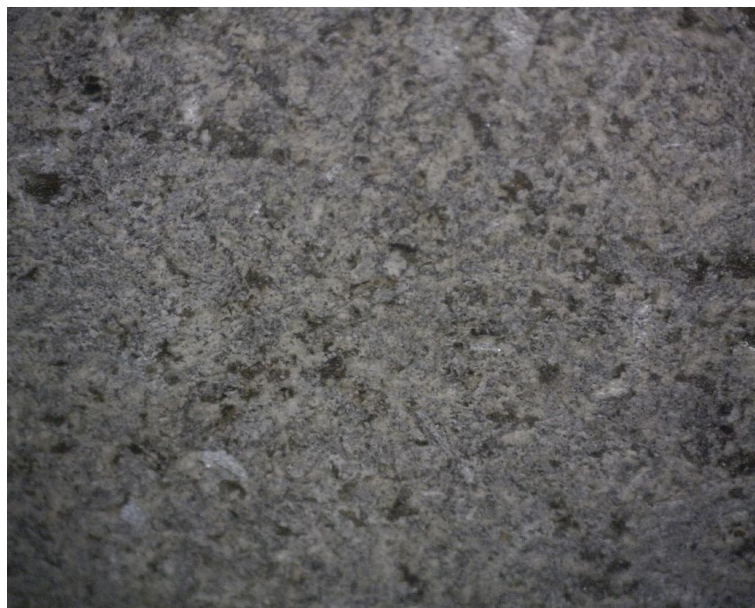
A biotit kiváló hasadó a fő hasadási síkja mentén, a hasadási lapok gyöngyházfényűek, törése ritka. Ásványa fényes, csillogó kálium tartalmú magnézium-vascsillám. Keménysége a Mohs-skála szerint 2,5-4-es értékű [16]. A 4.3. ábrán kisebb biotit kristályok látszanak.



4.3. ábra 30-szoros nagyítású mikroszkópos felvétel a Rosa Beta gránit felszínéről

Plagioklászok

A földpátok csoportjába tartoznak, kissé nyúlt táblás formájú a megjelenésük. A legelterjedtebb és legáltalánosabb kőzetalkotó ásványok. Többnyire ikerkristályosok. Kalcium és nátrium tartalma az optikai tulajdonságait is meghatározza, ezért fénytörésük alapján különíthetők el egymástól az egyes fajtái. Keménységük alig marad el a kvarcétól, Mohs-skála szerint 6,5-ös. Hasadásuk a hasadási sík mentén kiváló. A gabbro fő kőzetalkotójaként kékes árnyalatú, de általában fehér, szürkésfehér színű ásvány [16]. A plagioklászok apró szemcséit a 4.4. ábrán látható gabbro felszínéről készült mikroszkópos felvétel szemlélteti.



4.4. ábra 30-szoros nagyítású mikroszkópos felvétel a G684-es gabbro felületéről

Piroxén

A láncsilikátok csoportjába tartozó ásvány. Gyantás vagy üvegfényű, zöld, zöldesfekete vagy barnászörös színű közetalkotó. Keménysége a kvarcéhoz közeli, Mohs-skálaa szerint 6-6,5-ös. Megjelenés az előfordulása szerint változik, a rombos, illetve a monoklin sorba tartozó piroxének eltérő tulajdonságokkal rendelkezhetnek [16]. A 4.4. ábrán látható gabbro színét a színes közetalkotó piroxinoknak köszönheti.

Klorit

Pikkelyes, lemezes változatos színekben előforduló közetalkotó. Keménysége a Mohs-skála szerint 2-3 körüli. Hasadásra a hasadási síkok mentén hajlamos, hasadása kiváló [18].

5. Vizsgálati folyamatok leírása

A közel fél évig tartó irodalomkutatási munkánkat követően meghatároztuk azt, hogy pontosan mit kívánunk vizsgálni és milyen vizsgálati módszerekkel akarjuk majd ezeket elvégezni, kiértékelni a kutató irodalmak függvényében. A kutatások elvégzésének ideje alatt több vizsgáló berendezéssel, műszerrel dolgoztunk az eredmények kiértékelhetőségének céljából, amelyekről a következőkben olvashatunk.

Tanulmányunkban a kőmarás technológiai paramétereit vizsgáltuk. Mivel nagyon kevés információ állt rendelkezésünkre, ezért igyekeztünk felhasználni azokat az irányelveket és következtetéseket, amiket más kőmegmunkálási folyamatok vizsgálatakor foglalmaztak meg.

5.1. Célkitűzések

Méréseinkkel az irodalomkutatás során megfogalmazott szabályszerűségek és felvetések vizsgálata volt a célunk. A kövek marási folyamat során tanúsított viselkedését a fémek megmunkálási tulajdonságaival vetettük össze. Érdességmérést végeztünk, egy fémek felületi minőségének megállapítására széles körben alkalmazott mobil érdességmérő eszközzel, annak érdekében, hogy összehasonlítható eredményeket kapjunk az előzetes feltevéseink bizonyítására. A csúszási ellenállás mérés a felület minőségének vizsgálatát kiegészítő eljárásként került be a mérési tervünkbe, a kövek vizsgálatára alkalmazott eljárással kapott eredmények és az átlagos felületi érdesség közötti kapcsolat feltárásán dolgoztunk. Végül, a felületi hibák azonosítására mikroszkópos felvételeket készítettünk és kerestük azokat a közet tulajdonságokat, illetve alkotókat, valamint a felületen végbemenő jelenségek magyarázatát, melyek befolyásolják az érdességértékek alakulását.

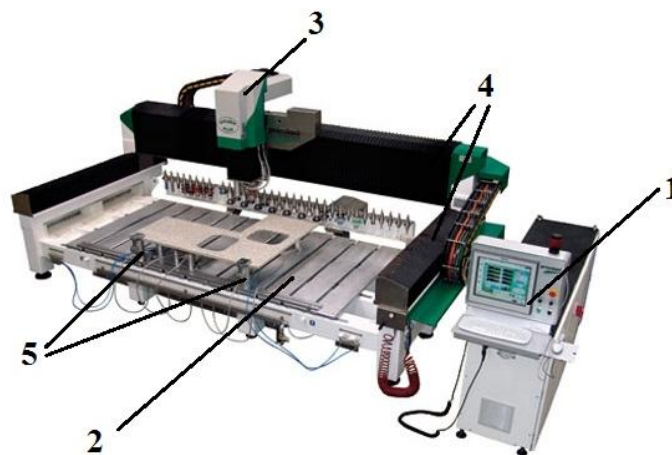
5.2. Megmunkáláshoz használt berendezés, valamint a mérés bemutatása

A kövek megmunkálását egy NC vezérlésű, olasz gyártmányú, Prussiani Golden Plus típusú, kifejezetten közetek fúrására 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 nagy munkatérre azért van szükség, mert a kőiparban gyakran kell nagyméretű tömböket megmunkálni. Az asztal anyaga rozsdamentes acélból készült. A nagy tömegek rögzítésére vákuumos-megfogókat vagy körmös-megfogókat szoktak használni.

A főorsó fordulatszáma a 0 és 10.000 *ford./min* fordulatszám értékek között változtatható. A mozgási sebességek maximális értékei X, valamint Y irányban 40 *m/min*, Z irányban pedig 10 *m/min*. 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 megmunkáló központ egyidejűleg maximum 34 szerszám befogására alkalmas. A vizsgálatokhoz használt megmunkáló gépen lineáris kialakítású szerszámtár van elhelyezve és a vezérlés a szerszámhely száma alapján azonosítja a behívni kívánt szerszámot.

Vizsgálataink során egy 100 mm átmérőjű, 22 szegmensből álló, gyémánt szemcsés síkmaró szerszámot használtunk. Az egyes szegmenseket forrasztással vagy hegesztéssel rögzítik a keményfém szárra (esetünkben forrasztással). A szegmensek mátrix anyagba ágyazott gyémánt szemcsékből álltak. Az 5.1. ábrán látható az általunk használt megmunkáló gép.



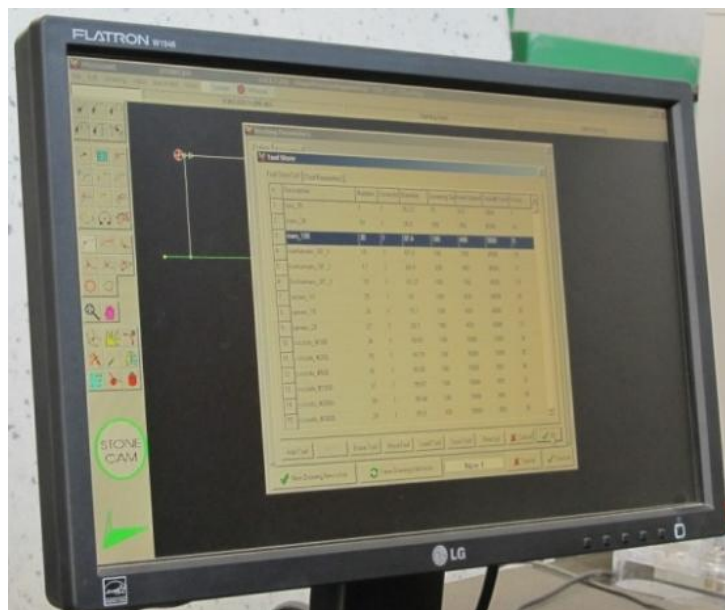
5.1. ábra Prussiani Golden Plus típusú megmunkáló központ részei

(1. vezérlőpanel, 2. munkaasztal, 3. főorsó, 4. szánrendszer, 5. rögzítő elemek)[19]

A felületek kialakítása közben hűtőfolyadékként csapvizet használtunk, ami tökéletesen funkcionált a hűtés és a leválasztott anyagmennyiség eltávolítása céljából. A hűtőfolyadék fűvókákon és a síkmaró alján kialakított nagyobb átmérőjű furaton

keresztül érkezett a felületre. A szerszámkészítők által javasolt optimális fordulatszám, a megmunkálásaink során használt szerszámnál 3900 mm/min volt.

Az NC vezérlésű szerszámgéphez illesztett CAM alapú CNC programtervező és szimulációs szoftver a StoneCAM volt, melyet elterjedten használnak a kőmegmunkálásoknál. A CAD/CAM programban grafikusan terveztük meg a szerszám pályáját, majd a 2D/3D grafikus szimulációk előtt megadtuk a forgácsolási paramétereket. A grafikus tervezés számítógépes környezetét az 5.2. ábrán láthatjuk.



5.2 ábra StoneCam program számítógépes környezete

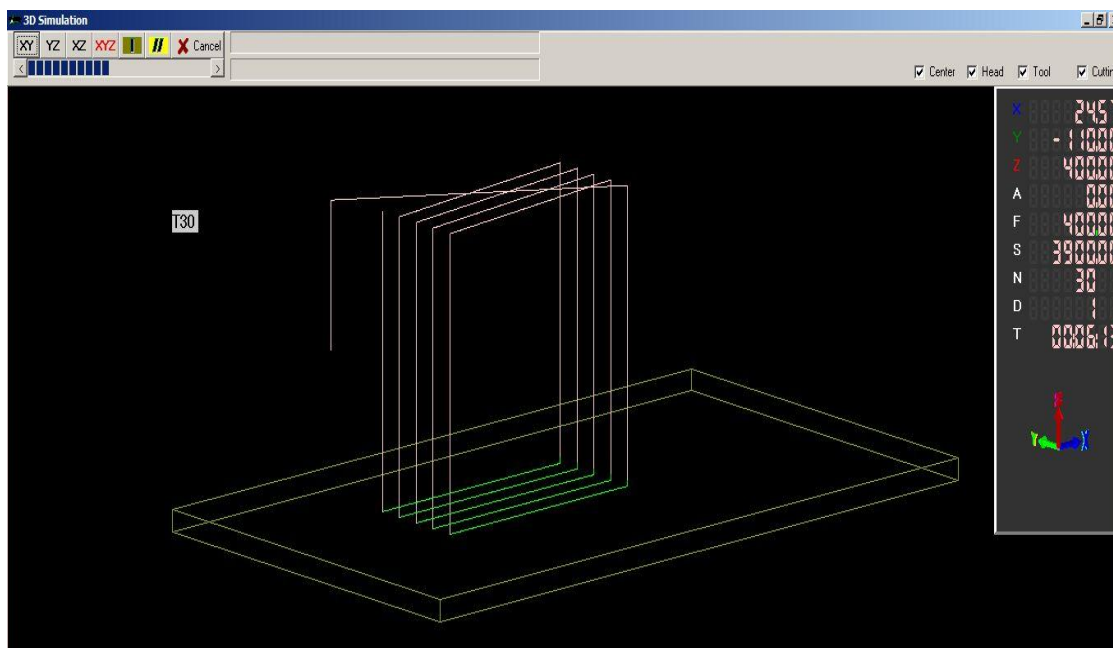
A szimulációk lefutása után a program automatikusan generálta szöveges formátumban a megmunkáláshoz használt programkódokat, melyekben a különböző interpolációk, valamint az alkalmazott paraméterek is megjelentek. A megmunkáló gép kezelői felülete leginkább a megmunkálási paraméterek ellenőrzésére szolgál, mintsem bonyolult megmunkálások programozására.



5.3 ábra StoneCam gépi kezelőfelület és panel

5.3. Megmunkálás menete

A megmunkálás megkezdése előtt a kiválasztott követ felhelyeztük az asztalra, melyen körmös megfogóval és alátámasztással fixáltuk. A munkadarab koordináta-rendszer nullpontja, egy az iparban általánosan használt bemérő fejjel lett felvéve. A programozott pont pályáját megrajzoltuk, és az egyes pályaszakaszokhoz hozzárendeltük az alkalmazott paramétereket. Ezt a számítógépen futtatható programban végeztük el. A szükséges 2D és 3D szimulációkat elvégezve a generált programot felhasználva, a névleges fordulatszám (3900 *ford./min*) beállítása után síkfelületet martunk az esetleges felületi egyenetlenségekből adódó veszélyek, hibák kiküszöbölése végett. Az 5.4. ábra a StoneCam program számítógépes környezetét mutatja szimuláció közben, az 5.5. ábra pedig az egyik általunk használt marási programot mutatja be.



5.4. ábra StoneCam megmunkálás szimuláció közben

A megmunkálásokhoz a Rosa Beta gránitot, Giallo Fardfalla brazil gránitot, kínai 684-es jelű gabbrot, valamint a Magyarországon bányászott forrásvízi mészkövet használtuk. Minden kő esetén a különböző vágási sebességek mellett ellenirányú marással (a rögzítéshez képest minden esetben jobbról balra haladó mozgással és óramutató járásával ellentétes forgásiránnyal) 5 különböző minőségű felületet készítettünk el. A vizsgálatok során a megmunkálási környezethez tartozó többi paraméter valamennyi kő esetén állandó volt.

```

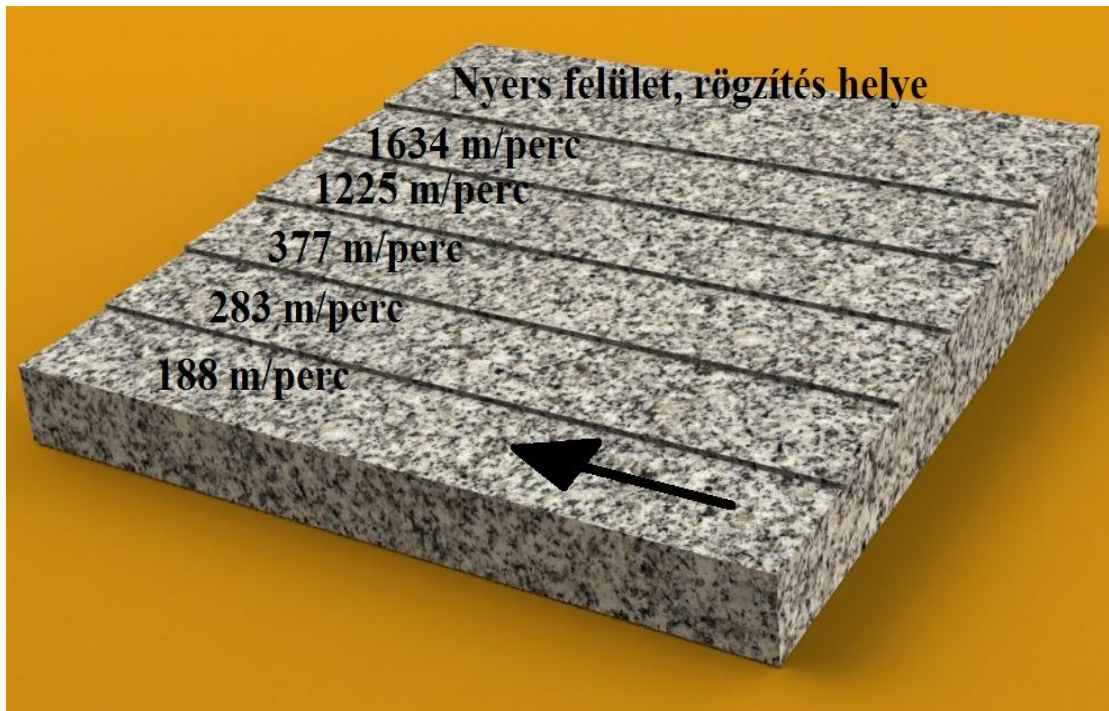
G90
#MCS G0Z0.0
G54 (work origin)
#MCS G0B0
(ADAPTED=FALSE)
(maro_100 UTENSILE CODICE 64547424060781)
T30D1
M6
G0X344.456Y-411.3
/S3900M03
/G4K2
G0Z5
M07
G1Z-1F100
X80F400
G2G6X18.7Y-350I80J-350
G1Y-170
G2G6X80Y-108.7I80J-170
G1X380
G2G6X441.3Y-170I380J-170
G1Y-350
G2G6X380Y-411.3I380J-350
G1X344.456
X380
G3X397.564Y-408.73R61.3
G1X62.436
G2G6X19.324Y-358.725I80J-350
G1X440.676
G3X441.3Y-350R61.3
G1Y-308.72
X18.7
Y-258.715
X441.3
Y-208.71
X18.7
Y-170
G2X19.75Y-158.705R61.3
G1X440.25
G0Z5
M09
M05
#MCS G0Z0.0
M30

```

5.5. ábra Az egyik általunk használt marási program felépítése

A lenagyolt felület után 1 mm-es fogásmélységgel 45 mm széles lépcsőket martunk ki, így egy olyan mintafelületet kaptunk, amely készen állt a mérési folyamatok utáni vizsgálatokra. Első lépésként a legnagyobb, 5200 *ford./min* fordulatszám értékkel a teljes felületet lemartuk, majd a következő névleges 3900 *ford./min* fordulatszám értékkel 45 mm-rel rövidebben (vagyis 1 lépcsővel kevesebbet) végeztük a marási műveletet 1 mm-rel mélyebben. Továbbiakban a korábban megkezdett módon 1200, 900 és 600 *ford./min* értékekkel folytattuk a megmunkálást. A fent leírt módon minden kő esetén 5-5 db különböző mintafelületet kaptunk. Az 5.6. ábrán látható a Rosa Beta kő megmunkálás utáni alakja.

A marás során mértük a fordulatszámhoz tartozó gép által felvett áramot, valamint minden kő esetén egységesen 440 mm/min előtolást alkalmaztunk. Ezek az értékek közvetlenül leolvashatóak voltak a vezérlésről.



5.6. ábra A megmunkálások esetén alkalmazott paraméterek és a megmunkálásiránya (a képen a Rosa Beta márvány látható)

5.4. A fordulatszám és vágási sebesség átszámításának módja

A fordulatszám értékeket átszámoltuk vágási- sebesség értékekre, ezáltal megkaphatjuk, hogy az egyes szegmensek milyen sebességgel mozognak. Ez az átszámítás azért szükséges, mert a megkapott vágási sebességgel bármilyen geometriájú szerszámmal reprodukálható a marási folyamat. Az átszámítás a következőképpen történt:

$$v = \frac{d \times \pi \times n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right]$$

, ahol: d – alkalmazott síkmaró átmérője [mm]

n – fordulatszám $\left[\frac{ford.}{min} \right]$

A megmunkálás során célunk volt, hogy létrehozzuk azokat a síkokat, amelyeken a későbbiekben a vizsgálatokat fogjuk elvégezni. Mindenekelőtt meghatároztuk a megfelelő paramétereket és ezeket beállítottuk úgy, hogy a későbbi vizsgálatok során a felületek közötti különbségek egyértelműen észrevehetőek és vizsgálhatóak legyenek.

5.5. Kőanyagok felületi érdességének mérése

Fémekhez gyakran alkalmazzák a mobil felületi érdességmérőt gyors ellenőrzés céljából. Egyszerűen kezelhető és pontos eredmény kijelzésére képes. Ez a berendezés számunkra is rendelkezésre állt, ezért ezzel ellenőriztük a megmunkált felületek minőségét.

A vizsgálatot a Gyártástudomány és- Technológia tanszéken végeztük el. A berendezés egy Taylor – Hobson Surtronic 10 típusú, digitális kijelzős műszer volt, amely 0,1 μm pontossággal képes kijelezni az értékeket. A tapintást a felületen 2 mm-es úton gyémánttű végzi. A maximálisan mérhető felületi érdesség értéke 24 mikrométer. A berendezés kalibrálásához etalon felületet használtunk. A vizsgálat végrehajtása során a tapintócsúcs védelmére szolgáló csúszó lemezt elhúztuk, majd a mérni kívánt felületre helyeztük, merőlegesen a megmunkálás irányára. Ez azért volt fontos, mert ellenkező esetben előfordulhatott volna, hogy ún. barázdában mérünk, ami hibás értéket adott volna. Ezek figyelembevételét követően, a készülék tetején lévő működtető gombot megnyomtuk. Vigyáztunk, hogy az egyik kezünkkel fixen tartsuk a mérőt, hiszen ellenkező esetben mérési hibákat vittünk volna be a mért értékekbe. A mobil felületi érdességmérő berendezés az 5.7. ábrán látható.

A mérés során, az egyes felületeinken 5 különböző helyen végeztünk méréseket, minden esetben azokon a pontokon, amelyek nem estek bele a szerszám ki- és belépési zónáiba (a kövek szélétől mért 50 mm-es zóna). Az egyes mérési pontokban három-három mérést végeztünk melyek eredményeit átlagoltuk.

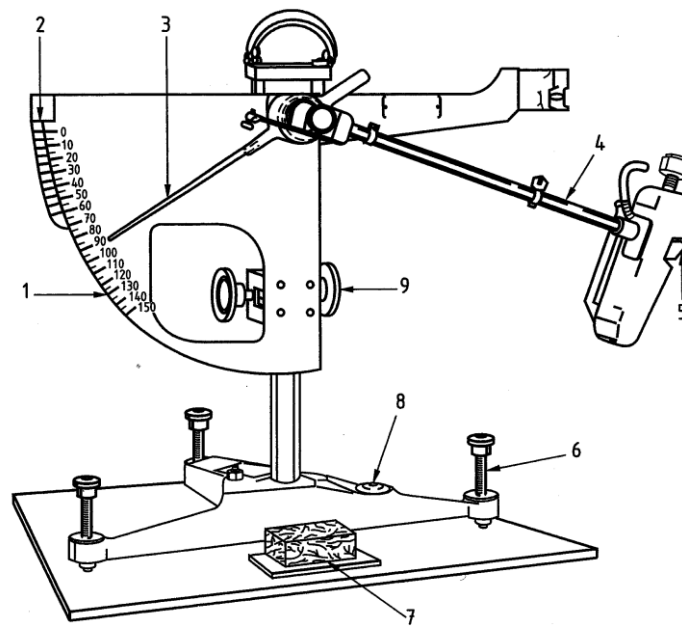


5.7. ábra Felületi érdességmérő

5.6. Csúszási ellenállás vizsgálat

A csúszási ellenállás vizsgálatot gyakran alkalmazzák például különböző járólapok felhasználása előtt. Fontos megállapítani, hogy a felület mennyire bizonyul megbízhatónak csúszás szempontjából.

Az elkészített felületeket az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában tudtuk kiértékelni csúszási ellenállás szempontjából. A vizsgálat elvégzése során egy K18 SRV ingát használtunk. Ennek a berendezésnek a felépítését és a részeit az 5.8. ábra mutatja be. A vizsgálatot és a berendezést az MSZ EN 14231:2003 számú európai szabvány rögzíti.



5.8. ábra K18 SRV inga felépítése

(1. mérőskála, 2. kiegészítő skála, 3. mutató, 4. ingakar, 5. gumi test, 6. szabályozó csavar, 7. próbatest, 8. vízszintes mérő, 9. állítócsavar)

A vizsgálat során az 1 hosszúságú ingakar végére felrögzített, szabványos gumitestet, az előre benedvesített síkfelületen (jelen esetben vizsgálandó közeten) átlendítettünk úgy, hogy az egy adott hosszúságú felületen végig csússzon. Fontos, hogy a vizsgálóberendezés vízszintes helyzetű legyen. A vízszintbe állítást az 5.8. ábrán bemutatott eszköz 6. számú szabályozó csavarjaival lehet elvégezni. Nyugalmi helyzetben a mutatót az ingához pozícionáltuk a jobb felső vízszintes helyzetbe. Az ingát nyomógomb megnyomásával tudtuk elindítani, ami a nyugalmi pozícióból indulva átlendült a mutatóval együtt a baloldalra. Az előre benedvesített felületen átcúszott és túllendült. A mutató a bal oldali legfelső pozícióban maradt, ahol a skála értéket le is tudtuk olvasni (SRV érték). A megmunkált felületet csúszásbiztonsági szempontból a leolvasott SRV értékkel szokták jellemezni. Minél nagyobb ez az érték, annál biztonságosabb a felületet alkalmazni például járólapokként. A besorolást az 5.1. táblázat tartalmazza.

Minden egyes lendítés előtt benedvesítettük a felületet. Három próbarendítést, majd összesen öt lendítést végeztünk el és az értékeket rögzítettük.

SRV érték	Súrlódási együttható (μ)	Megnevezés
>65	>70	nagyon biztonságos
40-65	0,51-0,70	biztonságos
20-40	0,34-0,50	bizonytalan
10-20	0,18-0,33	csúszós
0-10	<0,18	nagyon csúszós

5.1. táblázat Felületek SRV érték szerinti besorolása

A vizsgálat elvégzésére a szabvány két lehetőséget biztosít. Az egyik esetben egy nagyobb méretű gumitestet csúsztatunk át hosszabb érintkezési felületen, míg a másik esetben egy kisebb gumit, kisebb érintkezési felületen. A két lehetőség közül a méréseink alkalmával az utóbbit használtuk.

A szabványban rögzített peremfeltételek a következők voltak:

- Mérőszoba hőmérséklete $20 \pm 5^\circ\text{C}$
- A mérni kívánt felületet minden lendítés előtt desztillált vagy ionizált vízzel nedvesítünk be
- Az előírt felület mérete 86 mm hosszú és 45 mm széles kell, hogy legyen, ezen 76 mm-es hosszúságon csúszik végig a gumitest
- A gumi mérete 31,8 mm
- 20°C -on 53 és 65 IRHD (gumikeménység) értékű, rugalmassága, 66 és 73 % közötti

5.7. Mikroszkópos vizsgálat bemutatása

A felületek mikroszkópos vizsgálatát a Gyártástudomány és -Technológia tanszéken végeztük el, egy Dino-lite típusú nagy felbontóképességű digitális mikroszkóppal. Az általunk használt eszköz maximálisan 100-szoros nagyításra volt képes. A vizsgálat során a gyártó által rendelkezésre bocsátott, ingyenesen letölthető DinoliteCapture 2.0 programot használtuk, melynek segítségével fényképeket és videókat, valamint a kalibrálási műveletet is el lehetett végezni. Az aktuális képre vonalakat, burkoló elemeket, megjegyzéseket, méreteket lehetett feltüntetni, ami a közetalkotó szemcsék tulajdonságainak bemutatására szolgáltak. A mikroszkóp

közvetlen csatlakoztatással számítógépre köthető. Az 5.9. ábrán látható a mikroszkóp.[2]



5.9. ábra Általunk használt mikroszkóp

(1. csatlakozó kábel, 2. mikro-érzékelő, 3. nagyítást szabályozó)

Az eszköz oldalán található szabályzóval beállítható a nagyítás mértéke, ami esetünkben 20 és 100-szoros nagyítás közötti lehetett. A megfelelő beállítás után kalibráltuk az eszközt. Erre a célra szolgált az etalon hasáb. Ennek elvégzése céljából a programban egy külön ikon volt elhelyezve.

A vizsgálat elvégzésének módja

A vizsgálandó kő elhelyezése után a rendelkezésünkre álló állványba behelyeztük a mikroszkópot. A program kezelőfelületén láthattuk a mikroszkóp által rögzített képet. Ezt követően beállítottuk a mikroszkópot a megfelelő szögbe, és rögzítettük a kívánt pozícióban. A legjobb képek elkészítése céljából erősen döntött pozícióban fixáltuk az eszközt, ezáltal a kőzetalkotó szemcsék és mikrotörések könnyebben vizsgálhatóak voltak. A mikroszkópon található csúszkával beállítottuk a megfelelő nagyítást a tiszta kép érdekében. A programban kiválasztottuk a kalibrálás funkciót. A vizsgált felületre helyeztük az etalon hasábot és a párbeszédablakban megadtuk a mikroszkópon beállított nagyítási értéket. Két párhuzamos egyenessel

megérintettük az éleket, és végül megadtuk a köztük lévő távolságot (1 mm). Ezt követően a program kiírta a tényleges nagyítási értéket.

A vizsgálat során a be- és kilépő éleken, a felületi érdekességek mérésének helyén és mindezek környezetében is képeket készítettünk.

Az elkészített képeket mappákba rendezve strukturált formában tároltuk és kezeltük a könnyebb utólagos keresés céljából. Az 5.10. ábra azt mutatja be, hogyan épül fel az általunk használt program kezelőfelülete.[21]

A vizsgálat során azonosítottuk az egyes közetalkotókat, tanulmányoztuk az egyes szemcsék eloszlását, és azok mikrotörési tulajdonságait. Az 5.11. ábrán az általunk használt mikroszkóppal készített kép látható a Rosa Beta nevű köről, 30-szoros nagyításban.



5.10. ábra DinoCapture2.0 program

(1. méretezés, megjelölő eszközök, 2. kalibrálás funkció, 3. aktuális mikroszkópi kép helye, 4. előzőleg fényképezett képek, mappa rendszer, beállítások)



5.11. ábra Rosa Beta 30-szoros nagyításban

Az előzőekben leírt kövek megmunkálása-, és laboratóriumi vizsgálataink során megkapott adatokat előzetesen szabványosított adatlapokon rögzítettük, majd minden adatot számítógépbe vittünk be. Az általunk rögzítésre kerülő adatokat Microsoft Excel programban tároltuk és értékeltünk ki, amelyről részletesen a következő fejezetekben olvashatunk. Nagy segítségünkre volt a mikroszkópos mérések során a DinoliteCapture 2.0 program, amivel közvetlenül tudtuk feltölteni az elkészített fényképeket az általunk megadott mappákba.

6. A vizsgált kövek bemutatása

Kísérleteinkhez három, különböző átlagos szemcsenagyságú gránitot és viszonyításként egy mészkövet választottunk. Az irodalomkutatási fejezetben bemutatott kutatások eredményei igazolták, hogy a szemcsenagyság jelentősen befolyásolja a megmunkálási paramétereket, azokon keresztül pedig a kialakítható felületi érdességet. A választott kövek kereskedelmi anyagok, vizsgálatukat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke végezte.

6.1. Rosa Beta

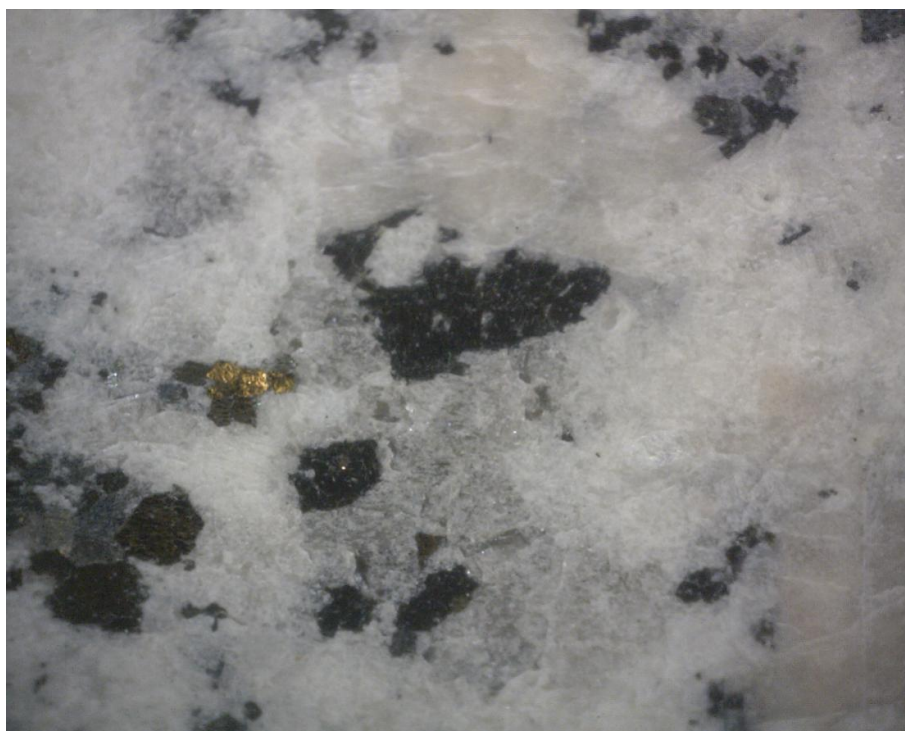
A Rosa Beta olaszországból származó, kereskedelmi forgalomban kapható gránit. Világosszürke színű, kissé rózsaszínes árnyalatú tömött szerkezetű mélységi magmás kőzet. Kőzetszöveve irányítatlan kristályos szemcsés. Fő kőzetalkotó a kvarc, mely a kőzetszövetben csomósan helyezkedik el és a káliföldpát. 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 Rosa Beta gránit porozitása szemcseközi jellegű. A Rosa Beta a vizsgálatainkban a közepes szemcsenagyságú gránitok képviselője.

A laboratóriumi vizsgálat során elvégezték a Rosa Beta légszáraz és vízzel telített testsűrűség vizsgálatát, valamint meghatározták hajlítószilárdságát (légszáraz és fagyasztott állapotban), illetve Böhme rendszerrel mérhető kopását. Vizsgálták továbbá a kereskedelmi termék csúszásbiztonságát is. A kőzetvizsgálati jegyzőkönyvben feljegyzett eredményeket a 6.1. táblázat tartalmazza. [21]

Testsűrűség légszáraz közetfizikai állapotban:	2647 kg/m ³
Testsűrűség vízzel telített közetfizikai állapotban:	2654 kg/m ³
Hajlítószilárdság légszáraz közetfizikai állapotban:	19,89 MPa
Hajlítószilárdság fagyasztás utáni közetfizikai állapotban:	17,02 MPa
Böhme-féle kopási veszteség száraz vizsgálattal:	6,02 cm ³ /50cm ³
Böhme-féle kopási veszteség vizes vizsgálattal:	8,28 cm ³ /50cm ³
Csúszási ellenállás USRV értéke polírozatlan lapon:	94
Csúszási ellenállás USRV értéke lángolt felületen:	96

6.1.táblázat A Rosa Beta gránit közetfizikai vizsgálatának eredményei

A Rosa Beta gránitról 30-szoros nagyításban készült mikroszkópos felvétel látható a 6.1. ábrán. A képen megfigyelhetők az egyes kőzetalkotók, és lokális eloszlásuk.



6.1. ábra 30-szoros nagyításban készült kép a Rosa Beta gránitról

A mikroszkópos felvételen (6. 1. ábra) megfigyelhetők az egyes, imént felsorolt kőzetalkotók és a jellemző elrendeződésük. A csomókba rendeződött kvarcok mellett hintetten fordulnak elő a fényes biotit szemcsék. A rózsaszínes színt adó káliföldpátok szintén jól láthatók a képen.

6.2. Giallo Farfalla, brazil gránit

A Giallo Farfalla 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 kőzet szövetében további színes kőzetalkotók fordulnak elő. A kőzet porozitása szemcseközi, 5 térfogatszázaléknál kisebb értékű. A Giallo Farfalla a kísérleteinkben a nagyobb szemcsés gránitokat képviseli.

A Giallo Farfalla gránit kőzetfizikai vizsgálati eredményeit a 6.2. táblázat foglalja össze, szerkezetét pedig a 6.2. ábra szemlélteti. [22]

Testsűrűség légszáraz kőzetfizikai állapotban:	2695 kg/m ³
Testsűrűség vízzel telített kőzetfizikai állapotban:	2701 kg/m ³
Hajlítószilárdság légszáraz kőzetfizikai állapotban:	19,17 MPa
Hajlítószilárdság fagyasztás utáni kőzetfizikai állapotban:	10,97 MPa
Böhme-féle kopási veszteség száraz vizsgálattal:	4,95 cm ³ /50cm ³
Böhme-féle kopási veszteség vizes vizsgálattal:	6,33 cm ³ /50cm ³

6.2. táblázat A Giallo Farfalla gránit kőzetfizikai tulajdonságai



6.2. ábra 30-szoros nagyításban készült mikroszkópos felvétel a Giallo Farfalla gránit felületéről

A Giallo Farfalla mikroszkópos képén egyértelműen durvább felület látható, mint a többi vizsgált gránitról készült felvételen. Az égetett gránittábla felülete inhomogén, a szemcsenagyság látványosan nagyobb, mint a Rosa Beta esetén. A nagyméretű csomókban elhelyezkedő kvarcok mellett a szintén nagy szemnagysággal rendelkező ortoklászok láthatók.

6.3. G684 gránit, gabbro

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 kifejeződésű 1-3 mm szemnagyságú alkotó ásvány. Előfordul benne továbbá olivén és klorit, melyek színes kőzetalkotók, méretük milliméter alatti nagyságú. A kőzet porozitása jellegét tekintve szemcseközi, mértéke nem haladja meg a 2 térfogatszázalékot.

A G684-es gabbrot a kis átlagos szemcsenagysággal rendelkező gránitok képviselőjeként választottuk ki a kísérleteinkhez. [23]

Testsűrűség légszáraz közetfizikai állapotban:	2946 kg/m ³
Testsűrűség vízzel telített közetfizikai állapotban:	2949 kg/m ³
Hajlítószilárdság légszáraz közetfizikai állapotban:	34,31 MPa
Hajlítószilárdság fagyasztás utáni közetfizikai állapotban:	37,81 MPa
Böhme-féle kopási veszteség száraz vizsgálattal:	3,66 cm ³ /50cm ³
Böhme-féle kopási veszteség vizes vizsgálattal:	4,28 cm ³ /50cm ³
Csúszási ellenállás hosszirányban (SRT):	83
Csúszási ellenállás keresztirányban (SRT):	81

6.3. táblázat A G684 gabbro közetfizikai vizsgálatának eredményei

A 6.3. táblázat adatai szerint a testsűrűség értékét a vizes és száraz állapot szinte nem is befolyásolja, ennek oka a gabbro tömött szerkezetére jellemző csekély porozitás, illetve a kis szemcsenagyság. Hajlítószilárdsága jelentősen nagyobb a másik két vizsgált gránit esetén mért értékeknél, ennek oka szintén a szerkezeti adottságokra vezethető vissza. A gabbro jelentősen homogénebb szerkezettel jelentkezik, mint a másik két bemutatott gránit, ez jól látszik a 6.3. ábrán is.



6.3. ábra A G684 Gabbro 30-szoros nagyításban készült mikroszkópos felvétele

6.4. Süttöi forrásvízi mészkő

A Süttöi forrásvízi mészkő magyarországi származású barnászsűrke színű, sárgás árnyalatú oldatból kivált, vegyi üledékes kőzet (6.4. ábra). Karbonátos szövetű, szerkezetében, mely a képződés szerinti irányítottságot mutatja, a világosbarna, szürkés árnyalatú és barna részek foltosan helyezkednek el. A kőzetszövetben 1-2 mm-es nagyságú kalcitszemcsék is előfordulnak. A kőzettípusra jellemző porozitású, mely meghaladja az 5 térfogatszázalékot.

A Süttöi forrásvízi mészkő mintakövén is ugyanazokat a vizsgálatokat végezték el, mint a Rosa Beta esetében. Az eredményeket a 6.4. táblázat tartalmazza. [24]

Testsűrűség légszáraz kőzetfizikai állapotban:	2448 kg/m ³
Testsűrűség vízzel telített kőzetfizikai állapotban:	2495 kg/m ³
Hajlítószilárdság légszáraz kőzetfizikai állapotban:	13,29 MPa
Hajlítószilárdság fagyasztás utáni kőzetfizikai állapotban:	10,72 MPa
Böhme-féle kopási veszteség száraz vizsgálattal:	12,21 cm ³ /50cm ³
Böhme-féle kopási veszteség vizes vizsgálattal:	20,53 cm ³ /50cm ³
Csúszási ellenállás USRV értéke polírozatlan lapon:	94
Csúszási ellenállás USRV értéke lángolt felületen:	43

6.4. ábra A Süttöi forrásvízi mészkő kőzetfizikai vizsgálatának eredményei

Kutatásaink során egyértelműen a gránitok megmunkálására koncentráltunk, de összehasonlítási alapként a kiválasztott forrásvízi mészkő is megmunkálásra került. Ez a kőzet testsűrűségi tulajdonságaiban, illetve hajlítószilárdságát tekintve viszonylag közel áll a vizsgált gránitokhoz. Azonban kopása jelentősen meghaladja a gránitoknál tapasztalhatót. A kopási értékekben tapasztalható eltéréseket a kőzetek eltérő szövetszerkezetéből származtathatjuk.



6.4. ábra A Süttői forrásvízi mészkő 30-szoros nagyítású mikroszkópos képe

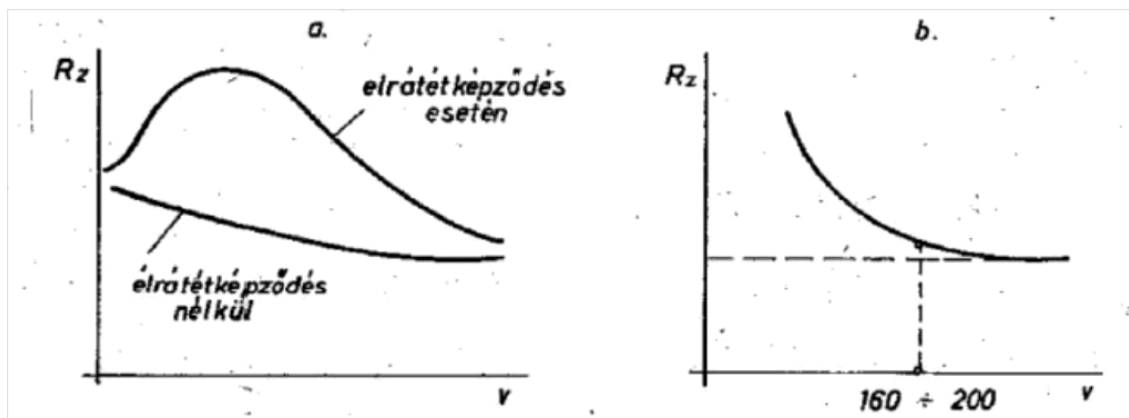
7. Értékelés

A bemutatott megmunkálások elvégzése után az ismertetett mérőberendezések segítségével adatokat gyűjtöttünk a megmunkált felületekről. Minden megmunkált felületsávon érdességmérést, csúszási ellenállás-mérést hajtottunk végre, valamint 30-szoros nagyításban mikroszkópos felvételeket készítettünk. Az ismertetett irodalmakban megfogalmazott feltevések és szabályszerűségek figyelembevételével végeztük el a mérési eredmények kiértékelését.

7.1. Érdességmérés

Az érdességmérés során figyelembe vettük a korábbi kutatások eredményeit, melyek szerint a felületi érdességnek a kilépő és a belépő él közelében magasabbra kellene adódnia, mint a megmunkálás egyéb szakaszaiban. Az élek közvetlen környezetében nem hajtottunk végre méréseket, az első mérési pontot ott vettük fel, ahol a szerszám már a teljes fogásszélességet elérte. Az élek közelében a szerszámra ható erők kiegyenlítetlenek, ezért mindaddig, amíg a szerszám nem éri el a megmunkálás további szakaszaiban jellemző fogásszélességet, a mart felület felszíne egyenetlenebb, gyakoribbak a szemcsekitöredezések.

A felületi érdesség értékét nem csak a megmunkálási sávban való elhelyezkedése, a megmunkálás során alkalmazott fordulatszám is befolyásolja. A fémek esetében megfigyelhető jelenséget a 7.1. ábra szemlélteti. A szerszámon történő élrátétképződést a kőmegmunkáló gyémántos szerszámok esetében nem vizsgálták eddigi tanulmányokban, ezért a fémek esetében is az élrátétképződés nélküli esetet érdemes megfigyelni az összehasonlításhoz. A jelenséget a kőmegmunkálási folyamatok során is meg lehet figyelni, bár a kövek megmunkálása terén nem állnak rendelkezésünkre hasonló ábrák, illetve megfigyelési eredmények. A gyakorlati tapasztalatokon alapuló javaslat szerint, gránitok esetében a 3900-as fordulatszámmal (1225 m/perc-es vágósebességgel) történő megmunkálás esetén a felületi érdesség alacsonyabb értékeket mutat, mint az ettől eltérő fordulatszámok (vágósebességek) esetén. Ezt a jelenséget igazoltuk a vizsgált gránitok esetén a mobil érdességmérővel végzett méréseinkkel.



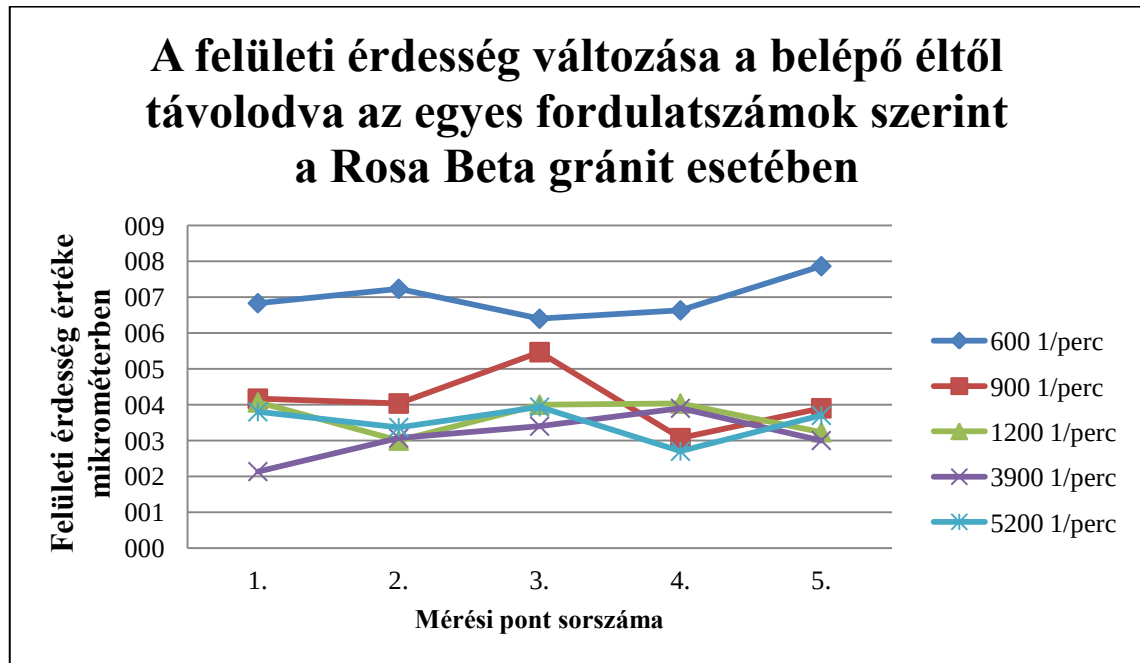
7.1. ábra A felületi érdesség alakulása fémek esetén a forgácsolási sebesség függvényében (forrás: Bali [25], 196. oldal, 122. ábra)

A megmunkált felületek érdességmérése nem csupán a felületi minőség megállapítására alkalmas, segítségünkre volt abban is, hogy megállapíthassuk, a vizsgált kölap mely pontjain fordulnak elő a felületi minőséget befolyásoló anyaghibák. Az érdességmérést minden kölapon, valamennyi mintafelületen elvégeztük. Az alábbiakban bemutatásra kerülnek az egyes kölap-felületek a mért érdességértékeik alapján.

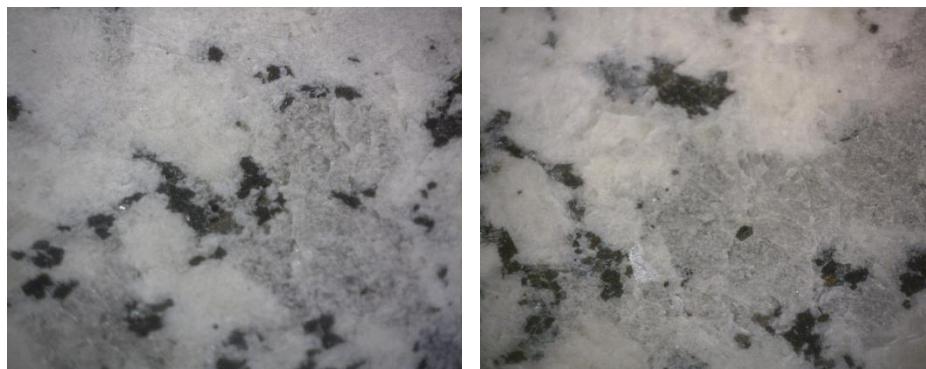
Rosa Beta

A 7.2-es ábrán láthatók a Rosa Beta esetében azok a görbék, melyek a felületi érdességet megmunkálási sávonként ábrázolják a belépő éltől távolodva a kilépő él környezetéig öt, egyenlő távolságban lévő mérési pontban. A görbék a feltételezést nem igazolják, mely szerint az érdességnek a belépő és a kilépő él környezetében nagyobbnak kell lennie, mint a középső megmunkálási szakaszban, ez a tendencia csak részben figyelhető meg a 600-as, a 900-as és az 5200-as fordulatszámokon. Az 1200-as és a 3900-as fordulatszámmal megmunkált sávban tapasztalható kiugró értékeket, melyek a görbe formájának jelentős eltérését okozzák, a felületen tapasztalható, a megmunkálás során keletkező hibákból eredhetnek. Ilyen felületi hibákra mutat példát a 7.3. ábra, melyen a mindkét sávon megfigyelhető heterogén szerkezet sérülése látható. A 7.2. ábrán látható diagramon jól látható továbbá az egyes fordulatszámokkal megmunkált sávok átlagos felületi érdessége közötti eltérés is. A legmagasabbra ez az érték a 600 1/perc-es fordulatszámánál adódik (6,99 mikrométer), ez esetben a fordulatszám

növelésével a mért felületi érdesség csökkenését állapíthatjuk meg. Az átlagos felületi érdességek és a fordulatszámok viszonyát a 7.4. ábra mutatja be.



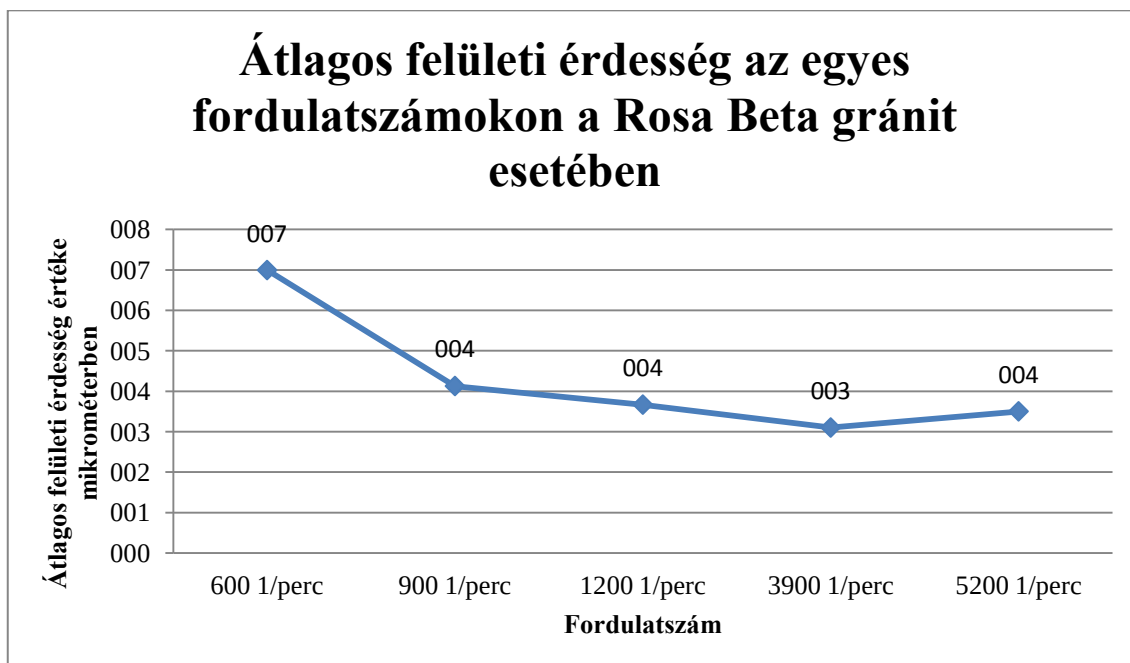
7.2. ábra A felületi érdesség alakulása a Rosa Beta gránit esetén



7.3. ábra A Rosa Beta gránit felületi hibája, kitöredezett szemcsék az 1200-as és a 3900-as fordulatszámmal megmunkált sávok 4. mérési pontján

Az átlagos felületi érdességek a fordulatszám függvényében (7.4. ábra) igazolják a feltételezést: az átlagos érdesség a 3900 1/perc-es fordulatszámon a legalacsonyabb (3,10 mikrométer). Az ennél alacsonyabb fordulatszámokon a 3900-as érték felé közeledve folyamatos csökkenést tapasztalhatunk, míg a javasolt technológiai paraméterértéknél nagyobb fordulatszámot választva az érdesség értéke növekedni

kezd. A fémeknél tapasztalható tendencia tehát a Rosa Beta gránit esetében is megfigyelhető.



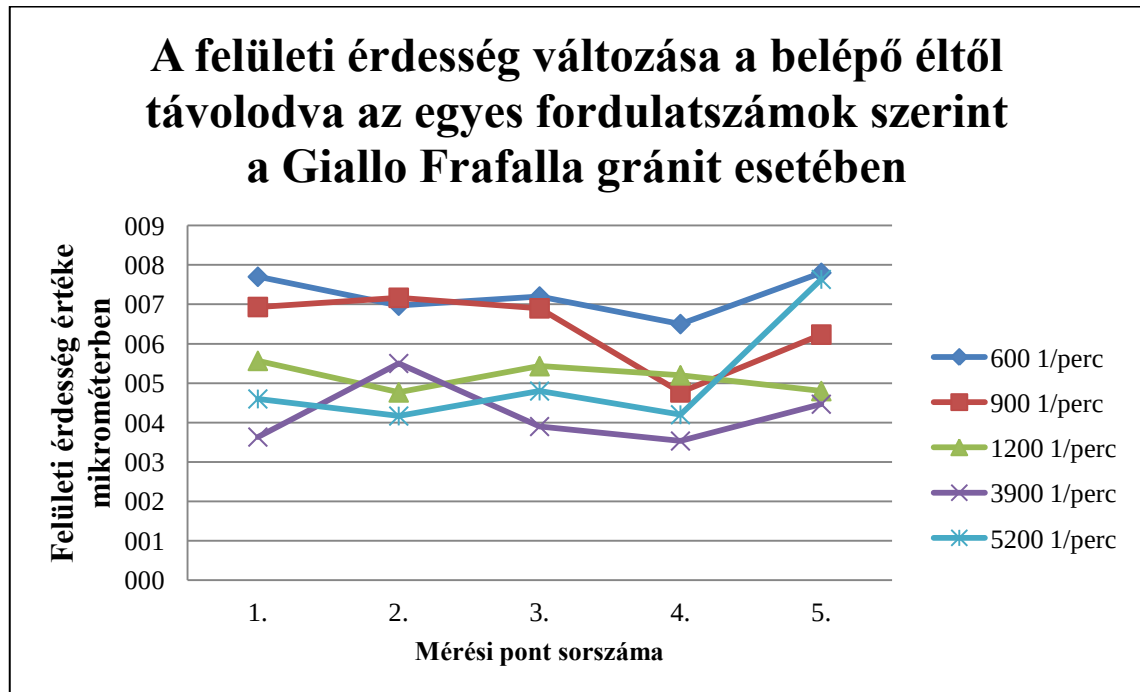
7.4. ábra Az átlagos felületi érdesség alakulása a fordulatszámok függvényében a Rosa Beta gránit esetén

Giallo Farfalla

A Giallo Farfalla nagyobb szemcseméretű, nagyobb kvarc és földpátkristályokat tartalmazó gránit, mint a Rosa Beta. A Giallo Farfalla felületén végzett érdességmérés eredményeit a 7.5. ábra mutatja be. Az egyes fordulatszámokon itt sem rajzolódik ki pontosan a feltételezés, miszerint a megmunkálás középső szakaszában a legjobb a felületi minőség, viszont egyértelműen látható, hogy a kilépési környezetben az érdességértékek ugrást mutatnak. Kivételt képez a megállapítás alól az 1200-as fordulatszámmal megmunkált sáv, ahol a mért érdességek a legkisebb ingadozást mutatják.

A Giallo Farfalla gránit felületén mért érdességértékek alig magasabbak a Rosa Beta esetén mért értékeknél, miközben a szemcsenagysága a vizsgálati jegyzőkönyv szerint lényegesen nagyobb, mint a másik vizsgált gránitnak. Ebből is látszik, hogy a megmunkálás során közel azonos minőségű felületeket lehet létrehozni az egyes gránitfajták esetében. Tehát a marás alkalmas a felület csiszolással való

megmunkálásának előkészítésére, ugyanis a nagyobb egyenetlenségeket képes eltávolítani.



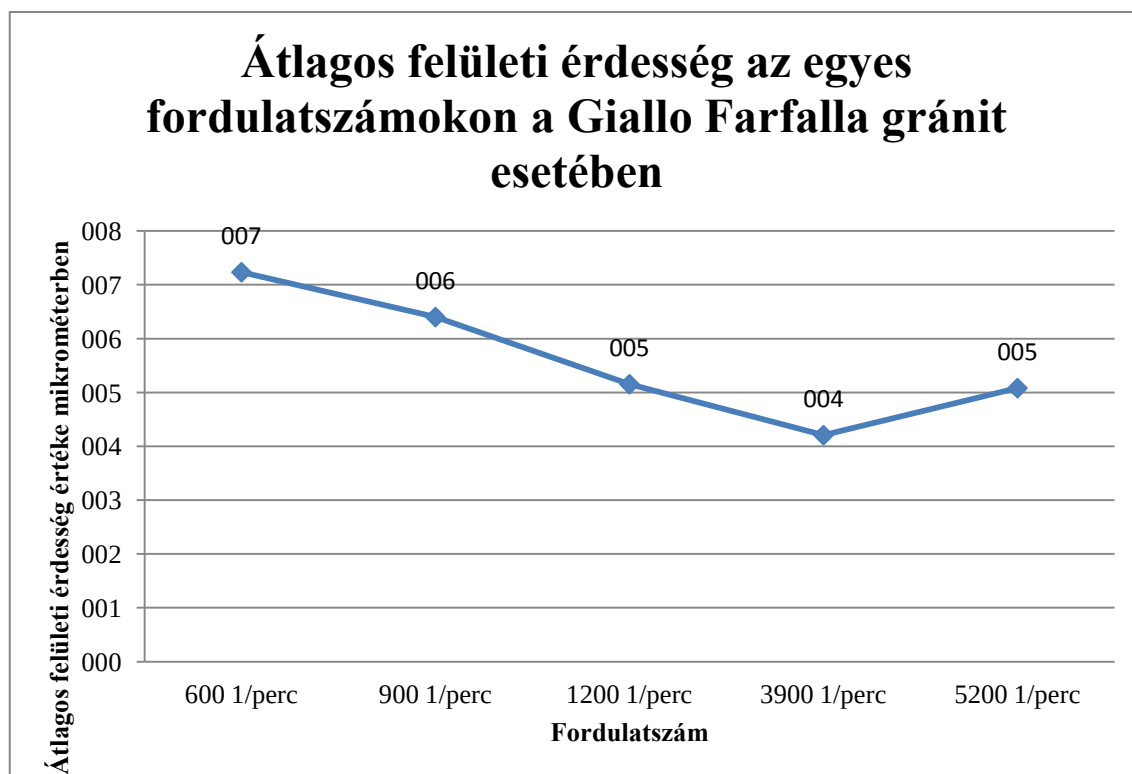
7.5. Érdességmérési görbék a Giallo Farfalla gránit esetében

A kilépő élhez közeledve tapasztalható ugrások a kisebb fordulatszámon tapasztalható szemcsekitépődéseknek köszönhetőek. Nagyobb fordulaton, mint az 5200-as fordulatszámon a szemcsekitöredezés jellemzőbb, így ezen a megmunkálási sávon ez a jelenség okozhatta a kiugró értékeket. A 7.6. ábra az 5200-as fordulatszámmal megmunkált sávbán a kilépő él, illetve az ötödik érdességmérési pont közelében tapasztalható felületi hibákat mutat 30-szoros nagyításban.



7.6. ábra A Giallo Farfalla gránit felszínén tapasztalható felületi hibák az 5. mérési pont környezetében

A 7.7. ábrán látható az átlagos felületi érdesség változása a fordulatszám függvényében. Az diagramon jól látható, hogy a Giallo Farfalla esetén is tapasztalható a Rosa Beta és a fémek megmunkálása során is kirajzolódó tendencia. A 3900-as fordulatszámmal történő megmunkálás eredményezte a legalacsonyabb átlagos felületi érdességet.



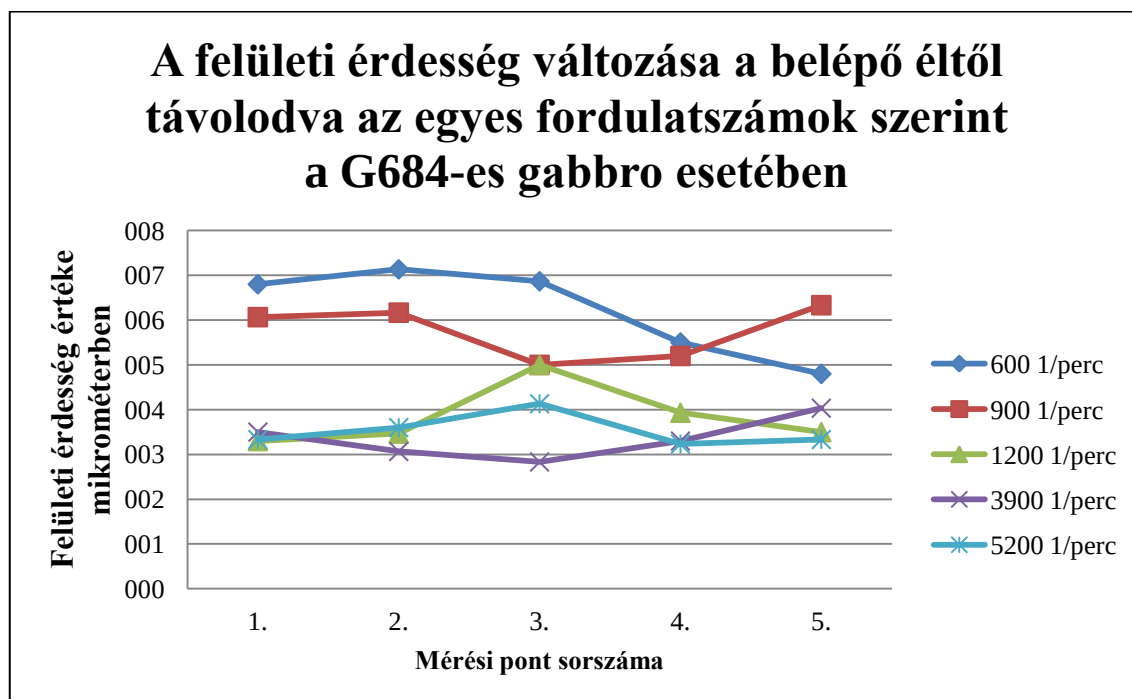
7.7. ábra Az átlagos felületi érdesség változása a fordulatszám függvényében a Giallo Farfalla gránit esetében

Összehasonlítva a Giallo Farfalla grániton végzett mérések eredményeit a Rosa Beta felületi minőségével, megállapítható, hogy az utóbbi gránit felületén, az egyes fordulatszámokon alacsonyabb átlagos érdességértékeket mértünk, mint a Giallo Farfalla-n. Ennek az oka a szemcsék méretének eltérése, az alkotó ásványok csomóinak nagyobb mérete.

G684-es gabbro

A G684-es gabbro, egy egyértelműen aprószemcsés, kvarcot nem tartalmazó gránittípus. Ennek az anyagnak a megmunkált felületein is hasonló méréseket

végeztünk, mint a Rosa Beta és a Giallo Farfalla esetén. Az érdességmérés eredményeit a 7.8. ábrán látható diagram szemlélteti.



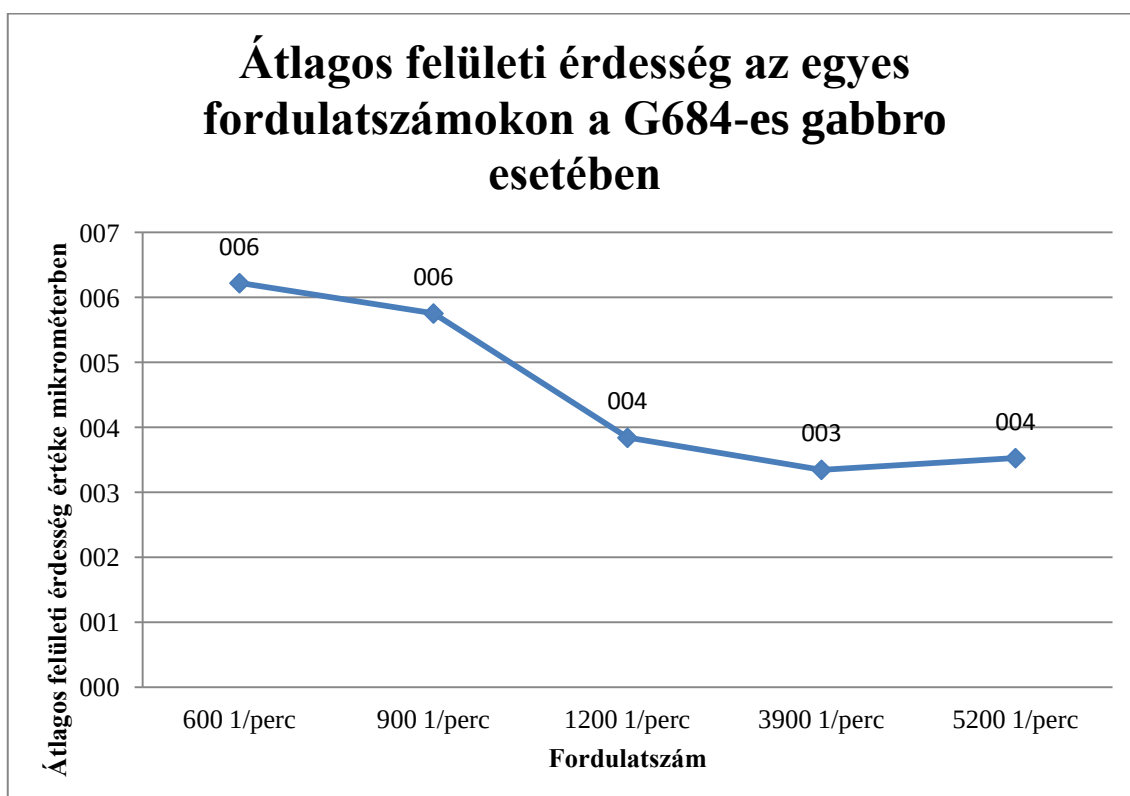
7.8. ábra Felületi érdesség eloszlása az egyes mérési pontoknál a G684-es gabbro esetében

A tapasztalatokon alapuló javaslat szerinti 3900 1/perc-es fordulatszámmal történő megmunkálási sávban mért értékek a feltevéseknek megfelelő görbén helyezkednek el. A belépő éltől távolodva az átlagos érdesség csökken, a kilépő él fele közeledve a középső szakasztól a felületi érdesség romlani kezd. A többi fordulatszámon megmunkált felületen végzett mérések nem igazolják ezt a feltételezést. Az érdesség ingadozása a gabbro esetében sem adódott kisebbre, mint a másik két gránit vizsgálatánál. Kiugró értékeket tapasztalhatunk az 1200-as, illetve az 5200-as fordulatszámmal megmunkált sávok 3. mérési pontjában. A gabbro felületét mutatja a 7.9. ábra a feltételezett anyaghibák helyén. Az 1200 1/perce-es fordulatszámmal megmunkált felületen láthatóak a szerszám nyomai, melyek befolyásolhatják a mért érdességértékeket, ám az 5200-as fordulatszámmal megmunkált felületen nem tapasztalható a jelenség, így nem mondható ki egyértelműen, hogy ez lenne az érdesség értékének ugrását okozó fő tényező. A közet porozitása szintén hatással bírhat a kialakuló érdességre, valamint az érdességmérés folyamatát is befolyásolhatja.



7.9. ábra A G684-es gabbro felszíne a 3. mérési pontban 1200 1/perc-es (balra) és 5200 1/perc-es (jobbra) fordulatszámon

Az átlagos felületi érdesség és a fordulatszám viszonyát, valamint az ezek közötti kapcsolat feltételezett viszonyának igazolását a 7.10. ábra mutatja be. Az átlagos érdességértékek hasonló nagyságúra adódtak, mint a közép szemcsés Rosa Beta gránit esetében.

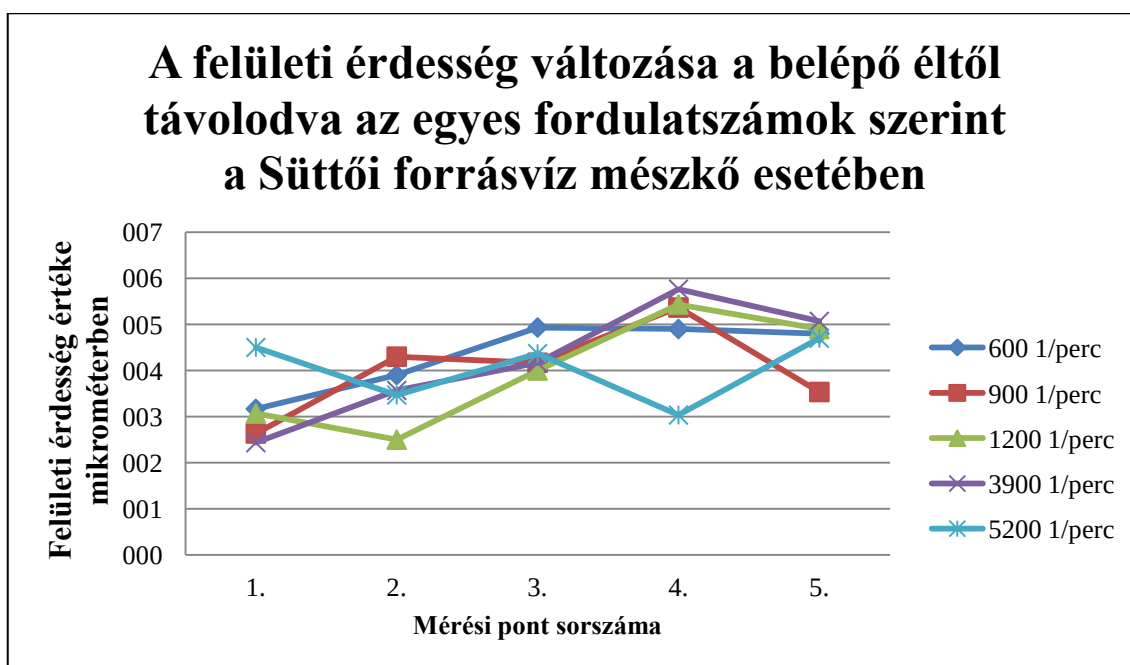


7.10. ábra Az átlagos felületi érdesség alakulása a fordulatszám függvényében a G684-es gabbro esetében

Süttői forrásvízi mészkő

A mészkövek anyagukban és szerkezetükben eltérnek a gránitoktól. Az eltéréseket jól szemléltetik a megmunkálás során tapasztalható eltérő viselkedési sajátosságok, illetve a felületi érdesség mért értékeiben megfigyelhető eltérések is. Munkánk során a gránitok megmunkálására fókuszáltunk, a választott mészkő megmunkálását összehasonlítási célból végeztük el. A megmunkálása során ugyanazon technológiai paraméterekkel dolgoztunk, mint az ismertetett gránitok esetében.

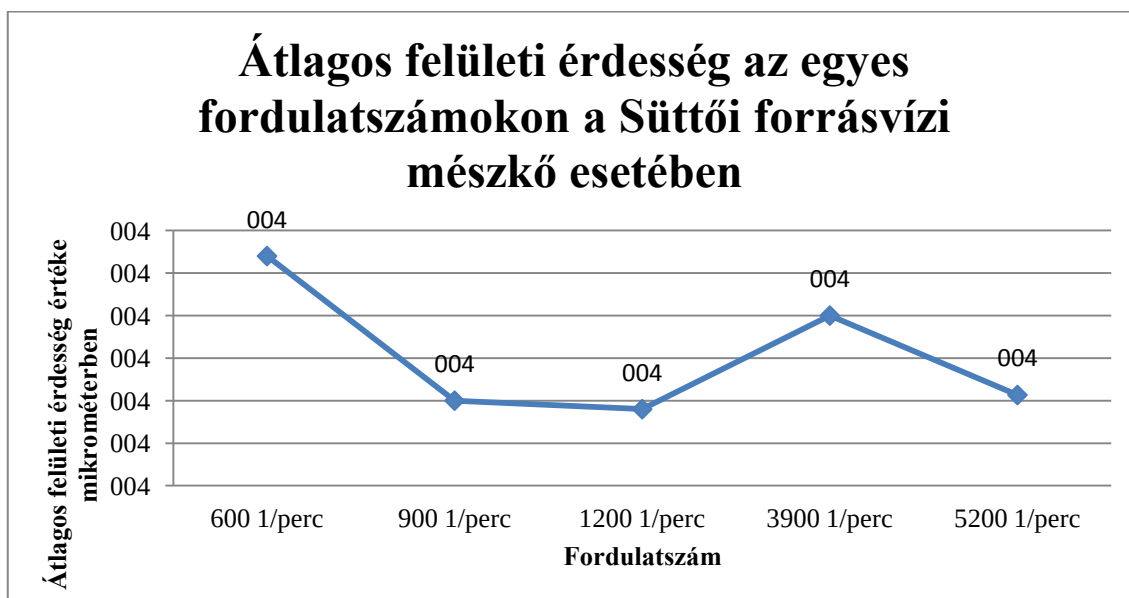
A 7.11. ábra mutatja a Süttöi forrásvízi mészkő érdességmérése során kapott értékekből kirajzolódó görbéket.



7.11. ábra A Süttöi forrásvízi mészkő érdességeloszlása

A Süttöi forrásvízi mészkő esetén egyik fordulatszámon sem rajzolódik ki a feltételezett tendencia. Az érdességértékek egy tartományba esnek, ellentétben a gránitoknál megfigyelhető csökkenő tendenciával, ez pedig nagyjából egyenletes felületi minőséget jelent, de az eltérések jelentősek egy-egy megmunkálási sávban. A kőzet szemcsenagysága kisebb, mint a közepes és nagy szemcsenagyságú gránitoké, így az érdességértékeinek eloszlása is lényegesen eltér a gránitokétól. Az apró szemcseméretű gabbro érdességeloszlására sem hasonlít a mészkőre kapott érdességeloszlás. Az átlagos

felületi érdességek fordulatszám szerinti eloszlása sem egyezik meg a gránitok esetén tapasztalttal (7.12. ábra).



7.12. ábra Átlagos felületi érdesség alakulása a Süttői forrásvízi mészkő esetén a fordulatszám függvényében

Az érdesség az 1200 1/perc-es fordulatszámértékekkel történő megmunkálási sávban adódott a legalacsonyabbra, de az ennél nagyobb fordulatszámok esetén nem állapítható meg egyértelmű érdességnövekedés: 5200-as fordulatszámon az átlagos érdesség alacsonyabb, mint 3900 1/perc-en.

A mészkő felszíne a megmunkálás során kézzel tapintva egyenletesen simának tűnt, de a felszínen nagyobb hibák is előfordultak, melyeket nem egyértelműen a marási folyamat okozott. Ilyen felületi hibára mutat példát a 7.13. ábra.



7.13. ábra A Süttői mészkő felszínén található üreg 30-szoros nagyításban

A 7.14. ábrán jól látható, hogy alacsony fordulatszámmal történő megmunkálás esetén a mészkő felületén is meglátszanak a szerszám nyomai.



7.14. ábra A Süttöi mészkő felszíne a 600 1/perc-es fordulatszámmal megmunkált sávban, a kilépőél környezetében, a képen megfigyelhetők a mészkő pórusai

Az érdességmérés eredményeinek összefoglalása

A kövek érdességmérésével igazoltuk, hogy a gránitok átlagos felületi érdessége és a megmunkálás során alkalmazott fordulatszám között hasonló kapcsolat áll fenn, mint a fémek esetén. A belépő és kilépő él környezetében tapasztalható érdességugrások magyarázata a szemcsekitépődések és kitöredeződések számának növekedése, melyeket a fogásszélesség változása által a szerszám energetikai viszonyaiban előidézett változások eredményeznek.

Jellemző, hogy az alacsony fordulatszámmal történő megmunkálásoknál a szerszám nyomai láthatóak maradnak. Erre a jelenségre mutat példákat a 7. 15. ábra. A közetalkotó ásványok befolyásolják a kialakuló felületi érdességet. A kvarccsomók helyén érdességugrásokat tapasztalhatunk a mérések során (7.16. ábra).

Az érdességmérés során nagy eltéréseket tapasztaltunk két mért érték között akár ugyanazon a felületdarabon is (ld. Melléklet 12.1. táblázat). Ebből arra következtetünk, hogy a kövek felületi érdességének mérésére a fémekhez széles körben alkalmazott felületi érdességmérő eszköz csak részben alkalmas. A feltételezéseket igazolni képes érdességeloszlásokat kaptunk a méréseinkkel, de a pontos érdességértékek megállapításához speciális eszközökre (profilométerekre, fénymikroszkópra) lenne szükség.



7.15. ábra A Rosa Beta gránit felszíne 600 1/perc-es fordulatszámmal történő megmunkálás után az 1. mérési pont környezetében

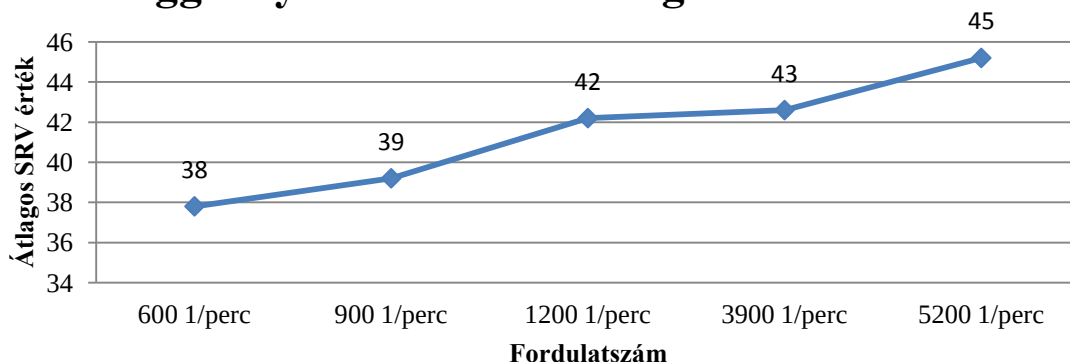


7.16. ábra A Rosa Beta gránit felszínén látható kvarccsomó

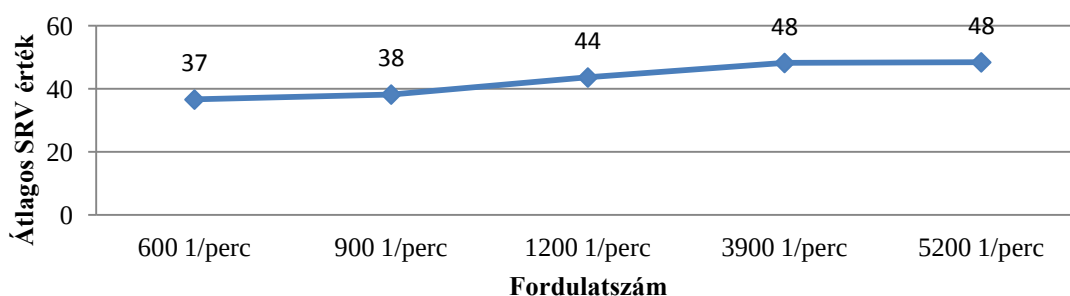
7.2. Csúszási ellenállás mérése és a csúszási ellenállás összefüggése a felületi érdességgel

A csúszási ellenállás mérését a bemutatott eszközzel a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékének laboratóriumában hajtottuk végre. A mérés eredményeitől azt vártuk, hogy az érdességmérés eredményeivel hasonló tendenciát mutatnak: az érdesebb felületek csúszási ellenállását nagyobb érték, a kisebb érdességű felületeket kisebb csúszási ellenállásérték jellemzi. A csúszási ellenállás értékeit a vizsgált gránitokra a 7.17. ábrán látható diagramok szemléltetik.

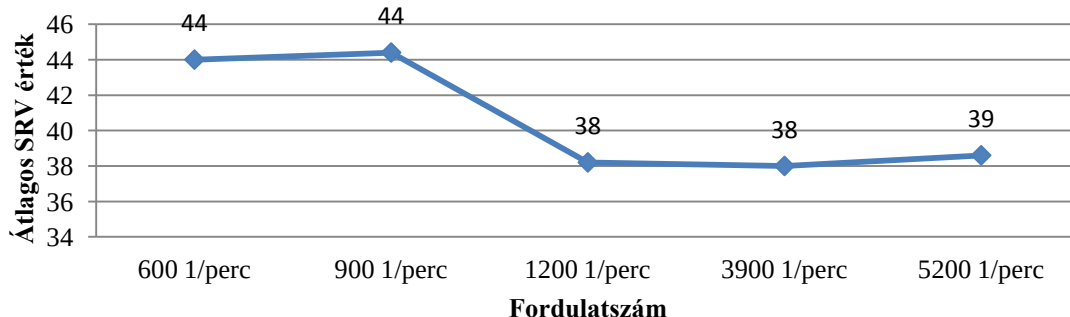
Csúszási ellenállás átlagos SRV értékeinek változásai a megmunkálási fordulatszám függvényében a Rosa Beta gránit esetében



Csúszási ellenállás átlagos SRV értékeinek változásai a megmunkálási fordulatszám függvényében a Giallo Farfalla gránit esetében



Csúszási ellenállás átlagos SRV értékeinek változásai a megmunkálási fordulatszám függvényében a G684-es gabbro esetében



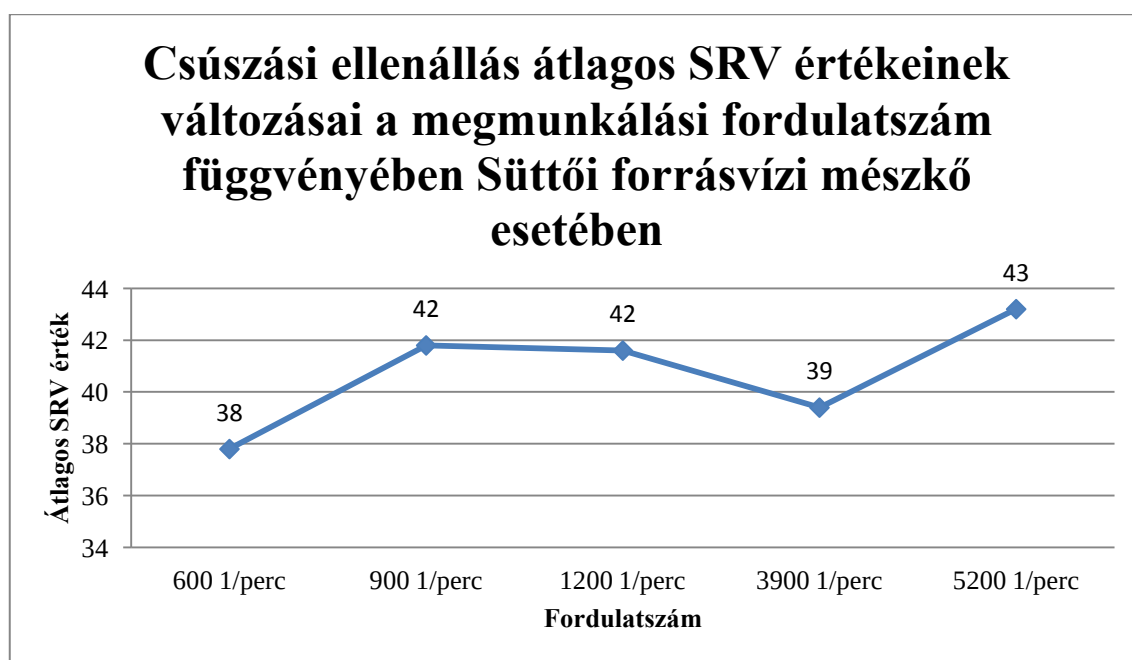
7.17. ábra A vizsgált gránitok csúszásbiztonsági értékei

A Rosa Beta gránit esetén a csúszási ellenállás értékei folyamatosan nőnek, annak ellenére, hogy az érdesség a 7.4. ábra szerint alakult. Hasonló jelenséget tapasztalhatunk a Giallo Farfalla gránit esetében is. A csúszási ellenállás értékei a G684-es gabbro mérése során mutatnak közel csökkenő, az elvártak megfelelő tendenciát (összehasonlítva a 7.10. ábrával).

A csúszási ellenállás mérési eredményeiből megállapítható, hogy a mart felületek csúszási ellenállása nem függ a felületi minőségüktől, legalábbis a két vizsgált közép- és nagyszemcséjű gránitok esetében. A gabbro esetében tapasztalt tendenciát a szemcseméret eltéréseinek tulajdoníthatjuk, illetve ennél a kőnél kisebb mértékű volt a felületi érdesség eltéréseinek nagysága, homogénebb szerkezetű gránitról lévén szó. Ez arra enged következtetni minket, hogy a csúszásbiztonságot a nagyobb felületi egyenetlenségek befolyásolják, illetve a kőzet heterogenitása.

A csúszási ellenállási vizsgálatok során kapott értékek nem mutatnak olyan mértékű eltéréseket, mint amelyeket a felületi érdesség mérés során kaptunk, ami azt jelenti, hogy a felületi egyenetlenségekre ez a vizsgálat kevésbé érzékeny, mint a mobil érdességmérővel végzett érdességmérés.

A csúszási ellenállás vizsgálatot a Süttői forrásvízi mészkő megmunkált felületein is elvégeztük. A mért eredményeket a 7.18. ábra mutatja.



7.18. ábra A csúszási ellenállás értékei a Süttői forrásvízi mészkő esetében

A Süttői forrásvízi mészkő szintén nem mutatja a feltételezések szerint elvárt tendenciát. Az ellenállásérték a 900 és a 3900 1/perc-es értékek között csökken, de az 5200 1/perc-es fordulatszámon ismét nagyobb értéket vesz fel, mi részben egyezik az elvárással, de összehasonlítva az átlagos felületi érdesség értékekkel (7.12. ábra) nem mutatja meg az elvárt kapcsolatot a felületi érdesség és a csúszási ellenállás között.

A mért csúszási ellenállás értékeket a melléklet 12.2. táblázata tartalmazza.

7.3. A csúszási ellenállás és az érdességmérés eredményeinek összefoglalása

Az elvégzett vizsgálatainkkal igazoltuk gránitok esetére is a fémekkel kapcsolatban fennálló törvényszerűségeket, miszerint a felületi érdességet a technológiailag előírt vágósebesség (fordulatszám) értéken a legalacsonyabb. Az érdesség értékek eloszlási görbéit felvéve megállapítottuk a legjellemzőbb anyaghibákat, amelyek a felületi érdességet befolyásolhatják.

A csúszási ellenállás méréssel kapott eredményekkel összevetve az átlagos felületi érdesség értékeit megállapíthatjuk, hogy csak a homogénebb szerkezetű, apróbb szemcséjű gránitok esetén figyelhető meg az értékek alakulásának egyezősége. A nagyobb átlagos szemcsemérettel rendelkező gránitok esetén a csúszásbiztonság és az érdesség között nem áll fenn kapcsolat. Ennek oka lehet, hogy a marással nem hoztunk létre a felületen olyan mértékű érdességet, amelyek a csúszási ellenállásban jelentős eltéréseket okoztak volna. Feltehetően az érdességértékek a kövek esetén egy csúszásbiztonsági osztály szórásstartományába esnek.

8. Következtetések

A kísérleti megmunkálások elvégzése után végrehajtott méréseinkkel részben igazoltuk az irodalomkutatási munka során felmerült feltevéseinket, a korábbi kutatásokból származó szabályszerűségek mellett. Amellett, hogy ezeket a megfogalmazott vizsgálati területeket körüljártuk a megmunkálások és a mérések kivitelezése során az eredményekből a további kutatásokat befolyásoló következtetéseket vontunk le.

A mérések eredményeiből megállapítottuk, hogy a mobil érdességmérő eszköz nem alkalmas a kövek felületi érdességének mérésére, ezért a későbbi kutatásainkhoz speciális eszközöket kívánunk használni. A bemutatott irodalmakban használt profilométerekhez hasonló berendezésekkel nem csak az érdességprofilok meghatározása lehet pontosabb, de ilyen eszközökkel a hullámosság és a nagyobb felületi egyenetlenségek kimutatása is lehetséges. A kövek vizsgálatánál ezek az eszközök terjedtek el a felületmérés terén, így a kövek jellemzésére nem az átlagos felületi érdesség mérőszámát érdemes alkalmazni, hanem a teljes profilon a heterogenitást figyelembevevő érdesség, vagy hullámosságprofilt jellemző mérőszámot. Egy ilyen mérőszámot, amennyiben pontosan leírja a felületi jellemzőket, a csúszási ellenállással is össze lehetne hasonlítani és egyértelmű kapcsolatba állítani azzal.

Mivel a csúszási ellenállás mérés egy széles körben alkalmazott módszer a kövek felületi minőségének jellemzésére, ez a vizsgálat sokkal stabilabb és kisebb szóródású leíró értékeket eredményezett, mint a végrehajtott érdességmérés. A csúszási ellenállás értékek minden vizsgált közet esetén egy adott tartományon belül alakultak. A tartomány szerint ezek a kövek csúszásbiztonsági osztályba sorolhatók és általánosan jellemezhetők. Az érdességértékek és a csúszási ellenállás között nem mutatható ki egyértelmű összefüggés az általunk mért értékek alapján. Ennek oka feltehetően az, hogy a marással elért felületi minőségbeli különbségek nem okoznak a csúszási ellenállás értékeiben jelentős eltéréseket.

Vizsgálataink elején feltételeztük, hogy az érdességértékek az alacsony megmunkálási fordulatszám tartományban magasabb értéket mutatnak, mint nagyobb fordulatszámok esetén. Mindezt a fémeknél megfigyelhető jelenségre alapoztuk. Az átlagos érdességértékek valóban az elvárásoknak megfelelően alakultak, a felületi minőség az alacsonyabb vágósebesség-tartományban jelentősen magasabb értékeket

mutat. A felületi minőség romlásának ebben a megmunkálási paraméter-tartományban egyértelműen a szemcsekiszakadások nagyobb száma, a kristálycsomók anyagból történő kitépődése az oka. A magasabb fordulatszám tartományban a jelenség szinte alig figyelhető meg, ezekben a megmunkált sávokban a felületi érdességet a ridegtörések okozhatják. Az ideális esetben (a javasolt technológiai paraméterekkel történő megmunkálás esetén) a szemcsék vágása, szerencsés esetben, megfelelő ásványállás esetén a hasadásuk figyelhető meg. Az ilyen felületi hibák kimutatását az általunk használt digitális mikroszkópokkal is megfelelő nagyításban el lehet végezni. Pontosabb eszközökkel a szerszám nyomai által előidézett mintázat, vagy a kiszakadt, kipergett, kitöredezett szemcsék helyének mélysége is meghatározható.

A további kutatásaink elvégzéséhez más, speciálisabb eszközök használatára is szükségünk lesz, hogy a jelenlegi kutatási eredményeinket kiterjeszthessük a kövek megmunkálására általánosságban is, illetve olyan mérőszámokat, paramétereket határozzunk meg, melyekkel a megmunkálás tervezése során számolva, a megfelelő technológiai paraméterek előírásával a kivitelezés során a megfelelő, optimális felületi minőség elérhetővé váljon.

9. Összefoglalás

Munkánk célja egy kőmegmunkálással kapcsolatos forrásanyag létrehozása volt a kőtermékek gyártásának támogatására. A kőmegmunkáló technológiák ismertetésén keresztül bemutattuk azokat a fontosabb –korábbi- kutatásokat, amelyeket felhasználtunk a saját, marási megmunkálással kapcsolatos kísérleti tervünk összeállításánál. Az irodalmakban megfogalmazott szabályszerűségek és feltevések bizonyítására olyan kísérleti megmunkálásokat hajtottunk végre, melyekhez korszerű NC vezérlésű kőmegmunkáló gépet alkalmaztunk, méréseinket pedig általánosan elterjedt eszközökkel (mobil érdességmérőt, csúszási ellenállásmérő SRT ingát és digitális mikroszkópot használva) végeztük.

A mérésekből kapott eredményeink igazolták a fémek és a gránitok viselkedése közötti hasonlóságot a vágósebesség és az érdesség kapcsolata terén, valamint egyértelművé vált, hogy a homogénebb szerkezetű kőanyagok felületi érdessége a szerszám haladási irányától függően a pálya egyes szakaszaiban a fémeknél is tapasztalható változást mutat. Az így kapott eredmények a technológiai tervezéshez nyújthatnak segítséget. Az érdesség kifejezésére az átlagos felületi érdesség mérőszámát használtuk, de a méréseink bizonyították, hogy ez a paraméter nem alkalmas a kövek felületi érdességének általános jellemzésére, mivel a kövek heterogén szerkezetű felületén végzett méréseket jelentősen torzítják az előforduló felületi egyenetlenségek. Mikroszkópos felvételekkel mutattuk be azokat a jellemző felületi hibákat, amelyek lényegesen befolyásolják a felületi érdesség alakulását. A hibák felismerésével elkerülhető a rossz minőségű felületek használata, illetve az azokon történő mérési eredmények értékelés során jelentkező torzító hatása. A felületi hibák okainak feltárásához pontosabb eszközök szükségesek. A későbbiekben az ilyen felületi hibák kialakulásának okait, az azokat előidéző közettani jelenségek tanulmányozásával feltárhatjuk.

TDK munkánk elkészítése során alapvetően a gránitokra koncentráltunk, azon belül is a különböző szemcseméret szerepét vizsgáltuk. A jövőben az ismeretanyag bővítését, más kőanyagokra történő kiterjesztését szeretnénk elvégezni mind a szemcsenagyság, mind az alkotó ásványok szerinti osztályozással.

10. Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk megköszönni a megmunkálások kivitelezéséhez nyújtott segítségét Gyúros Istvánnak, a Woldem Kft. igazgatójának, aki nem csak helyszínt és a megmunkálások kivitelezéséhez szükséges szerszámgépet bocsátotta rendelkezésünkre, gyakorlati tapasztalatait és tudását is megosztotta velünk. Idejét nem sajnálva részt vett a megmunkálások kivitelezésében.

Köszönettel tartozunk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia tanszékének a méréshez szükséges SRT inga használati lehetőségéért és a segítségükért a mérések elvégzése során. Kiemelnénk Emszt Gyula munkáját, aki a méréseink felügyeletével és folyamatos segítségével támogatta munkánkat.

Kiemelten szeretnénk megköszönni Dr. Gálos Miklós szakmai segítségét, aki a kutatási munkánkat folyamatosan felügyelte és tudásával támogatta e dolgozat megvalósulását.

Köszönet illeti a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és –technológia tanszékét az mérőeszközök rendelkezésünkre bocsátásáért, és szakmai tudással történő támogatásért. Személy szerint köszönetet mondanánk Markos Sándornak a mobil érdességmérő használati lehetőségéért, Farkas Baláznak és Takács Mártonnak a mikroszkópos vizsgálatok kivitelezésében nyújtott segítségükért, valamint az eszközökért, melyeket a rendelkezésünkre bocsátottak a kutatások idejére.

Végül, de nem utolsó sorban, szeretnénk köszönetet mondani Gyurika Istvánnak, aki nélkül ez a TDK munka nem valósulhatott volna meg, felügyeletével és szakmai tudásával támogatott minket a megvalósítás során, részt vett a kutatási folyamatban, türelemmel és folyamatos biztatás kíséretében irányított minket, hogy létrehozassuk ezt a dolgozatot.

11. Irodalomjegyzék

- [1] J. Xie: Precision grindability of Granite in Relation to Discrete Distribution Parameters of Microhardness and Microbrittleness (*Gránitanyagok precíziós megmunkálhatósága a mikrokeménységi és a mikrotörési paraméterek függvényében*), Journal of Manufacturing Science and Engineering (2010, aug.)
- [2] R. P. Ribeiro; A. B. Paragassú; S. T. F. Moreiras: Sawing of blocks of siliceous dimension stone: influence of texture and mineralogy (*Szilikátos kövek vágása: szövetszerkezet és ásványszerkezet hatása*), Bull Eng Geol Env (2007) 104. oldal 3. ábra
- [3] R. P. Ribeiro; A. B. Paragassú; J. E. Rodrigues: Factors affecting slab surface roughness of siliceous dimension stones (*Szilikátos kövek felületi érdességét befolyásoló tényezők*), Bull Eng Geol Envireon (2011) 70:625-631
- [4] H. Huang; Y. Li; J. Y. Shen; H. M. Zhu; X. P. Xu: Micro-structure detection of a glossy granite surface machined by the grinding process (*A csiszolással létrehozott gránitfelületen megjelenő csillogó réteg mikrostrukturális vizsgálata*). Journal of Materials Processing Technology 129 (2002) 403-407
- [5] H. Huang; X. P. Xu: Interfacial interactions between diamond disk and granite during vertical spindle grinding (*A gyémánt szerszámok és a gránit anyagok felületi kölcsönhatásának vizsgálata függőleges főorsójú géppel történő megmunkálás esetén*), Wear 256 (2004) 264. oldal 1. ábra
- [6] Békevári György: Kőzetmegmunkáló gyémántszerszámok, Kogépterv, Budapest, 1986
- [7] Steven W. Webb: Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling (*Gyémánt éltartósság a szinterelt kobalt kötőanyagú szerszámokban fűrésznél és marásnál*), Diamond and Related materials 8 (1999) 2043-2052
- [8] W. Polini; S. Turchetta: Test protocol for micro-geometric wear of sintered diamond tools (*Teszt protokoll a szinterelt gyémántszerszámok mikrogeometriai kopásának vizsgálatához*), Wear 257 (2004)
- [9] ISO 3685 szabvány, Szerszám élettartam vizsgálat egyélű szerszámokra; Nemzetközi Szabványosítási Szervezet, 1977
- [10] Chae et al: Roughness measurement of rock discontinuities using a confocal laser scanning microscope and the Fourier spectral analysis (*Kőanyagok felületi érdességmérése lézeres pásztázó elektronmikroszkóppal és Fourier színeképelemző rendszerrel*), Engineering Geology
- [11] Kun Zsuzsanna, Gyurika István: Research possibilities in correlation between the surface roughness and technological parameters of stone machining (*Kutatási lehetőségek a felületi érdesség és a technológiai paraméterek kapcsolatában kömegmunkálás során*), ISBN 978-963-473-591-5 MAS 12-07

[12] Gyurika István, Gálos Miklós: Research system development and preliminary investigation implementation for disquition of surface roughness and slip safety of stones (*Kutatási rendszer kiépítése és elővizsgálatok végrehajtása kövek felületi érdességének és csúszásbiztonságának kutatásához*), ISBN 978-963-473-591-5 MAS 12-01

[13] eHow honlapja: http://www.ehow.com/how-does_4912502_how-granite-mined.html

[14] Woldem kft. honlapja: <http://www.woldem.hu/>

[15] Török Ákos: Geológia mérnököknek, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007

[16] Wikipédia www.en.wikipedia.org

[17] Törökné Horváth Éva és Palotai Ágnes: Kopásállósági vizsgálatok eredményeinek összehasonlító elemzése beton, kő és műkö felületeken; ÉMI előadásanyag, 2009

[18] Thinsections honlap <http://thinsection.eu/hu/asvanyok/anizotrop/ket-optikai-tengelyu/monoklin/klorit.php>

[19] Mecapierres S.A. honlapja <http://www.mecapierre.be/golden-plus/>

[20] AnMo Electronics corporation honlapja: <http://www.dino-lite.com/>

[21] Szakértői vélemény: Rosa Beta (003-MG-007/2010), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéki Csoport, Budapest, 2010

[22] Szakértői vélemény: Giallo Farfalla (43540-003-MG-006b/2012), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéki Csoport, Budapest, 2012

[23] Szakértői vélemény: G684 gránit (43540-003-MG-006a/2012), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéki Csoport, Budapest, 2012

[24] Szakértői vélemény: Süttői forrásvízi mészkő (003-MG-007/2010), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéki Csoport, Budapest, 2010

[25] Bali János: Fogácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985

12. Mellékletek

12.1. A mért felületi érdesség értékek táblázatai

12.2. A mért csúszásbiztonsági értékek táblázatai

Érdességmérési eredmények															
Rosa Beta	I.			II.			III.			IV.			V.		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
600 1/perc	6,50	5,50	8,50	5,90	8,50	7,30	6,40	6,90	5,90	6,40	7,40	6,10	7,70	8,20	7,70
900 1/perc	3,80	4,30	4,40	3,80	4,00	4,30	5,20	5,90	5,30	2,90	3,30	3,00	3,20	4,50	4,00
1200 1/perc	3,80	4,60	3,80	2,50	2,90	3,60	2,60	4,90	4,50	4,60	3,70	3,80	3,40	3,10	3,20
3900 1/perc	2,30	1,90	2,20	3,10	2,40	3,70	3,70	3,70	2,80	3,30	3,40	5,00	3,10	3,10	2,80
5200 1/perc	2,60	4,50	4,30	3,20	3,70	3,20	4,80	3,60	3,40	2,70	2,20	3,20	2,50	5,00	3,60

Giallo Farfalla	I.			II.			III.			IV.			V.		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
600 1/perc	7,70	7,60	7,80	8,10	5,20	7,60	7,70	7,50	6,40	6,60	7,10	5,80	7,10	10,4	5,90
900 1/perc	6,70	5,20	8,90	6,60	7,00	7,90	6,90	7,30	6,50	4,30	5,50	4,50	7,50	4,40	6,80
1200 1/perc	6,30	5,80	4,60	5,40	5,30	3,60	6,20	4,40	5,70	6,30	4,70	4,60	4,30	4,10	6,00
3900 1/perc	3,10	3,00	4,80	4,10	7,10	5,30	6,00	3,20	2,50	2,50	3,70	4,40	4,90	5,80	2,70
5200 1/perc	4,40	5,60	3,80	4,10	6,30	2,10	2,90	6,70	4,80	5,90	3,10	3,60	8,40	7,40	7,10

Süttöi Forrásvízi Mészke	I.			II.			III.			IV.			V.		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
600 1/perc	2,90	3,40	3,20	3,70	3,80	4,20	5,50	5,10	4,20	5,20	5,50	4,00	4,30	4,60	5,50
900 1/perc	2,30	2,50	3,10	4,40	5,00	3,50	4,40	4,40	3,70	5,00	5,00	6,10	3,90	3,50	3,20
1200 1/perc	2,90	2,40	3,90	2,30	3,10	2,10	5,40	2,50	4,10	6,70	5,30	4,30	6,70	3,60	4,40
3900 1/perc	2,30	2,90	2,10	3,30	3,20	4,20	4,30	3,20	5,00	6,50	6,10	4,70	6,60	4,50	4,10
5200 1/perc	6,30	4,00	3,20	3,50	3,90	3,00	3,70	4,20	5,20	3,00	2,90	3,20	4,10	5,10	4,90

G684 Gabbro	I.			II.			III.			IV.			V.		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
600 1/perc	7,10	5,70	7,60	6,10	8,40	6,90	7,30	7,30	6,00	5,90	5,80	4,80	4,00	5,40	5,00
900 1/perc	5,60	5,30	7,30	6,60	6,00	5,90	4,90	5,10	5,00	5,30	5,10	5,20	6,90	5,30	6,80
1200 1/perc	3,80	3,10	3,00	2,50	4,10	3,80	4,80	4,90	5,30	3,50	4,10	4,20	3,50	3,40	3,60
3900 1/perc	3,30	3,00	4,20	2,50	3,80	2,90	2,90	2,70	2,90	2,80	3,00	4,10	4,40	4,70	3,00
5200 1/perc	3,40	3,30	3,30	3,70	3,40	3,70	4,20	3,80	4,40	4,40	2,60	2,70	3,80	3,10	3,10

12.1 táblázat A felületi érdességmérés értékei

Csúszásbiztonsági eredmények					
Rosa Beta	SRV szám				
	1	2	3	4	5
600 1/perc	36	38	38	38	39
900 1/perc	40	38	40	40	38
1200 1/perc	43	42	42	41	43
3900 1/perc	43	43	43	42	42
5200 1/perc	45	46	44	46	45

Giallo Farfalla	SRV szám				
	1	2	3	4	5
600 1/perc	36	37	36	37	37
900 1/perc	38	38	39	38	38
1200 1/perc	44	43	44	44	43
3900 1/perc	48	48	49	48	48
5200 1/perc	48	48	49	48	49

Süttői Forrásvízi Mészke	SRV szám				
	1	2	3	4	5
600 1/perc	37	38	38	38	38
900 1/perc	42	42	41	42	42
1200 1/perc	41	42	42	41	42
3900 1/perc	39	39	40	40	39
5200 1/perc	43	43	42	44	44

G684 Gabbro	SRV szám				
	1	2	3	4	5
600 1/perc	43	44	44	44	45
900 1/perc	44	44	44	45	45
1200 1/perc	38	38	39	38	38
3900 1/perc	38	38	37	38	39
5200 1/perc	38	39	38	39	39

12.2. A csúszási ellenállás mérés eredményei