

TDK DOLGOZAT

# A BUDAI VÁR KŐFALAZATÁNAK ELVÁLTOZÁSA KÖRNYEZETI HATÁSOKRA

**SZÚCS HELLA**

II. ÉVES KÖRNYEZETMÉRNÖK BSC HALLGATÓ

Konzulens

Dr. Török Ákos, egyetemi tanár



2020. november

## Tartalom

1. Összefoglalás.....	1
2. Bevezetés.....	2
3. A mérési helyszín földrajzi elhelyezkedése .....	3
4. A Budai vár építésének rövid története .....	7
5. Vizsgálati módszerek .....	8
Duroskop .....	8
Schmidt-kalapács.....	9
Nedvességmérés .....	11
Elemösszetétel mérés .....	11
6. Kőzettípusok leírása .....	12
A keleti fal kőzetei .....	12
A nyugati fal kőzetei .....	22
7. A kőzeteken előforduló elváltozások típusai, mállási formák.....	28
8. A kőfelületek fizikai tulajdonságai.....	32
Duroskop felületi szilárdság mérési eredmények.....	32
Schmidt-kalapáccsal kapott felületi szilárdság mérési eredmények.....	35
Nedvesség mérés eredmények.....	38
9. Kőfelületek kémiai összetétele .....	39
10. Környezeti hatások okozta elváltozások .....	51
Felhasznált irodalom .....	52

## 1. Összefoglalás

Dolgozatom során a Budai vár kőfalazatának változatos kőzetanyagát vizsgáltam. Elsőként a mérési helyszín földrajzi elhelyezkedését mutattam be, majd kitértem a Budai vár történelmi hátterére is. Ezek után a különböző roncsolásmentes helyszíni vizsgálatokat mutattam be. Szilárdságmérésre Duroskopot és Schmidt-kalapácsot, nedvességmérésre Gann Hydromette nedvességmérő műszert, alkalmaztam, a kőzetek elemi összetételét pedig XRF hordozható elemösszetétel mérő műszerrel határoztam meg. Ezek után megjelenítettem a két mérési helyszínen megtalálható összes kőzettípusról készült fotódokumentációt magyarázattal együtt megjelenítettem, majd pedig az ezeken megtalálható mállási formákra és egyéb elváltozásokra helyeztem a hangsúlyt. Dolgozatom következő pontjában elvégeztem a Duroskop, Schmidt-kalapács, nedvességmérő eredményeinek kiértékelését, melyhez diagramokat, képeket és ábrákat csatoltam magyarázat képpen. A kőzetek kémiai összetételét XRF műszerrel mértem. Ezen mérési eredmények kiértékeléséhez tortadiagramos módszert alkalmaztam magyarázatokkal és leírással. Végezetül a környezeti hatásokra tértem ki. Mivel a vizsgált várfal szakaszai a város központi, levegőszennyezésnek talán az egyik legnagyobb mértékben kitett részén található, a különböző kőzetek károsodásában a környezeti tényezők és az emberi tevékenység okozta légszennyezés együttesen játszik szerepet. Ezek hatását ki lehetett mutatni a Budai vár falánál is, a légszennyeződésre utaló fekete mállási kérget találtam. Az elemi összetétel vizsgálattal pedig a kén jelenlétét is kimutattam, ami a gipsz képződésre utal. A különböző kőzet típusok eltérő felületi szilárdságát, a kőzettani tulajdonság mellett a kőzetek károsodása is okozza. Összegezve az időjárás hatása, a napsütés, a csapadék oldó hatása, a különböző légszennyező anyagok (gázok, porok) és az emberi és állati tevékenységek együttes hatásának eredményeként a műemlékek, épületek romlásnak indulnak.

## 2. Bevezetés

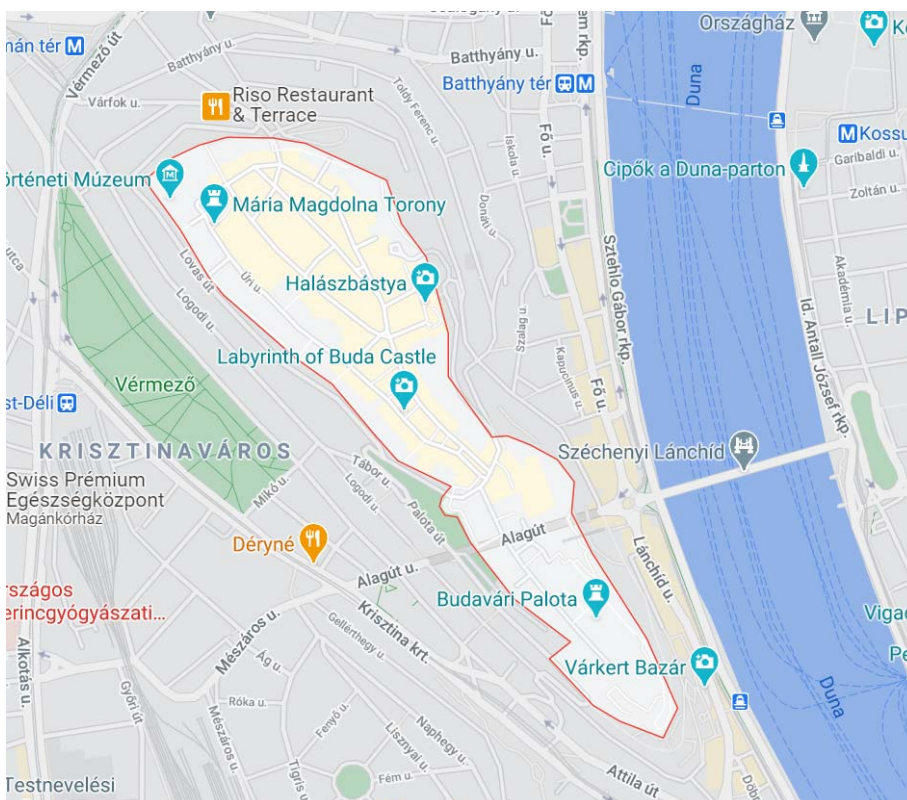
A műemlék épületek a világban és hazánkban is a kulturális örökség fontos megőrzői, történelmi és turisztikai látványosságai. A kőből épült műemlékek Budapest jellegzetes látképéhez hozzá tartoznak, így a Budai Vár is a világörökség részét képező Duna-parti panoráma meghatározó eleme. Sajnos az épületek nem maradnak változatlanok évszázadokig, környezeti hatásokra pusztulhatnak. Ilyen hatások lehetnek az időjárás, például a csapadék, a fagy ciklusok (Winkler 1968) vagy az emberi tevékenység következtében felszabaduló légszennyező anyagok is (Amoroso és Fassina 1983). Ezek a hatások nagyon összetettek ezért nyomon követésükhöz érdemes a kőzetek fizikai tulajdonságait és kémiai elváltozásait mérni. Erre számos külföldi (Amoroso és Fassina 1983, Viles 1993, La Russa et al. 2017) és hazai példa van (Török 2003, 2008), amelyek alapot szolgáltattak a dolgozat témájához.

A választás egy olyan kőből épült műemlékre esett, amely hosszú történelmi múltra tekint vissza és kőanyaga változatos, részben olyan kőzetekből áll, amelyek a környezeti hatásokra érzékenyek. Mindennek figyelembevételével munkám során a Budai vár két falszakaszának változatos kőzetanyagát vizsgáltam.

Különböző roncsolásmentes vizsgálatokat készítettem, amelyekről korábban már igazolták, hogy használhatók az elváltozások nyomon követésére és a kőzetek minősítésére (Kleb 1971, Gálos 2003). Ennek megfelelően a munka során a várfal kőzeteinek felületi szilárdságát, nedvességét, nedvszívó és vízáteresztő képességét, valamint elemi összetételét vizsgáltam. A következőkben ezeknek a mérések eredményét, kiértékelését és magyarázatát fogom bemutatni, miközben kitérek az egyes kőzetek környezeti hatások által okozott károsodásaira is.

### 3. A mérési helyszín földrajzi elhelyezkedése

A Budai Várnegyed Budapest szívében található és a turisták által leginkább látogatott hazai helyszínek közé tartozik. A Várnegyedet keletről a Vérmező, nyugatról a Duna határolja (3.1. ábra).



3.1. ábra A budai várnegyed felülnézetből (WWW1)

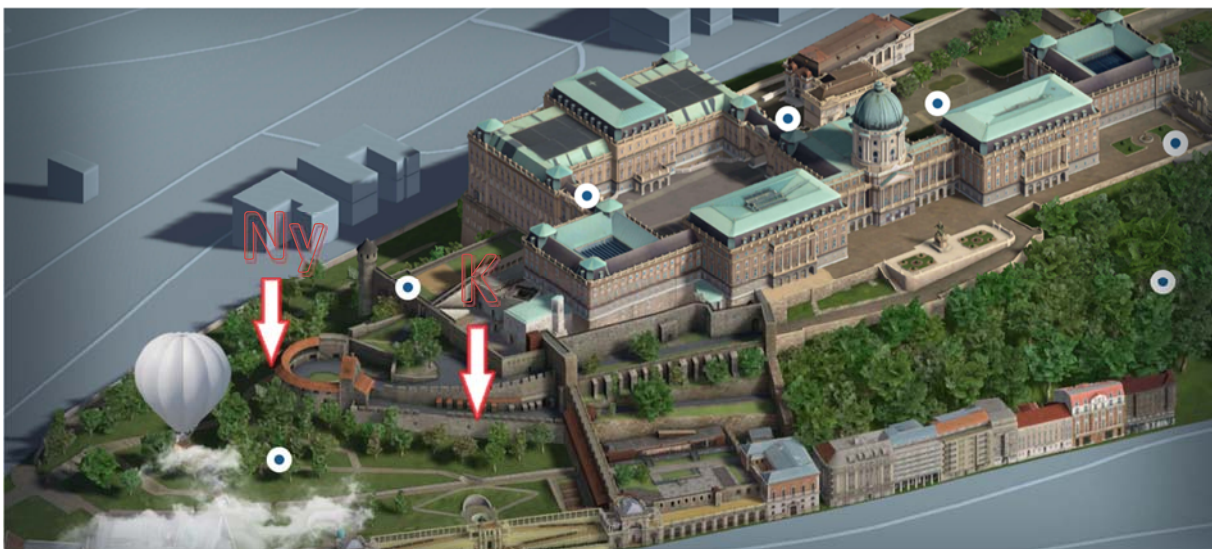
Budai Vár a Várhegyen található ÉÉNY-DDK-i tájolású (3.2. ábra). A Várhegy fennsíkja 405.000 m<sup>2</sup>-nyi területet foglal el, míg a vár oldalai és lejtő 750.000 m<sup>2</sup>-es területen található. A legnagyobb magassága 170 m (A.F.) (Hajnal et al. 2012). Ez a kissé kiemelt helyzet és Duna-parti fekvés azt eredményezi, hogy a Vár-hegy az időjárásnak és leginkább az északias szeleknek jobban kitett, mint a közeli térség. A Vár Duna fölé emelkedő szinte egész platóját elfoglalja.

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



3.2. ábra A Budai Vár elhelyezkedése a Duna melletti Várhegyen (Google Earth)

Méréseimet a Budai vár falának Keleti és Nyugati felénél végeztem. Először a dunai oldalon kezdtem, majd pedig közvetlenül a Nagy Rondellánál folytattam. Ezt a két helyszínt inntől kezdve csak K-i és Ny-i oldalként fogom emlegetni a dolgozatom során (3.3.ábra).



3.3. ábra A két mérési helyszín piros nyíllal megjelölve (WWW2)

A két vizsgált falszakasz a keleti oldalon és nyugati oldalon helyezkedik el. A keleti tájolású falszakasz vegyes kőzetanyagú rakott fal, amelynél a falburkoló kövek mérete változó (3.4. ábra).



*3.4. ábra K-i fal távolnézetből*

A nyugati oldalon található vizsgált falrész a Rondella (3.5. ábra) egy kisebb falszakasza. A keleti falszakaszhoz hasonlóan ez is vegyes kőzetanyagú rakott fal, amelynél a falburkoló kövek mérete szintén változó (3.4. ábra).

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



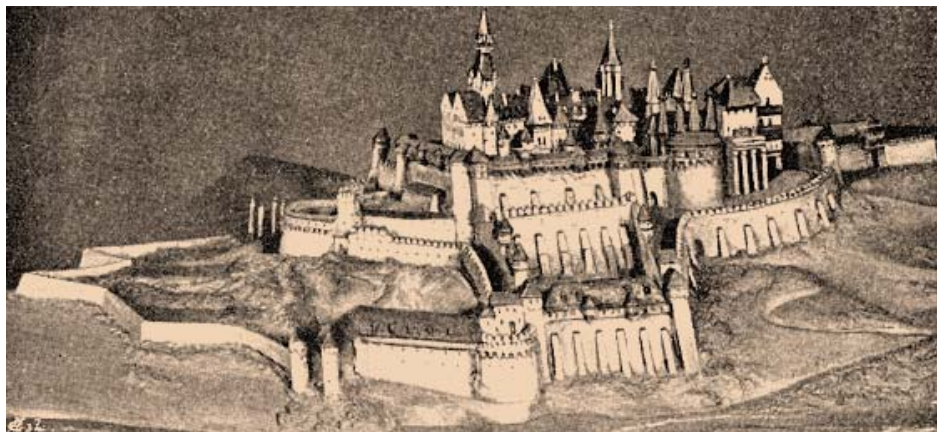
*3.5. ábra A Nagy Rondella panorámaképe a Ny-i várfallal*



#### 4. A Budai vár építésének rövid története

Majdnem az összes magyar vár érdemi története a török hódoltság koráig tartott, utána szinte minden vársors megegyezik: a falak és épületek romlásnak indultak, majd jobb esetben a XX. században valamikor megkezdődtek a helyreállítási munkálatok. A Duna jobb partján álló Buda várának története azonban teljesen más irányt vett a törökök 1686 utáni kiűzését követően. A mongolok kivonulása után Béla király hozzáfogott az ország újjáépítéséhez, melynek során parancsot adott egy új vár építésére a Pesttel szemben fekvő Várhegyen. A pesti Újhegy vára 1243 és 1255 között épült meg és gyorsan fejlődő gazdasági központtá vált. A szabad királyi várossá, majd később királyi székhellyé váló új város neve Buda lett, míg a Duna partján északabbra fekvő, a tatárjárás során lerombolt, majd újraépülő település neve Óbudára változott. A XV. század első felében épült meg a Dunára néző Keleti valamint a vár nyugati oldalán húzódó Nyugati falsoros is (munkám során e két helyen végeztem a méréseimet). Buda középkori várának virágkora Mátyás király (1458-1490) uralkodása alatt következett el, ekkor készült el a déli Nagy Rondella is, valamint létrejött Mátyás világhírű könyvtára, a Bibliotheca Corviniana (4.1. ábra). Az 1526. augusztus 29-én bekövetkezett a mohácsi tragédia utáni időszak. A győztes török csapatok Szulejmán szultán vezetésével, harc nélkül vonultak be Budára, amit néhány nap alatt teljesen kifosztottak és végül a települést felgyújtva szeptember végén elvonultak. A 145 éves török hódoltság alatt Buda oszmán közigazgatási központ lett, a Budai vár pedig a pasa székhelyéül szolgált. Az 1896-os ostrom után megkezdődtek a török kor utáni helyreállítások.

Ezt követően a XIX-XX. században is hatalmas építkezések zajlottak a várnegyed területén, és napjainkban is folyamatosak a felújítások, átépítések, valamint a világháborút követően lerombolt épületek újraépítési munkálatai. A Várhegy délkeleti lejtőjén 1875-1883 között épült ki a Várkert Bazár, s ekkor építették át a ma is látható stílusúra a Mátyás templom környezetét, de főként a Halászbástyát is.



4.1.ábra. Buda várát ábrázoló egykori rajz (WWW3)

## 5. Vizsgálati módszerek

A helyszínre való megérkezéskor első feladatomban a vizsgált falszakasz kőkiosztásos térképének rajzos formában való elkészítése volt. Ezt követően a térkép segítségével elvégeztem az egyes közettípusok azonosítását a hatályos európai szabványok figyelembevételével (MSZ EN 12440, MSZ EN 12670, MSZ EN 12407).

### Duroskop

A Duroskop egy roncsolás mentes, elsősorban helyszíni vizsgálatoknál használt eszköz. Eredetileg betonok, acélszerkezetek és öntöttvas keménységének meghatározására tervezték, az utóbbi időben viszont már egyre többször használják kőfelületek mállási jelenségeinek tanulmányozására is (Török 2002, 2003, 2008, 2010).

Működési elve egy ingán elhelyezett golyó alakú gyémántkalapács visszapattanásán alapul, mely a felületi keménységre, így közvetve a közet felső rétegének általános állapotára ad értéket. Ez az érték a Duroskop visszapattanási érték, mely egy, a vizsgált felület keménységét jellemző dimenzió nélküli szám. Ezt mérésünk során a műszer analóg, vagy digitális kijelzőjéről tudjuk leolvasni. A Duroskop csekély ütőerejének köszönhetően nem okoz számottevő sérülést a vizsgált felületen, ezért műemlékek, valamint reprezentatív felületek esetén javasolt az alkalmazása.



5.1. ábra Duroskop mérés közben

### Schmidt-kalapács

A Duroskoppal szemben a Schmidt kalapács jóval nagyobb ütőerejéből kifolyólag nagyobb felületi kár okozására is képes. Ez a műszer működési elvében megegyezik a Duroskopéval, azzal a számottevő különbséggel, hogy itt egy állandó rugóerővel rendelkező rugó egy vályúban mozgó, az előzőnél sokkal nagyobb tömegű acélhengert pattint a vizsgálandó kőfelületre. Az így kapott visszapattanási érték ugyancsak egy dimenzió nélküli szám, mely a henger ütés közben megtett útjának, valamint a visszapattanás során megtett útnak a százalékban kifejezett értéke.

A Schmidt-kalapácsot E. Schmidt eredetileg betonok keménységének vizsgálatára fejlesztette ki 1948-ban. Két legelterjedtebb változata az „N”, valamint az „L” típus. Az „N” típusú kalapácsoknál nagyobb az ütési energia, míg az „L” típusúaknál kisebb. Az „N” típusú Schmidt-kalapácsot érdemes változatos nyomószilárdságú kőzetek vizsgálatánál alkalmazni (mérésem során én is ezt a típust használtam), az „L” típusú pedig inkább a kisebb nyomószilárdságú felületekre, valamint mállási kérgék vizsgálatára ajánlott.



5.2. ábra N-34 típusú Schmidt-kalapács mérés közben

Mind a Duros-koppal, mind pedig a Schmidt-kalapáccsal végzett méréseket 6-szor ismételttem, a kapott értékeket pedig jegyzőkönyvben feljegyeztem. A kapott értékeket EXCEL táblázatban rögzítettem. Egyenként kiszámoltam az egyes kőzettípusok értékeihez tartozó átlagot és szórást, majd ezeket diagramos formában ábrázoltam.

## Nedvességmérés

A nedvességmérést GANN Hydromete UNI-1 műszerrel végeztem. Minden kőzeten 3-6 mérést végeztem, s az eredményeket jegyzőkönyvben vezettem. A kapott értékeket EXCEL táblázatban rögzítettem, majd az átlag és szórásértékek kiszámolása után diagramon ábrázoltam.



5.3. ábra Nedvesség mérés a Budai vár falzatán

## Elemösszetétel mérés

Az egyes kőzetek elemösszetételét hordozható OLYMPUS XRF elemanalizátorral mértem. Ennek a műszernek a működési elve a röntgensugárzáson alapul: sugárforrásként miniatűr röntgensövet használ, s ezzel állapítja meg az adott kőzet elemi összetételét.

Használata: A műszert a mérni kívánt kőzethez közel tartva, kb. 30 másodperc eltelte után megjelenik a képernyőn az adott kőzet elemi összetétele százalékos formában. A műszer a nagy mennyiségben megtalálható elemeket %-ban, míg a kisebb mennyiségben megtalálhatóakat ppm-ben ( Parts Per Million=rész per millió ) fejezi ki. Emellett kimutat még egy ún. LE értéket, amely az alacsony rendszámú elemeket jelöli, azaz azokat az elemeket, amelyek a kőzetben megtalálhatóak, ám olyan csekély mennyiségben, hogy a műszer nem tudja őket mérni.

Ezen adatok összegzésével tudtam kiszámolni a végeredményül kapott százalékos összetételt oly módon, hogy a százalékban megadott értékeket összeadtam, majd ehhez hozzáadtam az eredetileg ppm-ben megadott értékeket százalékos formában, végül pedig az így kapott százalékot kivontam a 100%-ból és megkaptam a LE értékét százalékban kifejezve. A kapott értékeket jegyzőkönyvben feljegyeztem, majd a százalékos összetételt pedig az adott kőzet fényképén megjelölve kördiagramos formában ábrázoltam.



5.4. ábra Hordozható XRF mérés forrásvízi mészkövön

## 6. Kőzettípusok leírása

### A keleti fal kőzetei

A K-i várfalon elemzett falszakasz 1,5 m magas és 1,7 m szélességű (6.1. ábra). Az elemzett részen a kőzetek mérete eltérő, ezért egy vázlatos kőkiosztás rajzot készítettem, amin a vizsgált kőzetelemek jól azonosíthatók. Az egyes köveket beszámoltam a rajzon (6.2. ábra).

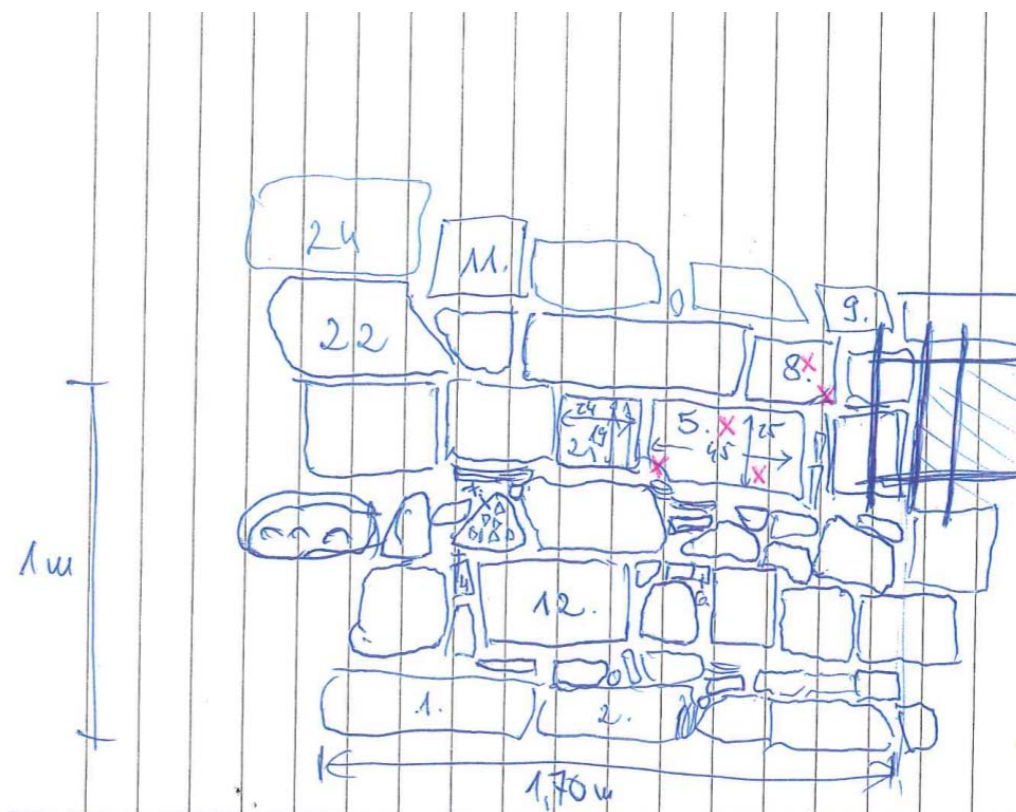
Méréseim során megtapasztaltam, hogy igen változatos kőzetek jelennek meg a falban. A mészkövek közül jelentősen sok fajta megtalálható volt ezen a falszakaszon: találkoztam finomszemű durva mészkővel (6.2. ábra 5), közepszemű durva mészkővel (6.2. ábra 9. kőzet),

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása

erősen cementált durva mészkővel, melyben kagylódarabok voltak (6.2. ábra 22. kőzet), ooidos durva mészkővel (6.2. ábra 21), tömött triász mészkővel (6.2. ábra 23) és erősen cementált forrásvízi mészkővel (6.2. ábra 25) is, de emellett volt még Hárshegyi finomszemű barna homokkő (6.2. ábra 8), Hárshegyi erősen cementált durva homokkő (6.2. ábra 27), dolomit breccsa (6.2. ábra 7), kovás márga (6.2. ábra 24) és Budai márga (6.2. ábra 12), valamint jól égetett vörös színű téglák (6.2. ábra 6) is.

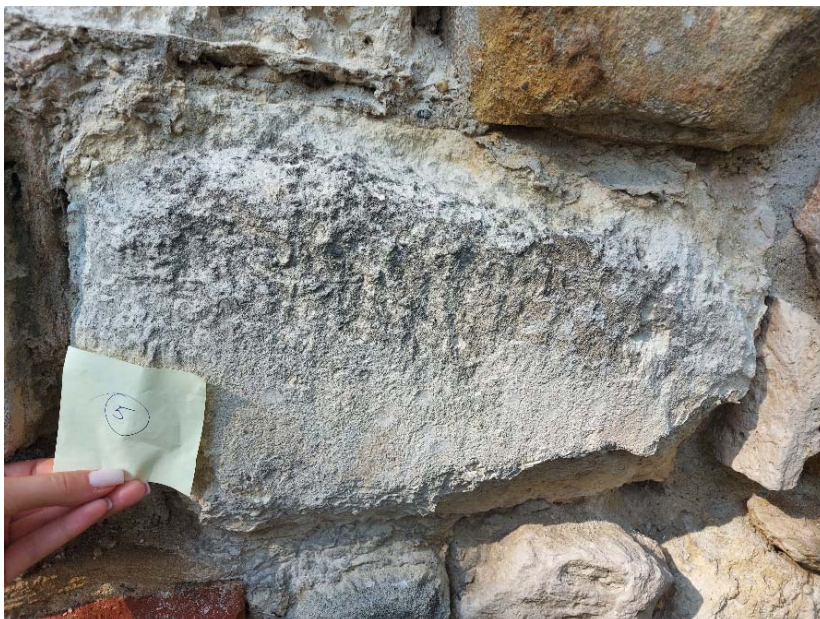


6.1. ábra A K-i várfal közeli képe



6.2. ábra A K-i várfal kőkiosztásos térképének vázlatos rajza

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



6.3. ábra Finomszemű durva mészkő, fehér mállási kéreggel (6.2. ábra 5. kőzet)



6.4. ábra Jól égetett vörös téglá



A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



6.5. ábra. Dolomit breccsa (6.2. ábra 7. kőzet)



6.6. ábra. Barna színű, finomszemű Hárshgyi homokkő (6.2. ábra 8. kőzet)



6.7. ábra Középszemű ooidos durva mészkő (6.2. ábra 9. kőzet)



6.8. ábra. Forrásvízi mészkő, falsíkkal párhuzamos rétegzéssel (6.2. ábra 11. kőzet)

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



5.9. ábra. Sárgás-szürke színű Budai márga (6.2. ábra 12. kőzet)



6.10. ábra. Szürke mállási kéreggel bevont ooidos durva mészkő (6.2. ábra 21. kőzet)



6.11. ábra Erősen cementált csigás durva mészkő kagylóhéjakkal (6.2. ábra 22. kőzet)



6.12. ábra Sárgás-fehér tömött Dachsteini triász mészkő (6.2. ábra 23. kőzet)



6.13. ábra. Halványzöldes-sárga kovás márga, Eocén bázis rétege (6.2. ábra 24. kőzet)



6.14. ábra. Barnás-sárga erősen cementált forrásvízi mészkő (6.2. ábra 25. kőzet)



6.15. ábra Középszemű, ooidos durva mészkő felületén fehér, vastag cementált zónával (6.2. ábra 26. kőzet)



6.16. ábra. Barnás-vörös színű, erősen cementált Hárshgyi durva homokkő, 1-2 cm-es kvarc kavicsokkal (6.2. ábra 27. kőzet)



6.17. ábra. Nagyon erős szemcekipergést mutató durvamészke (6.2. ábra 29. kőzet)

## A nyugati fal kőzetei

A nyugati várfalon elemzett falszakasz 1,8 m magas és 2,5 m szélességű (6.17. ábra). Az elemzett részen a kőzetek mérete eltérő, ezért egy vázlatos kőkiosztás rajzot készítettem, amin a vizsgált kőzetelemek jól azonosíthatók. Az egyes köveket a keleti falhoz hasonlóan beszámoltam a rajzon, de itt 30-assal kezdődő sorszámozást alkalmaztam (6.18. ábra).

A Ny-i várfal -akárcsak a K-i- mészkőben és homokkőben egyaránt változatos volt. Méréseim során feljegyeztem középszemű durva mészkövet (6.18. ábra 31. kőzet, 6.19. ábra és 6.18. ábra 35. kőzet, 6.20. ábra), nagy szilárdságú kovásodott andezitet (6.18. ábra 34. kőzet, 6.23. ábra), ooidos durva mészkövet (6.18. ábra 35. kőzet), valamint forrásvízi mészkövet (6.18. ábra 33. kőzet) is. Utóbbiban növényi nádszármaradványokat és elhalt növény utáni pórusokat is felfedeztem. Ezen kívül találok még finomszemű meszes kötőanyagú homokkővel (6.18. ábra 36. kőzet, 6.22. ábra), melyben kagylómoldok és egy víztiszta kalcitos repedés is volt, durva szemű kvarc homokkővel (6.18. ábra 37. kőzet), melyben jól osztályozott 1mm-es és annál nagyobb kvarc szemcséket véltem felfedezni, valamint eocén korú bioklasztos numuliteszekkel (6.18. ábra 32. kőzet). Emellett volt még a várfalban rosszul égetett téglá elszórtan nagyobb pórusokkal (6.18. ábra 38. kőzet, 6.24. ábra) és jól égetett téglá kevés apró méretű kvarc szemcsével és apró világosabb foltokkal (6.18. ábra 39. kőzet, 6.25. ábra).

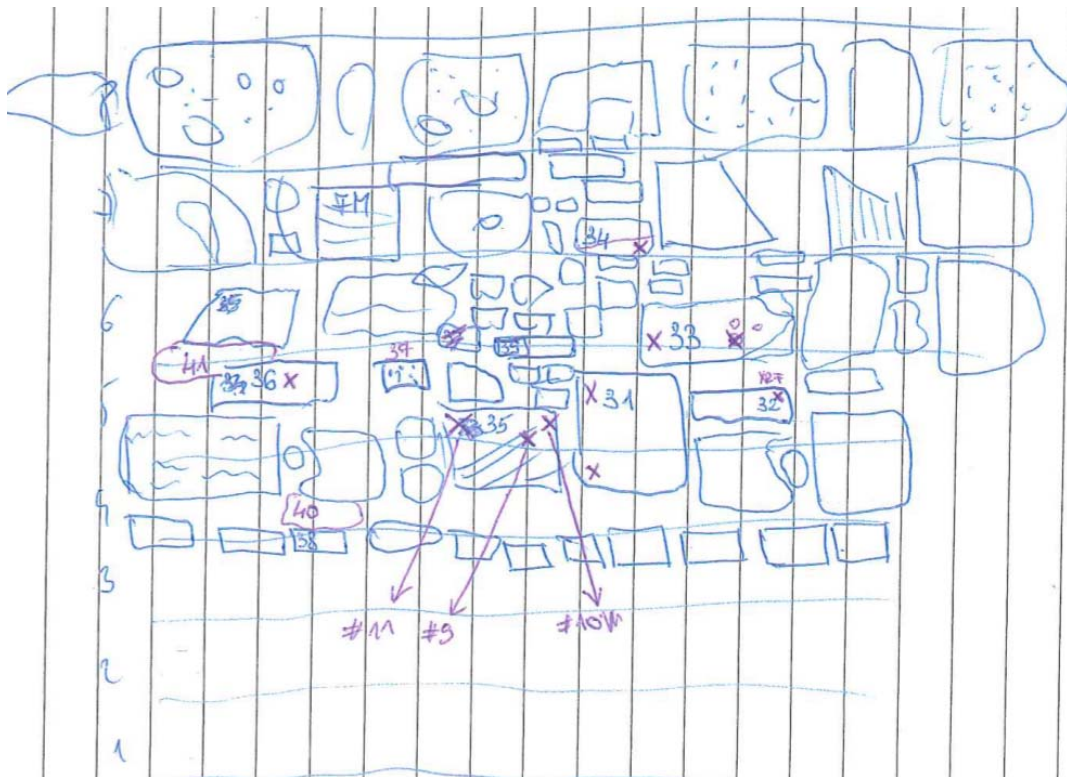
A kőzetek között falazóként és javításként kétféle habarcs található: egy idősebb, elszórtan apró fekete kőzetszemcséket tartalmazó javításra használt habarcs (6.18. ábra 40. habarcs, 6.26. ábra) és egy fiatalabb, szürke színű cementes Portland habarcs, amit a legújabb javításnak gondolok (6.18. ábra 41. habarcs, 6.27. ábra).



## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



6.17. ábra Ny-i várfal közeli képe a vizsgált falszakasról



6.18. ábra Ny-i várfal kőkiosztásos térképének vázlatos rajza



6.19. ábra. Középszemű durva mészkő, vékony, hullámos felületű, szürke kéreggel (6.18. ábra 31. kőzet)



6.20. ábra. Ooidos durva mészkő, alsó felén kereszttrétegzettséggel, felső felén felhólyagosodott mállott felülettel (6.18. ábra 35. kőzet)



6.21. ábra. Barnás-sárga finomszemű, meszes kötőanyagú homokkő, benne kagylómoldokkal és víztiszta kalcitos repedéssel (6.18. ábra 36. kőzet)



6.22. ábra. Barnás-rózsaszín színű, durva szemű kvarc homokkő jól osztályozott szögletes (1mm-es és annál nagyobb méretű) kvarcsezemcsékkel (6.18. ábra 37. kőzet)

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



6.23. ábra Szürkésárga, helyenként vöröses nagyszilárdságú kovás andezit (6.18. ábra 34. kőzet)



6.24. ábra. Halvány barnás (tejeskávés) színű kissé sárga foltos rosszul égetett téglá, elszórtan nagyobb pórusokkal (6.18. ábra 38. falazó anyag)



6.25. ábra. Vörös színű jól kiégetett téglá, kevés homok méretű kvarcsemcsével, apró világosabb meszes foltokkal (6.18. ábra 39. falazó anyag)



6.26. ábra. Sárgás szürke színű, javításra használt idősebb habarcs, apró fekete kőszemcsékkel foltokkal (6.18. ábra 40. számú fugázó anyag)



6.26. ábra Szürke színű, fiatalabb Portland cementes javító habarcs (6.18. ábra 41. számú fugázó anyag)

## 7. A kőzeteken előforduló elváltozások típusai, mállási formák

A Föld felszínén lévő kőzeteket az időjárási tényezők állandóan pusztítják, melynek következtében a kőzetek folyamatosan mállanak. A mállásnak két formáját különböztetjük meg, a fizikai és kémiai mállást, ám legtöbbször ez a két hatás együttesen érvényesül.

*Fizikai mállás*nak azt a folyamatot nevezzük, amikor a kőzetek aprózódnak, de kémiai összetételük nem változik. Ebben főként a hőmérsékletingadozás, a fagyhatás, sók kristályosodása és a növényi gyökerek feszítő hatása játszik jelentős szerepet.

*Kémiai mállás* alatt egy oldódási folyamatot értünk, melynek legfőbb hatótényezője a víz. A levegőből széndioxid felvétele után enyhén savas oldószerré váló víz képes lesz oldani a kőzeteket. Leggyakoribb reakciók az oldódás, oxidáció, hidratáció és hidrolízis. Magmás és metamorf, valamint üledékes kőzetek esetén egyaránt beszélhetünk kémiai mállásról.

A márványból, mészkőből, homokkőből és különböző tufa alapanyagokból készült műtárgyak először elszíneződnek, majd felületük porladni kezd és leválások jönnek létre rajtuk. A durva mészkővekre jellemző mechanikai mállási forma a kéregleválás. A kőzetben a mállás hatására keletkező gipsz kristálynövekedése során fellépő feszültség meghaladja a kőzet nyomó- és húzószilárdságát ennek hatására szétfeszítve a pórusokat. A kéreg leválása a mikrorepedések kialakulásával kezdődik, amelyek később felnyílnak, és végül a kéreg leválásához vezetnek. A kéregleválás fizikai folyamatát három fő tényező befolyásolja: a gipszkristályosodás, a jégkristályosodás és a hőingadozás.

Az édesvízi mészkövön kialakult mállási kéregek kevésbé hajlamosak a leválásra. Ennek oka egyrészt az, hogy a kéreg alatt az édesvízi mészkőben nem található egy fellazult zóna, másrészt az édesvízi mészkő nagyobb szilárdsági paraméterekkel rendelkezik. A durva mészkő kőzetanyaga a kéreg leválásával rohamosabb pusztulásnak indul, mint az édesvízi mészkőé.

A mállási formák közül megtaláltam a fehér kifakult felületeket (7.1. ábra), a fehér (7.2. ábra) és fekete (7.3. ábra) mállási kérgeket és a kéreg leválását is (7.4. ábra, 7.6. ábra). A felületi karsztosdást visszaoldódást a mészkő felületen látni (7.5. ábra). A kéreg leválásával a durva mészkő tönkremegy (7.7. ábra) vagy fagy és sók hatására szemcsekipergést mutat (7.8. ábra).

## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



*7.1. Fehér kifakult mállási zóna*



*7.2. Fehér mállási kéreg durva mészkövön*

*7.3. Fekete mállási kéreg durva mészkövön*

A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



7.4. Kérges leválás eocén mészmárgán



7.5. Kissé visszaoldott felület

7.6. Leveles leválás



## A Budai Vár kőfalzatának elváltozása



*7.7. Levált mállási kéreg alatti  
fellazult zóna*

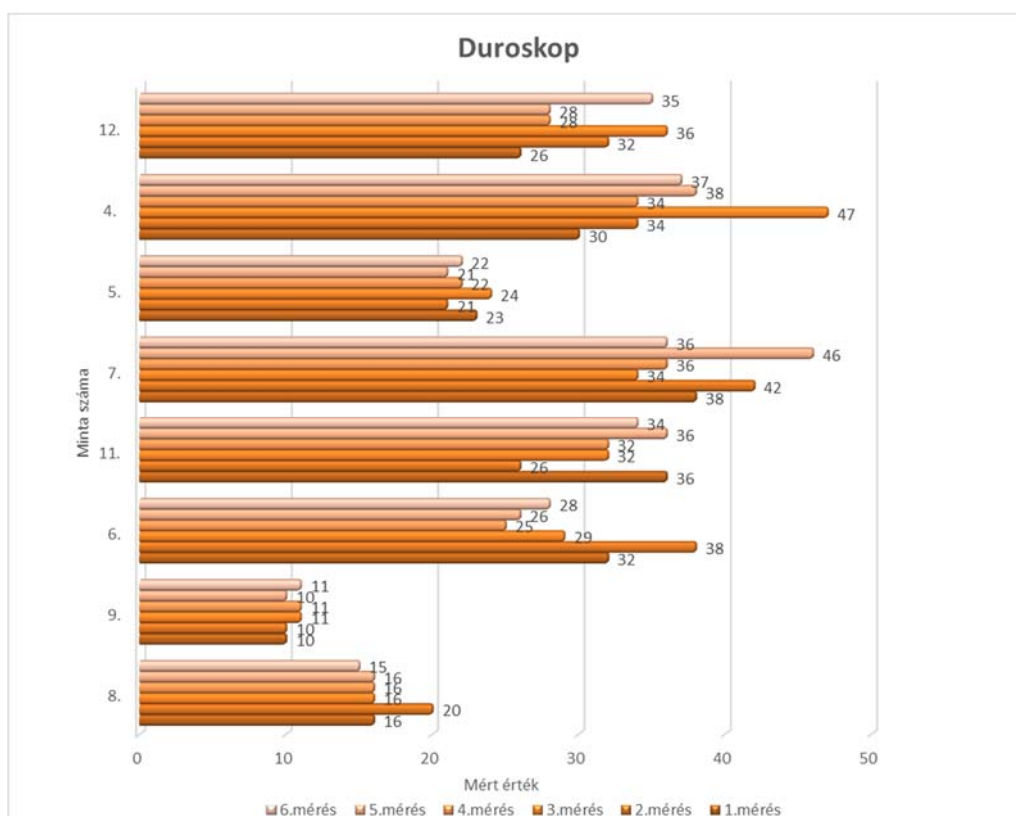


*7.8. Erős szemcsekipergés*

## 8. A kőfelületek fizikai tulajdonságai

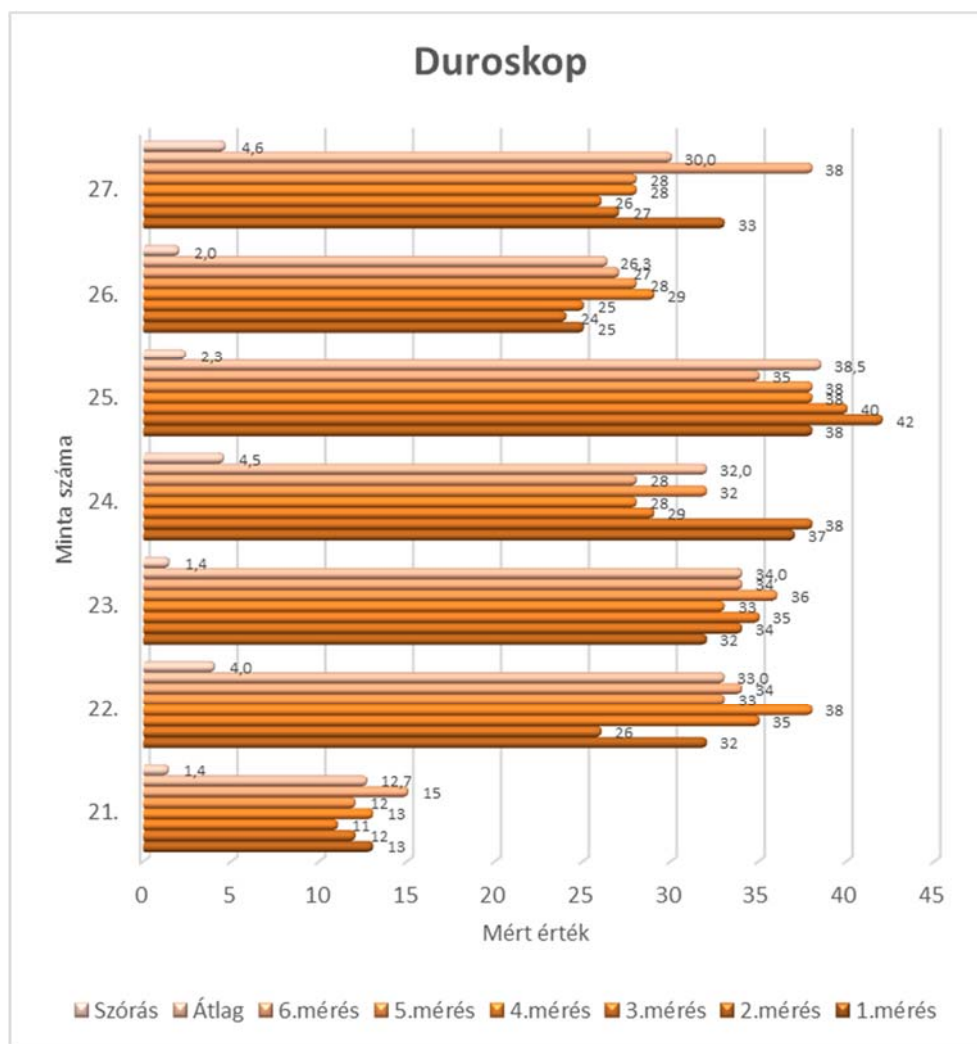
### Duroskop felületi szilárdság mérési eredmények

A K-i fal Duroskopos méréseiből készült oszlopdiaagramról (8.1. ábra) is egyértelműen és jól láthatóan leolvasható, mért értékek kimagaslóak a 4-es, valamint a 7-es számú kőzetben. A 4-es számú egy jól égetett téglából készült anyag, ami egy igencsak nagy nyomószilárdságú kemény anyag, ahogyan ez a mérésből is bebizonyosodott. Ezzel szemben a 7-es számú kőzet viszont egy dolomit breccsa, melynél valószínűleg inkább a durva szemcsés törmelékért ütések mutathattak a többi eredményhez képest eltérő értékeket.



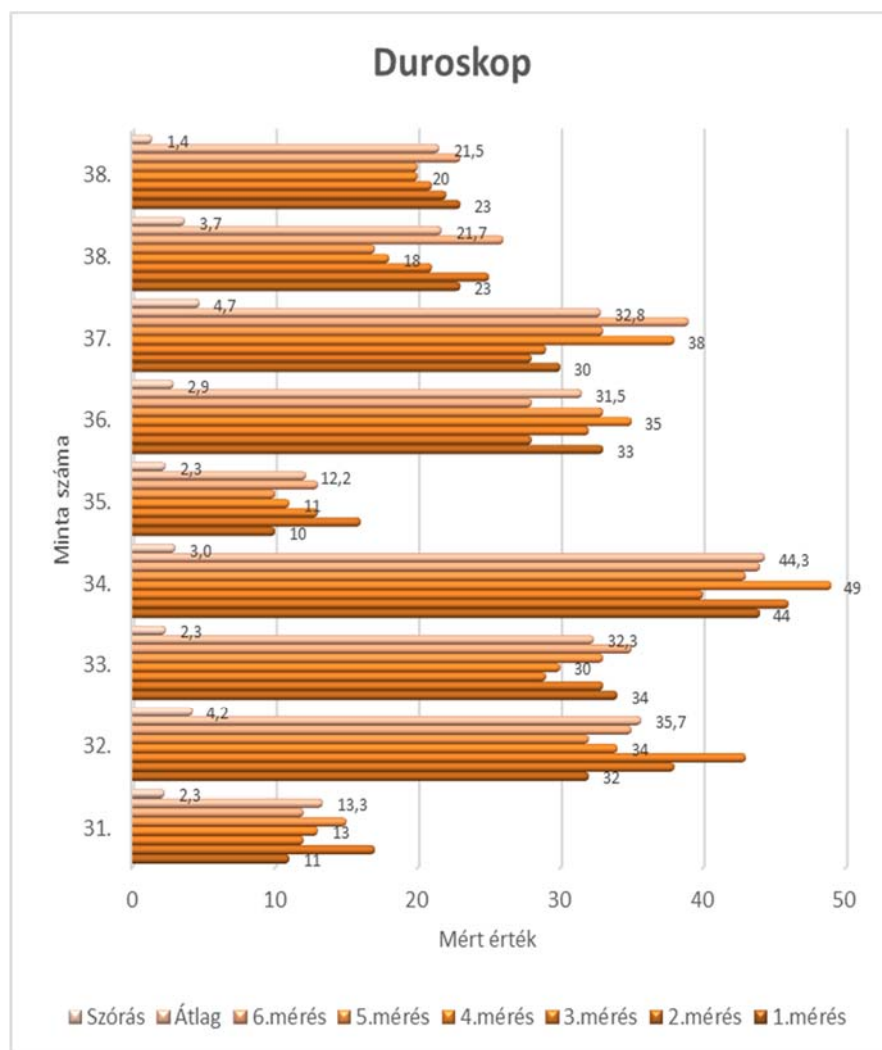
8.1. ábra. Duroskop mérési eredmények (K-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

Szintén a K-i falon végzett másik mérés sorozatnál a 25-ös számú, cementált forrásvízi mészkő mutatta a legnagyobb értékeket, de összességében majdnem egyforma értékeket mutatott a többi kőzet is, kivéve 21.-es számú ooidos durva mészkövet, amelynél viszont feltűnően alacsony értékeket olvashatunk le a diagramról (8.2. ábra).



8.2. ábra Duroskop mérési eredmények mészköveken (K-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

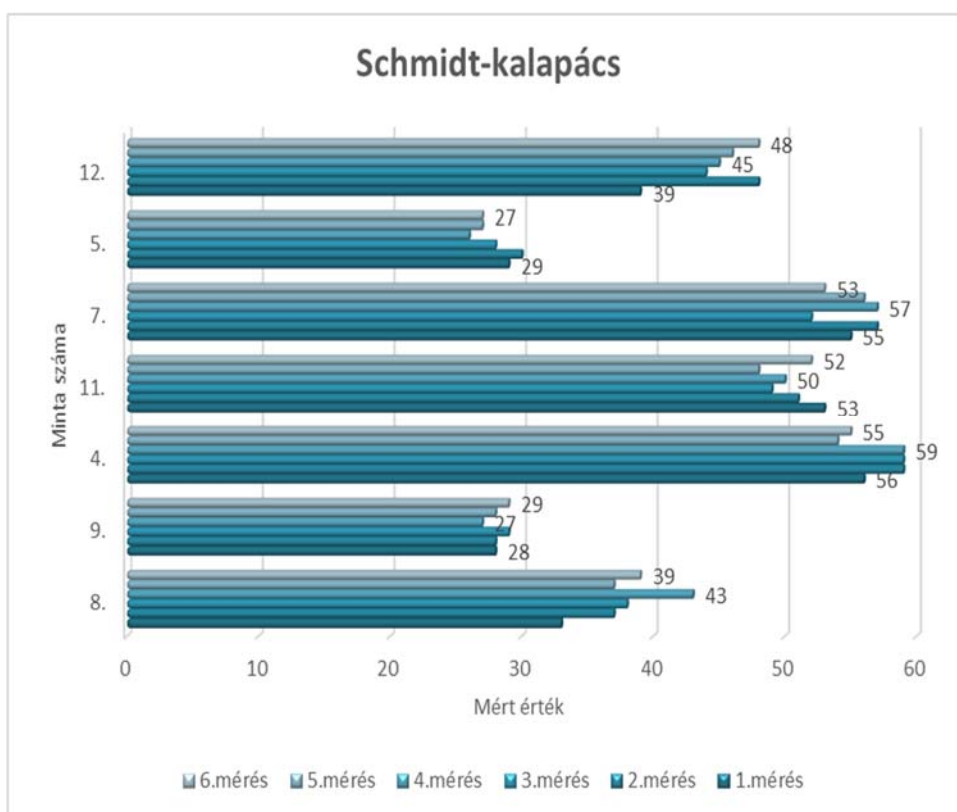
A Ny-i falszakaszon végzett mérések közül egy kőzet mutatott kimagaslóan eltérő eredményt, a 34-es számú erősen cementált kovás andezit (8.3. ábra). Ehhez képest a 35-ös számú ooidos durva mészkő és a 31-es számú közép szemű durva mészkő rendkívül kis értékeket mutattak. Ennek oka az ooidos mészkőnél a hullámos felületű fekete kéreg, a közép szemű mészkőnél pedig a felhólyagosodott mállási kéreg jelenléte.



8.3. ábra Duroskop mérési eredmények (Ny-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

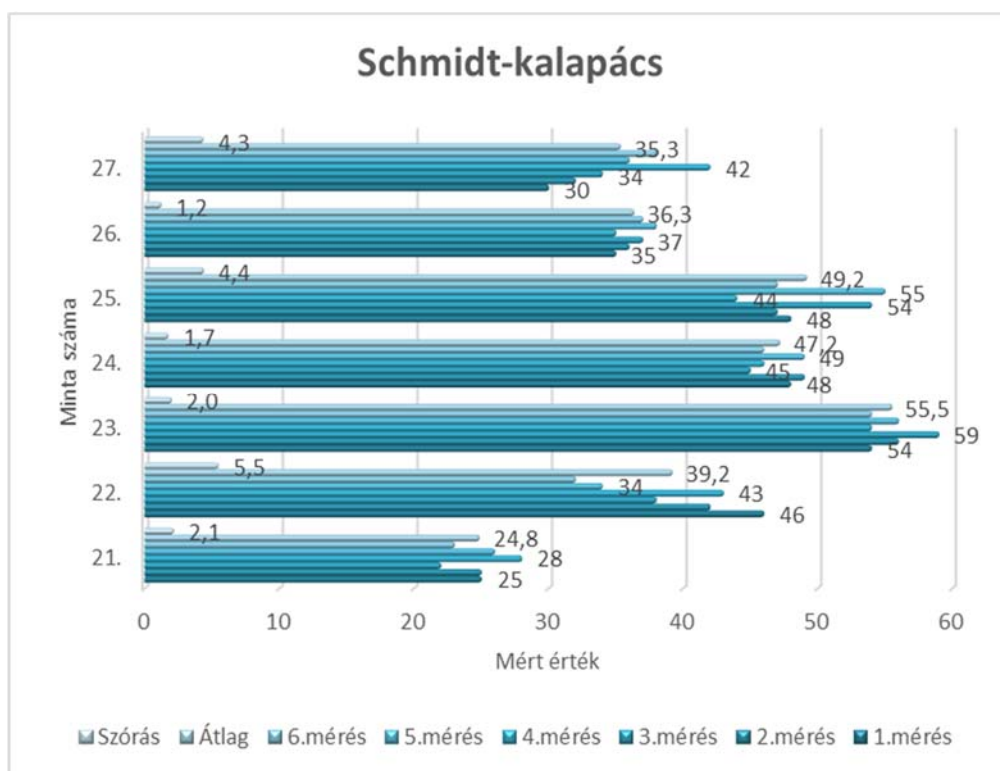
### Schmidt-kalapáccsal kapott felületi szilárdság mérési eredmények

A K-i falnál végzett Schmidt-kalapáccsal való mérések eredményében 4-es 7-es és 11-es számú kőzetek mutattak magas értékeket. Ez a 4-es és 7-es számú mintánál a már a Duroskopnál is említett okoknak tudható be. A 11-es számú forrásvízi mészkő esetében viszont a magas számok a kőzet igencsak nagy nyomószilárdságáról tanúskodnak (8.4. ábra).



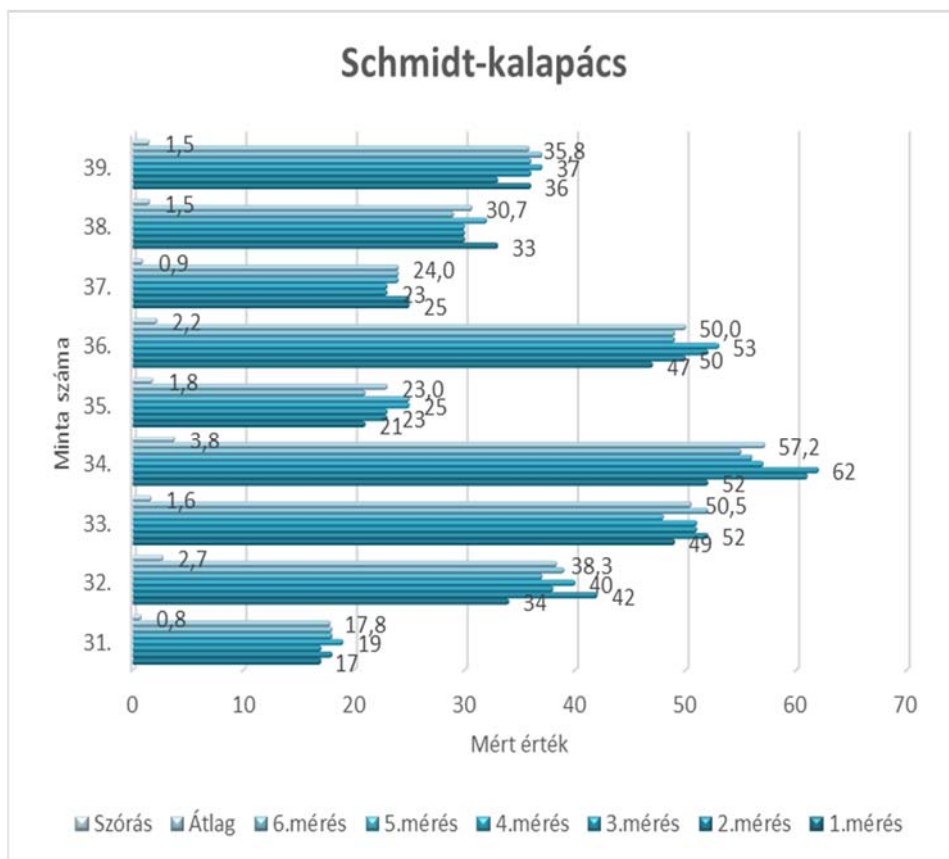
8.4.ábra Schmidt-kalapács mérési eredmények (K-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

A K-i falon végzett másik Schmidt kalapácsos mérési sorozatnál a 23-as számú tömött triász mészkő és a 25-ös számú erősen cementált forrásvízi mészkő mutatták a legmagasabb visszapattanási értékeket nagy nyomószilárdságuknak köszönhetően (8.5. ábra). A 21-es számú ooidos durva mészkő ehhez képest csak sokkal kisebb értékeket mutatott a rajta megjelenő fehér kéreg miatt.



8.5. ábra Schmidt-kalapács mérési eredmények (K-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

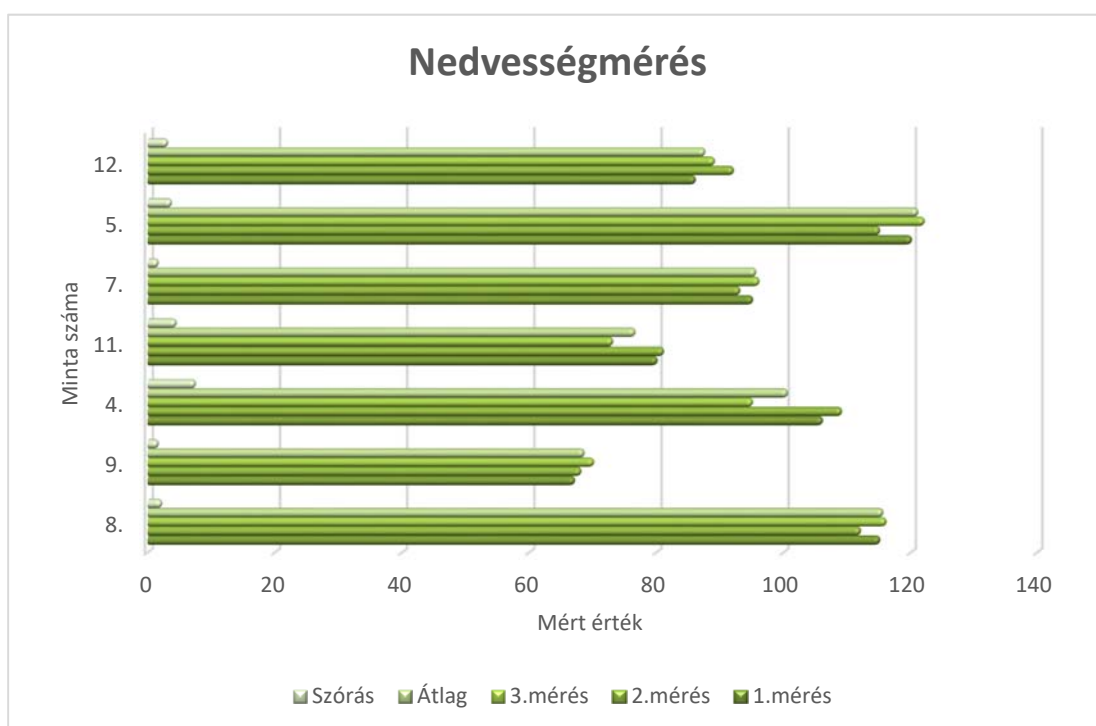
A Ny.-i falon végzett Schmidt kalapácsos mérések során a 33-as számú forrásvízi mészkő, 34-es számú nagy szilárdságú kovás andezit és a 36-os számú finomszemű, meszes kötőanyagú homokkő mutatták a legmagasabb visszapattanási értékeket (8.6. ábra). A 31-es kőzet igencsak alacsony értékei a Duroszkopos mérés után itt is ismét megjelentek.



8.6. ábra Schmidt-kalapács mérési eredmények (Ny-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

## Nedvesség mérés eredmények

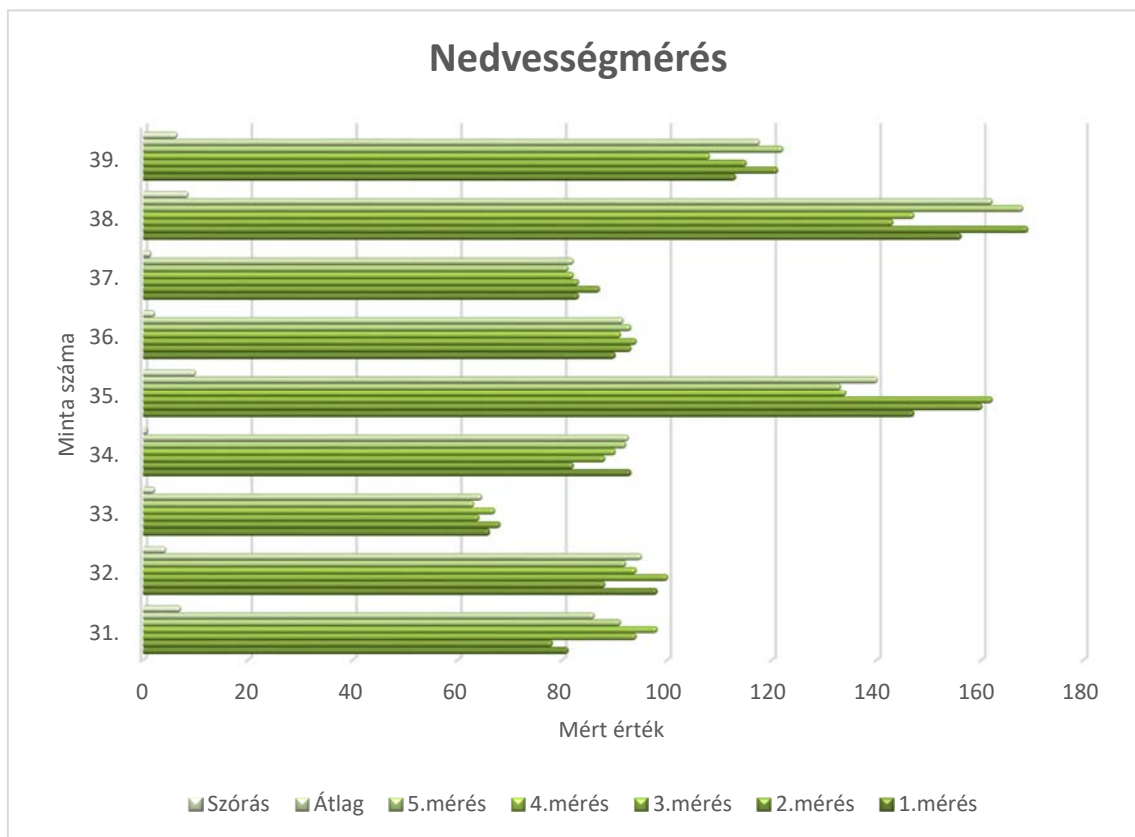
A nedvesség mérések alapján a K-i falon az 5. és 8. számú kőelem a mérés idején nagy nedvesség tartalmat mutatott (8.7. ábra). Az 5. kőelem durva mészkő, amely nagy porozitású és így nedvszívó képességű, míg a 8. kőelem egy finomszemű hárshegyi homokkő volt. A legkisebb nedvesség tartalmat a 9. kőzet mutatta, amely szintén durva mészkő. Ennek oka az lehet, hogy az ablaknyílás mellett helyezkedik el így jól át tud szellőzni, hamar kiszárad.



8.7. ábra Nedvességmérés (K-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

A Ny-i falon nedvesség mérések alapján az 38. és 35. számú kőelem a mérés idején nagy nedvesség tartalmat mutatott (8.8. ábra). Az 35. kőelem egy kereszttrétegzett erősen porózus durva mészkő, amely nagy porozitású és így nedvszívó képességű. A 38. számú falazó elem egy rosszul kiégetett, erősen porózus barnás színű téglát volt. A legkisebb nedvesség tartalmat a 33. jelű kőzet mutatta, amely egy nagyon kis porozitással rendelkező forrásvízi mészkő.





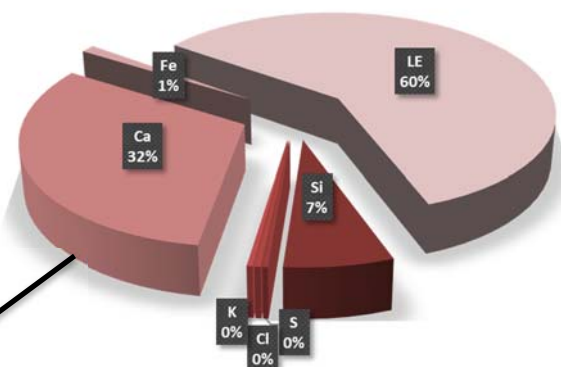
8.8. ábra Nedvességmérés (Ny-i fal) (közetszámozást és leírást ld. 6. fejezetben)

## 9. Kőfelületek kémiai összetétele

A kőfelületek kémiai összetételét és az esetleges elváltozásait XRF elem analizátorral lehetett meghatározni. A kiválasztott mérési helyeket a közetszámok alapján lehet azonosítani. Az egyes mért kőelemnek a közettani jellemzőit és leírását a 6. fejezet ismerteti.

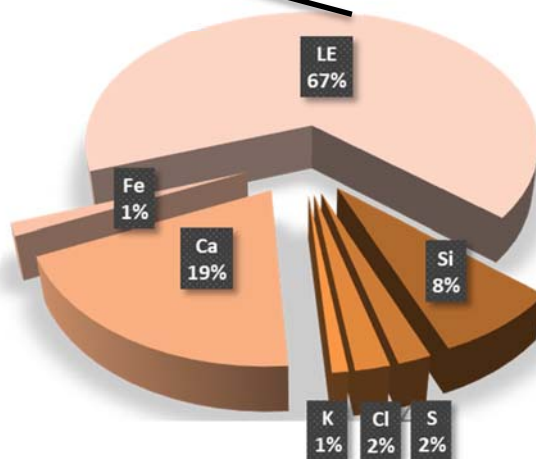
A mérési eredményeknek a legfőbb adatait kőfelületekre vonatkozóan a mért közettípusok szerint mutatom be. A keleti fal kőelemeinél a számozás 1-29 közötti érték lehetett, míg a nyugati falnál a 30-tól kezdődő számozást alkalmaztam.

- Durva mészkő (31-es minta).

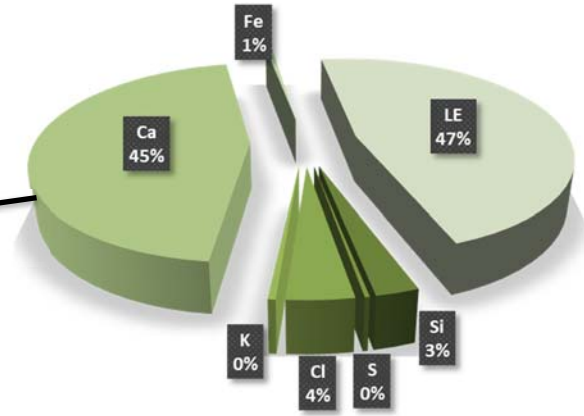


9.1. ábra Középszemű durva mészkő, vékony fekete kéreggel

Ebben a kőzetben legnagyobb százalékban (19%) a kalcium (Ca) van jelen. Ennek oka, hogy maga a mészkő egy üledékes kőzet, melynek legalább 90%-át kalcium-karbonát ( $\text{CaCO}_3$ ) alkotja. Emellett megfigyelhető még a szilícium jelenléte is, amely az ülepedő por jelenlétére utalhat.



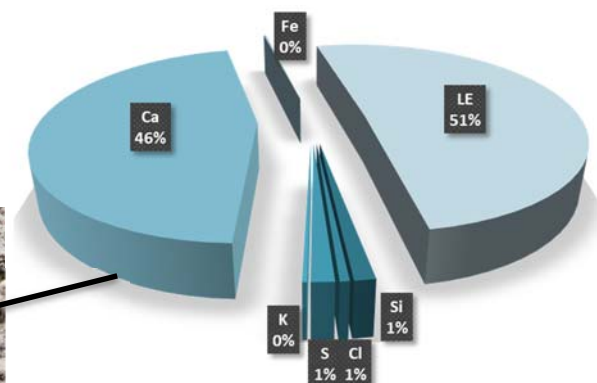
- Eocén mészkő (32-es minta)



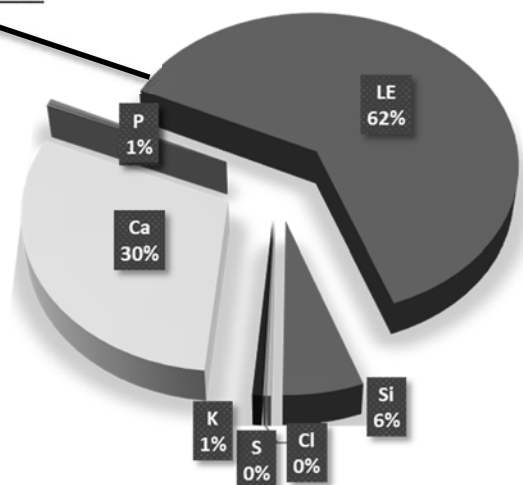
9.2. ábra Eocén bioklasztos numulitesek

Ezt az Eocén korú kőzetet igen nagy százalékban (45%) kalcium alkotja, amely a karbonátos üledékképződésre utal. Emellett az alkotó elemek között 4%-ban megjelent még a klór (Cl) is.

- Forrásvízi mészkő (33-as minta)



9.3. ábra Forrásvízi mészkő

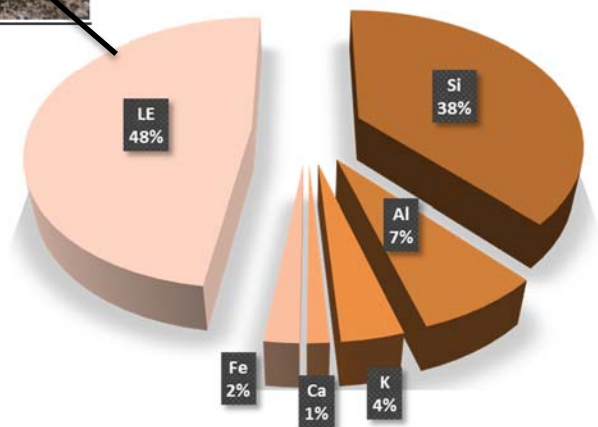


A forrásvízi mészkőben - a korábban említett durva mészkőhöz hasonlóan- ugyancsak nagy mennyiségű kalcium (Ca) és szilícium (Si) van, az őt alkotó karbonátoknak és szilikátoknak köszönhetően. A mészkő üregeiben mért nagyobb Si és S tartalom a légszennyezésre utal.

- Kovás andezit (34-es minta)

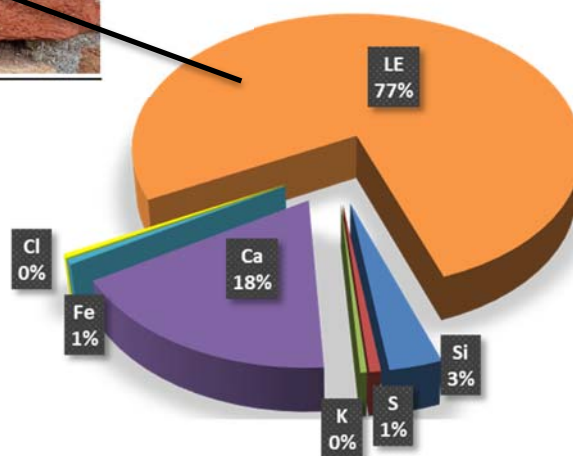
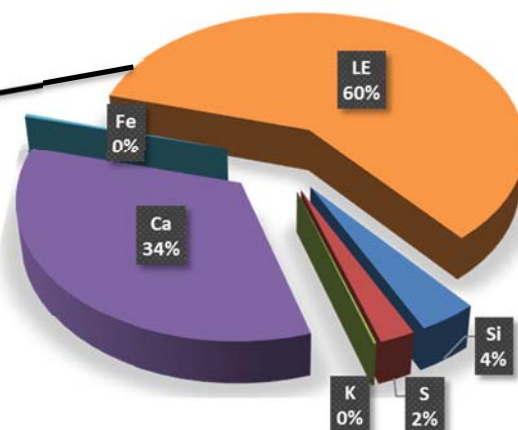
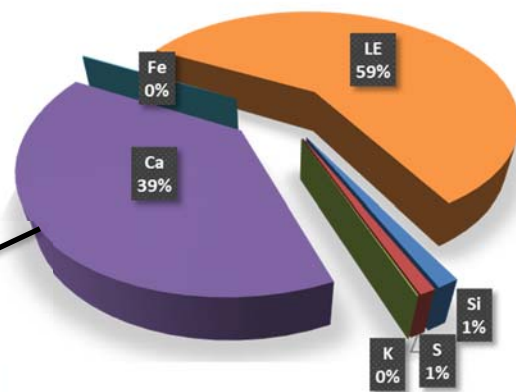


9.4. ábra Erősen cementált kovás andezit



Ezt az erősen kovás andezitet az eddigiekhez képest rendkívül nagy százalékban (38%) alkotja szilícium (Si), míg az eddigi kőzetekben túlnyomóan résztvevő kalcium (Ca) itt csak csekély mennyiségben (1%) van jelen. A magmás kőzetnek megfelelően Al és K tartalma is jelentősebb.

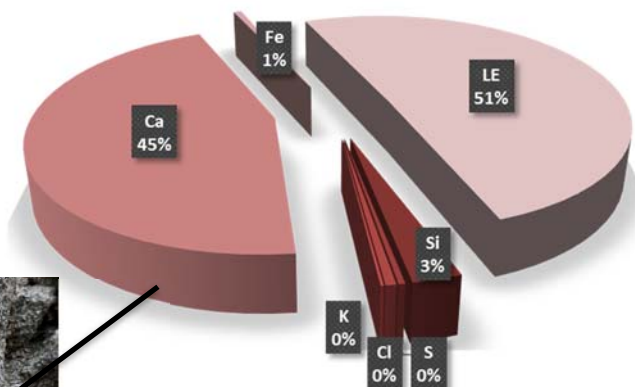
- Ooidos durva mészkő (35-ös minta)



9.5. ábra Ooidos durva mészkő, alsó felén kereszttrétegzettséggel  
felső felén felhólyagosodott mállással

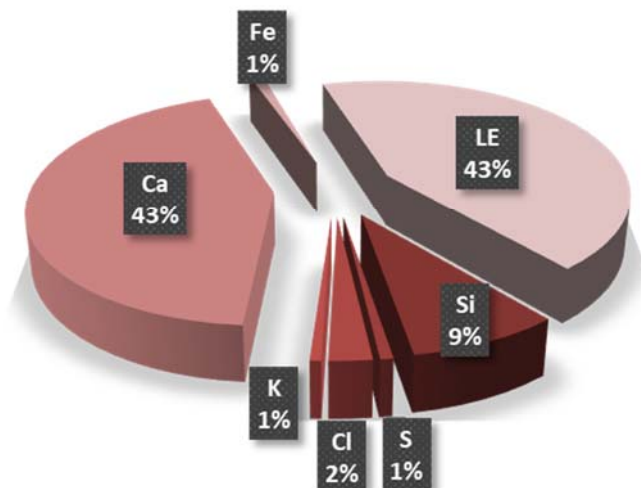
Az ooidos durva mészkő összetételében hasonló eredményeket mutatott, mint az eddigiekben említett mészkövek, azzal a különbséggel, hogy itt az alsó felén található kereszttrétegzetségben kis mennyiségben ugyan (0,4%), de klórt (Cl) is sikerült mérnünk, ami a só jelenlétére utal. A kimutatott kén pedig összefügg a légszennyezéssel, mert a gipszhez köthető.

- Finomszemű homokkő (36-os minta)



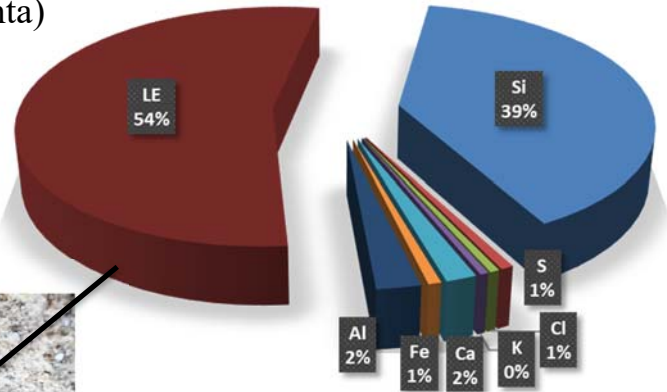
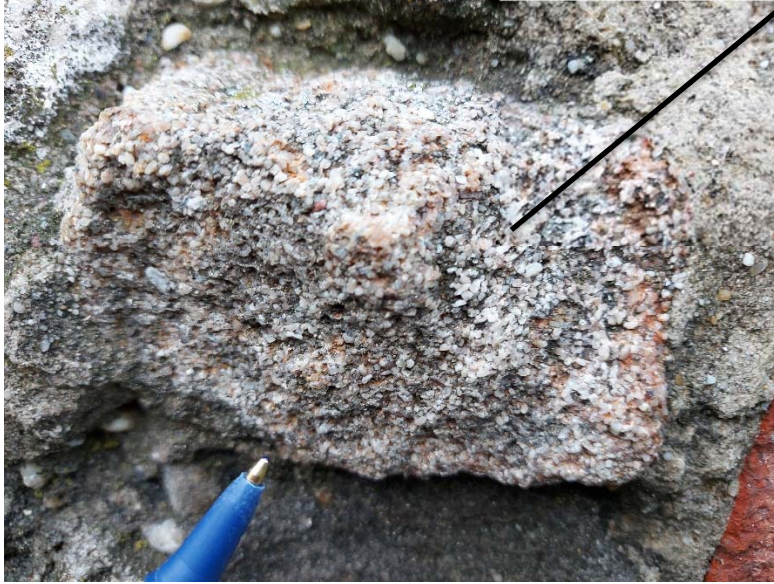
9.6. ábra Finomszemű, meszes kötőanyagú homokkő

*kagylómoldokkal és víztiszta kalcitos repedéssel*



Ez a finomszemű homokkő -az eddig mért mészkövekhez hasonlóan- legnagyobb százalékban kalciumot (Ca: 43 %), szilíciumot (Si: 9%) és klórt (Cl: 2%) tartalmazott.

- Durva szemű kvarc homokkő (37-es minta)

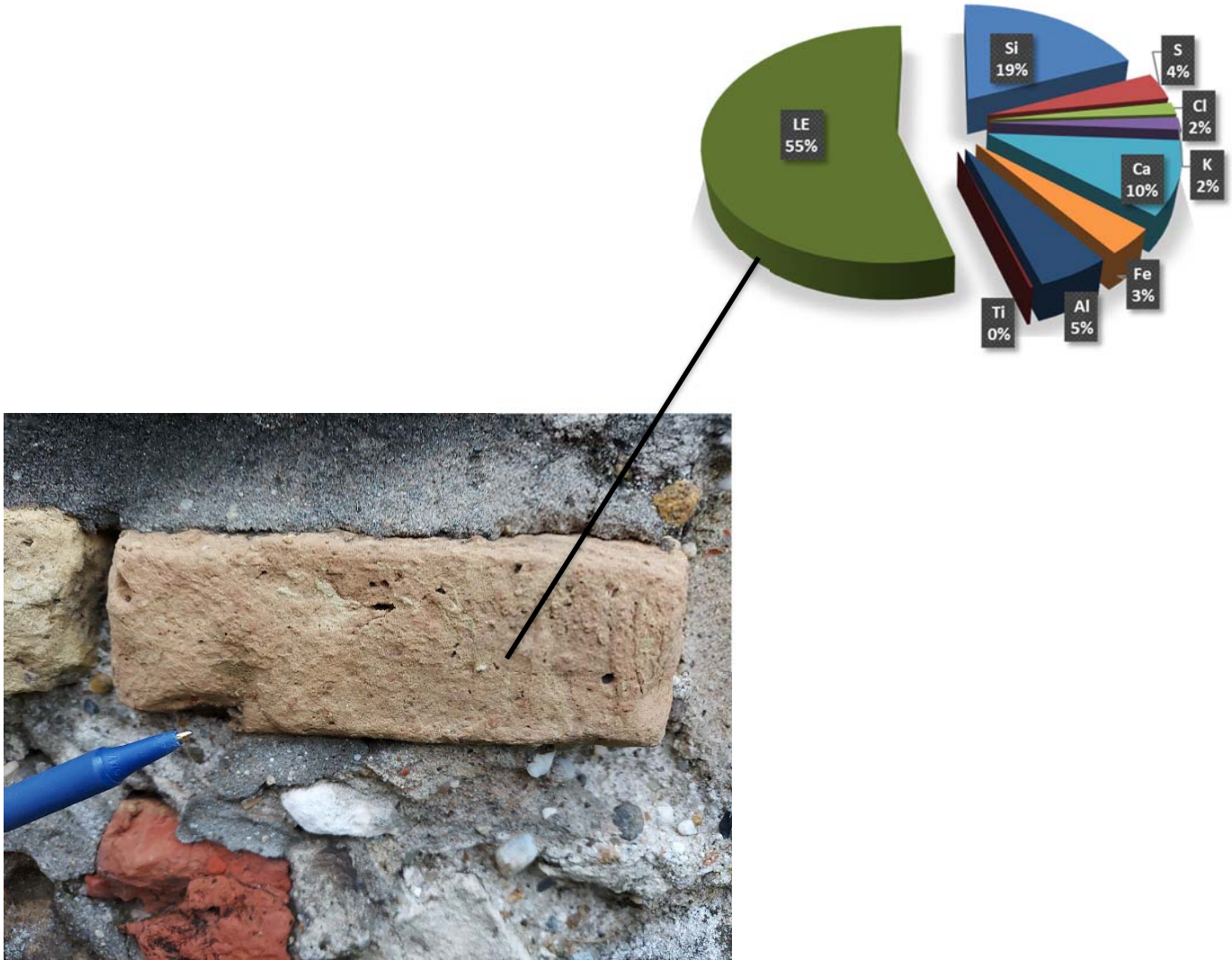


9.7. ábra Durva szemű kvarc homokkő

Ebben a durva szemű kvarc homokkőben nagy mennyiségű szilíciumot (Si: 39%) mértünk, de emellett 2%-ban fellelhető volt még az alumínium is (Al).



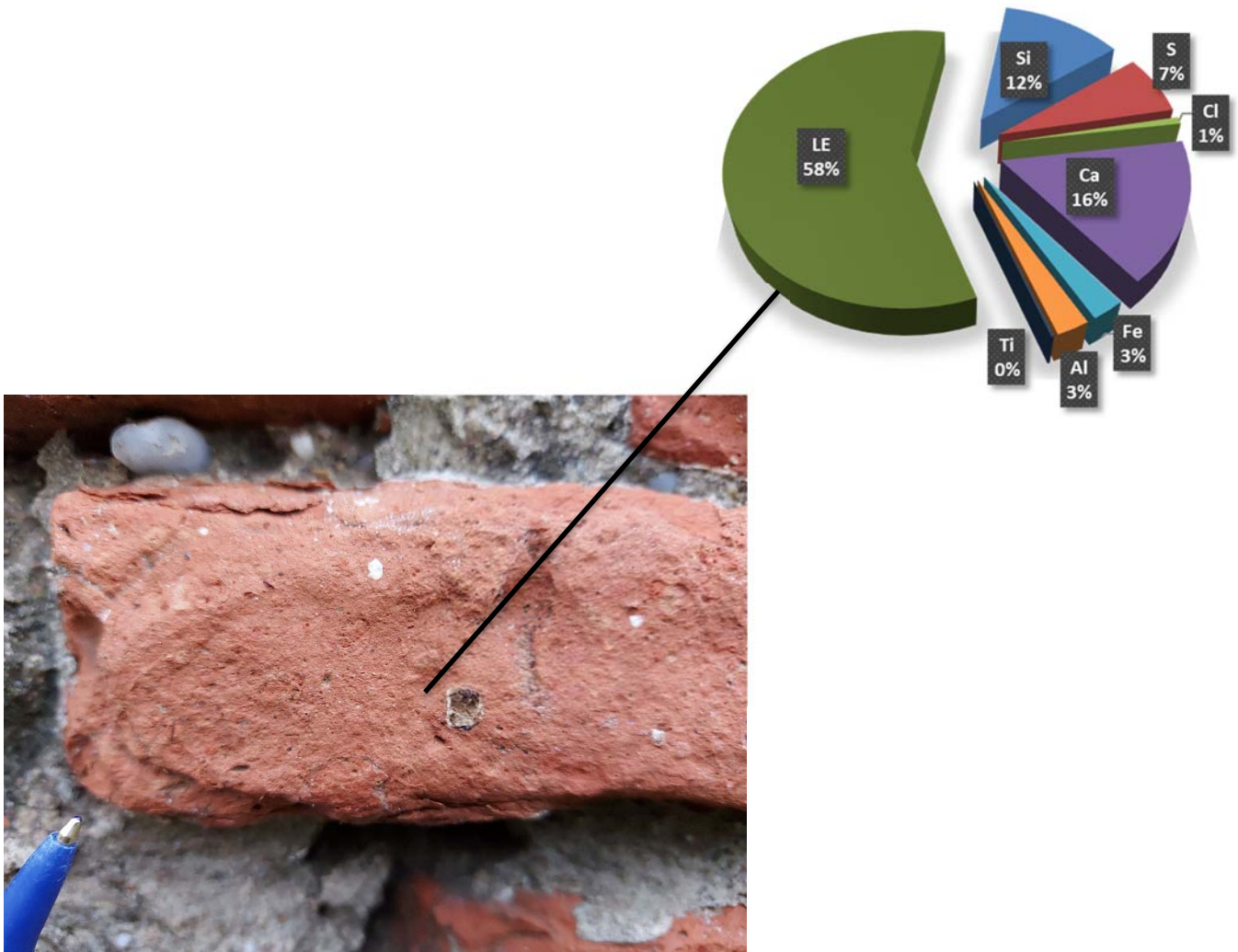
- Rosszul égetett tégl (38-as minta)



9.8. ábra Barna rosszul égetett tégl

Ez a barnás színű rosszul égetett tégl legnagyobb százalékban szilíciumot (Si), kalciumot (Ca) és alumíniumot (Al) tartalmazott. Emellett megjelent benne még a titán (Ti) is.

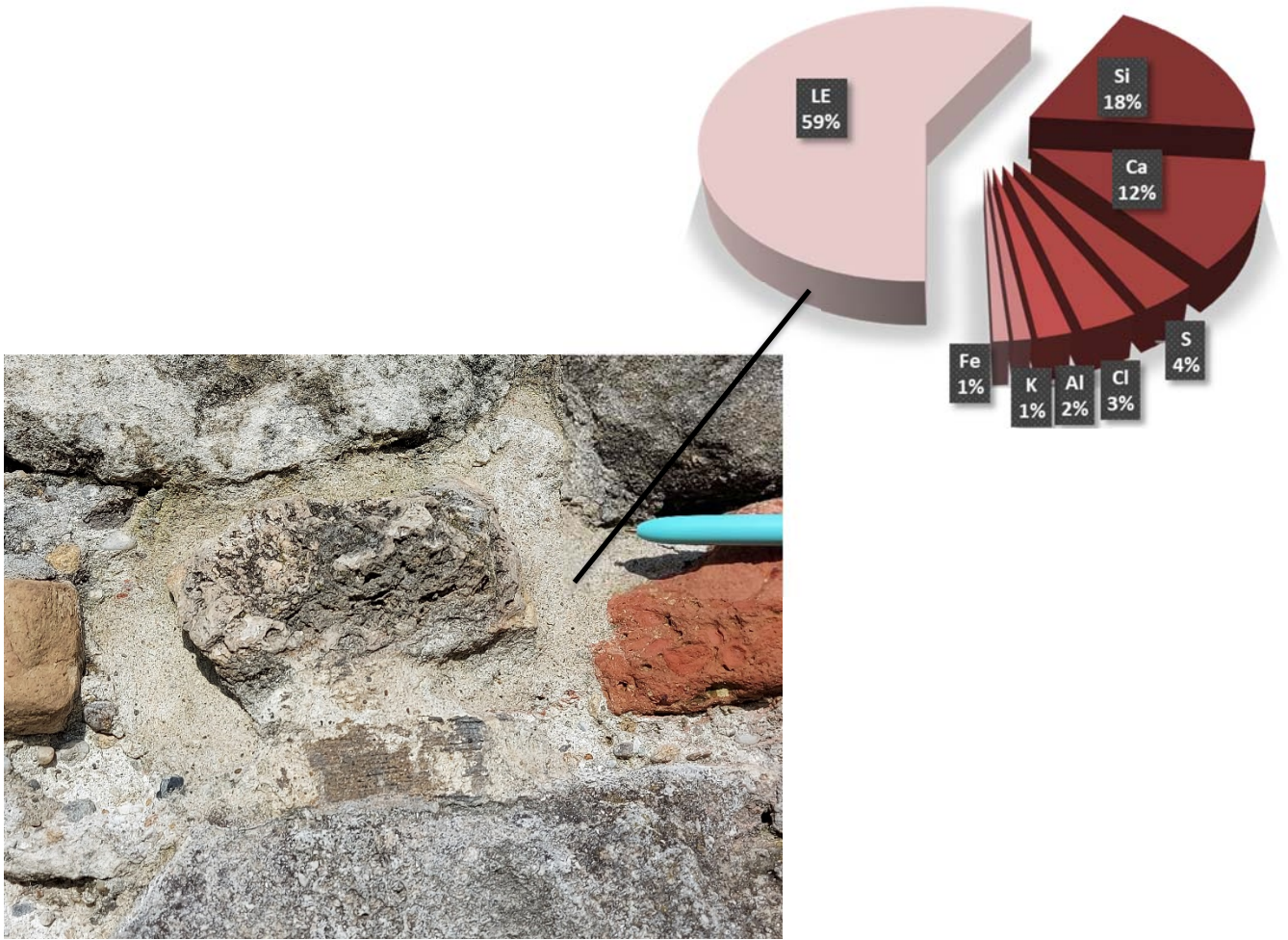
- Jól égetett tégl (39-es minta)



9.9. ábra Vörös jól égetett tégl

A vörös színű jól égetett tégl az előző barna téglához hasonlóan legnagyobb százalékban szilíciumot (Si), kalciumot (Ca) tartalmazott, de említésre méltó még a kén (S), vas (Fe) és az alumínium (Al) tartalma is. Ezek mellett megjelent benne még a titán (Ti). Összehasonlítva a barna téglával kevesebb szilíciumot és több kalciumot tartalmaz és alumínium tartalma is kisebb.

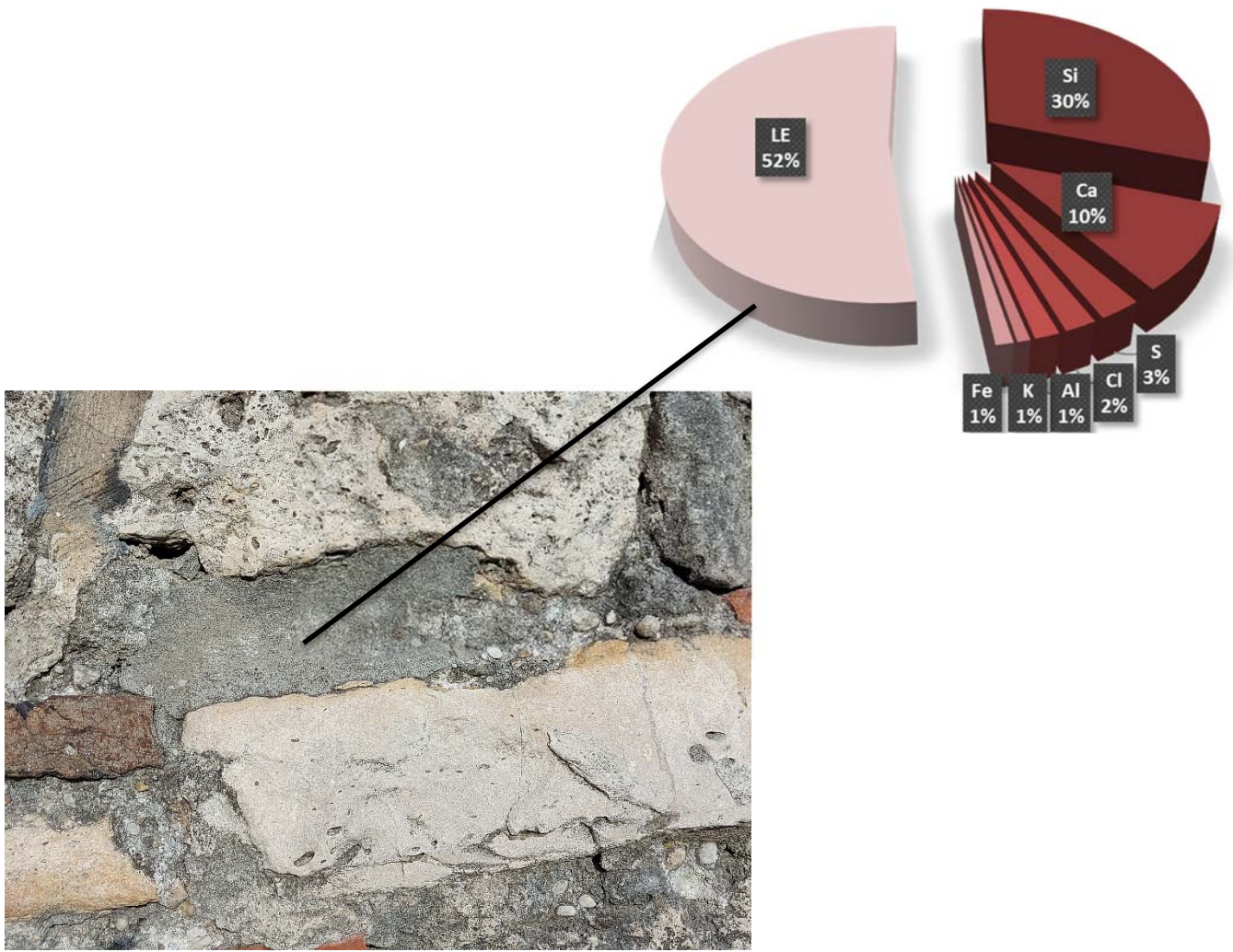
- *Idős kiegészítő habarcs (40-es minta)*



9.10. ábra Idősebb habarcs, apró fekete közetszemcsékkel

A habarcs általában a téglák és kövek falazásnál használt kötőanyaga. Mész, homok és víz összekeverésével készül. Ennek az idősebb habarcsnak a két legfőbb összetevője a kalcium (Ca) (12%) és a szilícium (Si) (18%), der 4%-nyi ként is tartalmaz.

- Fiatal habarcs (41-es minta)



9.11. ábra Fiatalabb cementes Portland habarcs

Ez a kőkiegészítés az előzőnél fiatalabb és kisebb szilárdságú Portland cement tartalmú habarcs. Legnagyobb százalékban -az előző idős habarcséhoz hasonlóan- ugyancsak kalciumból (Ca) és szilíciumból (Si) tevődik össze, de a Si aránya jóval jelentősebb (30%), mint az idősebb habarcsnál.

## 10. Környezeti hatások okozta elváltozások

A vizsgált várfal szakaszai a város központi, levegőszennyezésnek kitett részén található, így nagy mértékben ki vannak téve a légszennyezésnek.

Levegőszennyezőnek nevezzük azokat az anyagokat, amelyek olyan mértékben jutnak a levegőbe, hogy az embert és környezetét károsítják, vagy anyagi kárt okoznak (Bozó et al. 2006).

Forrásukat tekintve beszélhetünk természetes és mesterséges (emberi) forrásból származó légszennyezőkről. A különböző kőzetek károsodásában a környezeti tényezők és az emberi tevékenység okozta légszennyezés együttesen játszik szerepet (Jacobson 2002). Környezeti tényező lehet az időjárás (pl. szél, csapadék, fagy), vagy a különböző állatok és élőlények (pl. rágcsálók, ízeltlábúak) rongáló hatása. A levegőt szennyező anyagok főként a tömegközlekedés, ipari tevékenység és egyéb építkezésből vagy háztartási tevékenységből származnak (Bozó et al. 2006).

A levegőszennyező anyagok lehetnek gázok, porok, ködök vagy füstök. A poroknak két csoportja van: egyik az ülepedő por (1000-10  $\mu\text{m}$ ), másik a lebegő por (10-0,1  $\mu\text{m}$ ) (Jacobson 2002). Az építkezésből és a kipufogókból származó szálló por nagy mértékben hozzájárul a mállási jelenségek kialakulásához. Összetevőiben főleg kőzetalkotó elemeket (szilíciumot, kalciumot, vasat, alumíniumot, magnéziumot, káliumot és oxigént) aromás és alifás szerves vegyületeket halogéntartalmú szerves vegyületeket, nitrátokat, szulfátokat és egyéb sókat, szilikátokat tartalmaz (Giere és Querol 2010).

A helyszíni vizsgálatok során látható elváltozásokat lehetett megfigyelni a kőzeteken. Így találtam fekete mállási kérget (7.3. ábra) amely a korábbi elemzések alapján (Amoroso és Fassina 1983, Ozga et al 2014) egyértelműen légszennyezéshez köthető. Ilyen fekete mállási kérgeket már találtak Budapesten is (Török 2003, Török és Rozgonyi 2004), amelyek azt mutatják, hogy a légszennyezés a Budai oldalon és Vár területén is jelentős. A méréseim alapján ezekben a fekete mállási kérgekben (31-es kőzet, 9.1. ábra) nagyobb arányban megtalálható a szilícium és kimutatható a kén is. Előbbi az ülepedő porra utal (Bonazza et al. 2005, Török et al. 2011), míg utóbbi a gipsz jelenlétét mutatja (Amoroso és Fassina 1983). A fehér mállási kéreg is gipszes összetételű a budapesti korábbi mérések alapján (Török 2003), ami itt is igazolható.

A felületi szilárdság méréssel (Duroskop és Schmidt kalapács) ki lehet mutatni a környezeti hatásokra bekövetkező elváltozásokat (Török 2003, Viles et al. 2010). A vizsgált falaknál látható, hogy a legnagyobb visszapattanási értéket a nagy szilárdságú mállásra nem vagy csak alig hajlamos kőzetek adták így kovás andezit (8.3. ábra, 8.6. ábra) vagy a tömött mészkő, míg a legkisebb adatokat a durva mészkövön lehetett mérni a Duroskoppal (8.3. ábra). A forrásvízi mészkő és triász korban keletkezett tömött mészkő is nagy Schmidt kalapács visszapattanási értéket adott (8.5. ábra).

Emellett a víz sem elhanyagolható tényező. A csapadékvíz oldó hatása igen jelentős szerepet játszik a kőzetek károsodásában, főképpen a fagyási-olvadási ciklusok jelentősek (Winkler 1968). Erre és a só kristályosodásra utaló jeleket mutatott a durva mészkő (szemcsekipergés 6.17. ábra). Különösen a karbonátokban gazdag kőzetek pl. mészkő, hajlamosak víz és atmoszférikus gázok hatására oldódásnak indulni, felületük visszaoldódik és kifakulhat (7.1. ábra).

Véleményem szerint ezen hatások együttes jelenléte járult hozzá leginkább a Budai várfal kőzeteinek károsodásához.

## Felhasznált irodalom

- Amoroso, G.G., Fassina, V. 1983. *Stone Decay and Conservation*. Elsevier, Amsterdam, 453p.
- Bonazza, A., Sabbioni, C., Ghedini, N. 2005. Quantitative data on carbon fractions in interpretation of black crusts and soiling on European built heritage. *Atmospheric Environment*, 39, 2607–2618.
- Bozó, L., Mészáros, E., Molnár, Á. 2006. *Levegőkörnyezet*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 251p.
- Hajnal, G., Karay Gy., Görög P. 2012. A Várhegy földtana. In: Hajnal G., Görög P. (szerk.) *Mérnöki kutatások a budai Várhegyen*. Hantken Kiadó, Budapest, pp. 15-19.
- Gálos M. 2003. Kőzetszilárdági tulajdonságok meghatározása roncsolásmentes vizsgálati módszerrel. *Építőanyagok*, 55, 55-57.
- Gieré, R., Querol, X. 2010. Solid particulate matter in the Atmosphere. *Elements*, 6, 215-222.
- Jacobson, M.Z. 2002. *Atmospheric Pollution, History, Science and Regulation*. Cambridge University Press, Cambridge, 399p.
- Kleb, B. 1971. Kőzetminősítés Schmidt kalapáccsal építésföldtani térképezés keretében. *Földtani Közlöny*, 101, 1, 55-61.
- La Russa, M.F., Fermo, P., Comite, V., Belfiore, C.M., Barca, D., Cerioni, A., De Santis, M., Barbagallo, L.F., Ricca, M., Ruffolo, S.A., 2017. The Oceanus statue of the Fontana di Trevi (Rome): The analysis of black crust as a tool to investigate the urban air pollution and its impact on the stone degradation. *Sci. Total Environ.* 593-594, 297-309.
- Ozga, I., Ghedini, N., Giousuè, C., Sabbioni, C., Tittarelli, F., Bonazza, A., 2014. Assessment of air pollutant sources in the deposit on monuments by multivariate analysis. *Sci. Total Environ.* 490, 776-784.
- Török, Á. 2003. Durva mészkőből épült műemlékek károsodása légszennyezés hatására. In: Török, Á. (szerk.), *Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 287-301.
- Török, Á., 2008. Black crusts on travertine: factors controlling development and stability. *Environ. Geol.* 56, 583-594.

- Török, Á., Rozgonyi, N., 2004. Mineralogy and morphology of salt crusts on porous limestone in urban environment. *Environ. Geol.* 46, 333-349.
- Török, Á., Licha, T., Simon, K., Siegesmund, S., 2011. Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation. *Environ. Earth Sci.* 63, 675-693.
- Viles, H.A. 1993. The environmental sensitivity of blistering limestone walls in Oxford, England: a preliminary study. In: Thomas, D.S.G., Allison, R.J. (eds) *Landscape Sensitivity*. Wiley, Chichester, 309-326.
- Viles, H.A., Goudie, A., Grab, S., Lalley, J. 2010. The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 320–333.
- Winkler, E.M. 1968. Frost damage to stone and concrete: geological considerations. *Engineering Geology*, 2, 315–323.

#### Internetes források

WWW1: [https://studhist.blog.hu/2018/04/24/buda\\_varanak\\_tortenete\\_1526-ig](https://studhist.blog.hu/2018/04/24/buda_varanak_tortenete_1526-ig)

<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ie=UTF8&hl=hu&msa=0&ll=47.499654%2C19.03400600000012&spn=0.010148%2C0.018239&z=15&source=embed&mid=1lw-RLzLyIogPtyGA7FGrsBJIFMU>

WWW2: <https://www.octogon.hu/cimkek/nemzeti+hauszmann+program/>

WWW3:

[https://www.google.com/search?q=budai+v%C3%A1r+r%C3%A9gen&sxsrf=ALeKk02f0jNYjGdAdiJs-yZRKDDyGTUosQ:1604420324700&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=1Dpfn4B\\_ldafDM%252CxTsAmxV7aQe43M%252C\\_&vet=1&usg=AI4\\_-kTrfuisRcEH3yOg1WX0jrivxRgf0g&sa=X&ved=2ahUKEwjimJi84-bsAhUuxosKHQuMA9MQ9QF6BAgKED4&biw=1280&bih=610#imgre=1Dpfn4B\\_ldafDM](https://www.google.com/search?q=budai+v%C3%A1r+r%C3%A9gen&sxsrf=ALeKk02f0jNYjGdAdiJs-yZRKDDyGTUosQ:1604420324700&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=1Dpfn4B_ldafDM%252CxTsAmxV7aQe43M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kTrfuisRcEH3yOg1WX0jrivxRgf0g&sa=X&ved=2ahUKEwjimJi84-bsAhUuxosKHQuMA9MQ9QF6BAgKED4&biw=1280&bih=610#imgre=1Dpfn4B_ldafDM)

[http://real.mtak.hu/11796/1/63399\\_ZJ1.pdf](http://real.mtak.hu/11796/1/63399_ZJ1.pdf)

[https://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/bp\\_legszennyezettseg\\_0.pdf](https://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/bp_legszennyezettseg_0.pdf)

<https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/13104/ertekezes.pdf?sequence=2&isAllowed=y>