



Történelmi habarcsok vizsgálata, Budai Vár

TDK dolgozat

2016



Készítették: Szabó Zsuzsanna
Lógó Benedek András

Konzulensek: Dr. Kopecskó Katalin
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék
Dr. Vásárhelyi Balázs
Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

1 Tartalom

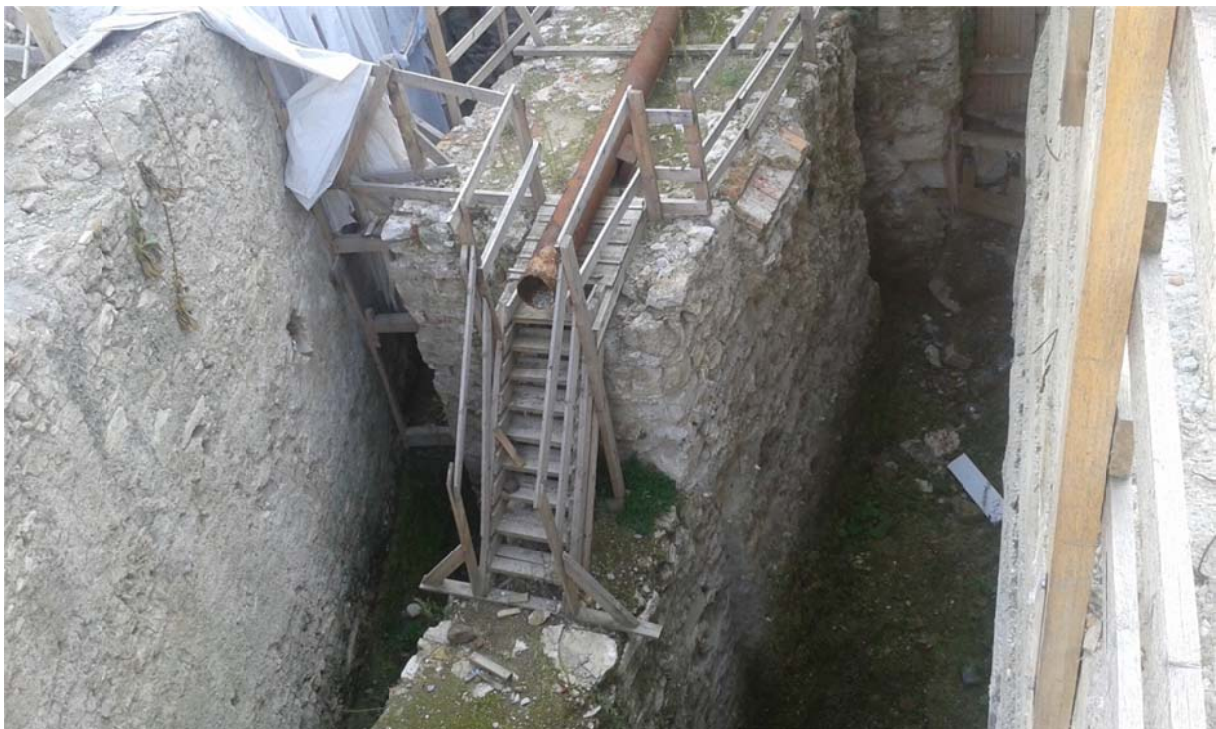
1	Bevezetés.....	4
2	A Budai Vár történetének rövid ismertetése	5
2.1	A vár története [1].....	6
3	A mintavételek helyszínei	10
3.1	Az Oroszlános kapu és a Stöckl lépcső [3].....	10
3.2	A Püspökkert és a Karmelita kolostor [4]	11
4	Történelmi habarcsok [5]	12
4.1	A mészégetés korai szakasza	12
4.2	Régi elnevezések és osztályozások.....	12
4.3	Mészoltás	13
4.4	Mészhabarcsok	14
4.5	Egyéb mészhabarcsok, oltott és égetett mész keveréke	15
4.6	Falban oltott mészhabarcs	15
4.7	Különféle mészhabarcsadalékok a történelem folyamán [5].....	16
5	Mintavételek.....	17
5.1	Oroszlános kapu, Stöckl-lépcső területéről vett minták	18
5.2	Karmelita kolostorból vett minták	19
5.3	Püspökkertből vett minták	20
5.4	Ellypse sétányról vett minta	21
6	A vizsgálatok ismertetése.....	22
6.1	A vizsgálati minták előkészítése.....	22
6.2	Makroszkopikus leírás	22
6.3	Röntgendiffrakciós (XRD) fázisanalízis – pordiffrakciós módszer	22
6.4	Termoanalitikai fázisanalízis – derivatográfias (TG/DTG/DTA) vizsgálat	23
6.5	Piknométeres sűrűség vizsgálat	23
6.6	Testsűrűség és látszólagos porozitás vizsgálata	24
6.7	Szemeloszlás meghatározása	25
6.8	Teljes porozitás meghatározása	27
7	A vizsgálati eredmények	27
7.1	A minták makroszkopikus leírása.....	27
7.2	Röntgendiffrakciós (XRD) fázisanalízis eredményei.....	28
7.3	Derivatográfias fázisanalízis eredményei.....	29

7.4	Piknométeres sűrűség vizsgálat eredményei	31
7.5	Testsűrűség vizsgálat eredményei	32
7.6	Szemeloszlás vizsgálat eredményei.....	36
7.7	Teljes porozitás meghatározás eredményei	37
8	A vizsgálati eredmények értékelése	38
9	Összefoglalás.....	41
10	Köszönetnyilvánítás	42
11	Hivatkozások listája	43
12	Melléletek.....	44
12.1	I. számú melléklet: habarcsminták.....	44
12.2	II. számú melléklet: fizikai tulajdonságok vizsgálata	47
12.3	III. számú melléklet: Röntgendiffrakciós fázisanalízis (XRD) vizsgálat	49
12.4	IV. számú melléklet: Derivatográfias fázisanalízis	60
12.5	V. számú melléklet: Testsűrűség	72
12.6	VI. számú melléklet: Szemeloszlás.....	73

1 Bevezetés

A régészeti ásatások során már régóta gondot okoz, hogy az egyes építmények, épületmaradványok korát nagyon nehéz behatározni. Az utóbbi időben számos építkezés kezdődött meg a Budai várban, amelyeket rend szerint régészeti feltárások (1. ábra) előznek meg. Ezen ásatások során sok egykori várfal, épületmaradvány került ismét a felszínre. Ezeknek csak egy részéről áll rendelkezésünkre pontosabb információ régi feljegyzések, rajzok alapján, a többi eredete ismeretlen.

A kutatás fő célkitűzése, hogy laboratóriumi módszerekkel és az azokkal nyerhető vizsgálati eredményekből próbáljuk lehatározni a valószínűsíthetően egy időben készített falszerkezeteket, valamint a későbbi javítások anyagait. A habarcsminták összetételének ismerete alkalmas lehet a korábban nem ismert falszerkezetek készítési körülményeinek meghatározására. Ehhez az ásatások során előkerült falakból (mind az ismert korúakból, mind pedig az ismeretlenekből) habarcsmintákat vettünk. A vizsgálatok során ezek összetételét, különböző tulajdonságait próbáltuk meg elemezni, egymással összevetni. A módszerek és kapott eredmények segítségével a régészeti kormeghatározás pontosabbá, egyszerűbbé válhat. Akár már korábban egykorúnak hitt építményekről is kiderülhet, a módszer által, hogy egyes részei más és más korban készültek el.



1. ábra - Régészeti ásatáson feltárt történelmi falazat

2 A Budai Vár történetének rövid ismertetése

A Budai Vár Budapest szívében, a Duna parton található. Gyönyörű, egyedülálló környezetben fekszik, évente turisták milliói keresik fel, így a vár állapotának megóvása, történelmének minél pontosabb ismerete, a már feltárt régészeti emlékek bemutatása, a látogatók számára a látványosságok folyamatos fejlesztése kiemelt jelentőséggel bír, mind gazdaságilag, mind turisztikailag. A történelem azonban e mellett a vár mellett sem ment el kisebb-nagyobb viharok nélkül, így a régészek sokszor az egyes épületmaradványoknál (2. ábra) csak találgatni tudnak, hiszen egyik korabeli feljegyzésben, forrásban sem szerepelnek.



2. ábra - Feltárt gödrök kidúcolva, történelmi falazatok

2.1 A vár története [1]

IV. Béla király (1235–1270) a tatárok 1242. évi váratlan kivonulása után – tartva attól, hogy a támadás bármikor megismétlődhet –, az ország védelme érdekében nagyarányú várépítésbe kezdett. 1247 táján a kevésbé védett Óbuda helyett a Dunához szintén közeli, a környező völgyekből meredek hegyoldalaival kiemelkedő lapos, széles fennsíkú, addig gyéren lakott Várhegyen egy falakkal és tornyokkal megerősített erődített várost, castrumot (a szó eredeti értelmében várat) építtetett, mely terepviszonyai miatt kiválóan alkalmas volt védekezésre, ugyanakkor kereskedelmi szempontból központi fekvéssel rendelkezett. A polgárok nagyobb védelmét biztosító új város felépítését közvetlenül a tatárok Európa elleni újabb készülődésének híre váltotta ki.

A 13. századi budai székhellyel foglalkozó kutatók körében vitatott kérdés, hogy IV. Bélának volt-e az általa alapított erődített városban királyi szállása. A Várhegy déli végén, a későbbi palota területén talált 13. századi maradványok nem utalnak egyértelműen királyi szálláshely meglétére, továbbá a palota Árpád-kori történetével foglalkozó kutatások sem értek el meggyőző eredményt. Ettől függetlenül nem zárhatjuk ki teljes bizonyossággal, hogy már a 13. században volt ezen a területen királyi szálláshely.

Zsigmond német királlyá választása után is Budán, az uralmának szilárd bázisát jelentő Magyar Királyság fővárosában tartotta fenn székhelyét, de a nagyobb európai szerepvállalás új, reprezentatív, európai méretű uralkodói rezidencia kiépítését kívánta meg.

Emiatt az 1410–1420-as években minden eddiginél jelentősebb építkezések folytak Budán, átépítették és kibővítették a palota lakóépületeit, valamint az erődítéseket is. Zsigmond német történetírója, Eberhart Windecke szerint – aki krónikájában sokszor említi a palota különböző épületeit, termeit – az új palota jelentős része 1419-re már elkészült. Kissé másképp vélekedett a Szentföldről visszatérőben, 1433-ban Magyarországon átutazó Bertrandon de la Brocquière, Jó Fülöp burgundi herceg követe, aki „a hegy déli végén emelkedő nagyon szép és nagy palota” építését még befejezetlennek találta. Aeneas Sylvius Piccolomini, a humanizmus egyik vezéralakja, a későbbi II. Pius pápa, az 1430-as években Zsigmondnak írt levelében a Magyarországon megismert látnivalók közül a palotát emelte ki: „Nagy csodálattal és különös ámulattal tekintetem meg az általad épített palotát”. Mátyás király olasz történetírója, Bonfini, bár jó hetven évvel később, de ugyanilyen elragadtatással írt Zsigmond építkezéseiről: „Ezenkívül a Fejedelem nagyszerűségét idézték fel annak igen fenséges épületei, elsősorban azok, amelyek Budán álltak”. Zsigmond az Anjou-kori palotamagot átépíttette és módosította, a polgári városrész lebontásával új épületekkel és udvarral bővítette, valamint új védőfalakat is emeltetett. Építkezései közül a legkiemelkedőbb az északi oldalon emelt palotaépület volt. Caspar Ursinus Velius német humanista író 1527-ben a várostól széles árokkal elválasztott, hídon át megközelíthető Zsigmond-kori „palotát inkább hatalmas építménye, mint sem szépsége miatt” tartotta „látványra érdemesnek”. Windecke krónikájában többször szóba hozza fontos nemzetközi tanácskozásokkal kapcsolatban e hatalmas palota nagy dísztermét, amelyről más kortársak is elragadtatással emlékeztek meg. Pedro Tafur spanyol utazó a padovai „il Salone”-hez, a

korabeli Európa talán legnagyobb terméhez hasonlította. A lenyűgöző, kéthajós, nyolc oszloppal osztott, boltozatos, 70/75 × 18/20 méter nagyságú csarnokot először a szász és pfalzi fejedelem követei írták le pontosan Mátyás király esküvője alkalmából. Tőlük ismerjük a valószínűleg a palotaszárny emeletén elhelyezkedő hatalmas teremnek topográfiailag fontos meghatározását is, miszerint az elkülönült egy kisebb, fűthető helységtől, melyet a fűtés módjára utalva hypocaustumnak (padlófűtéses szobának) neveztek. Több forrás is megemlékezik egy másik Zsigmond-kori épületről, melyet befejezetlensége miatt „Csonkatorony”-nak neveztek el. A hatalmas méretekkel, szabályos nagy kövekből készült befejezetlen építményt vastag falai miatt később börtönné használták.

Mátyás Buda városát „mintegy a királyi méltóság székének és trónusának” nevezte. A város fejlődésére is nagy hatással volt a királyi udvar állandó jelenléte.

A gótikus építésű királyi palota új arculatot kapott Mátyás uralkodása alatt. Az itáliai reneszánsz udvari kultúrát az Alpokon túl meghonosító uralkodó a palota épületeit jelentősen „modernizálta”. Az átépítéseknek nagy lendületet adott Mátyásnak a nápolyi király leányával, Aragóniai Beatrixszal 1476-ban kötött második házassága. A Zsigmond-kori palota az egyes szárnyak teljes átépítésével késő gótikus és all’antica típusú reneszánsz stílusban újult meg.

A pazarul fölékesített palotáról Bartolommeo de Maraschi castellói püspök, pápai követ 1483-ban úgy vélte, hogy „ennél nagyobb és szebb palota Itáliában sincs”. Mátyás személyesen is részt vehetett az építkezések megtervezésében, Galeotto Marzio olasz humanista író szerint „mindenkinél jobban gyönyörködött a szép épületben”, s más feljegyzésekből tudjuk azt is, hogy figyelemmel kísérte az olasz fejedelmek építkezéseit és az udvarában megforduló követektől erre vonatkozóan élénken érdeklődött, valamint építészeti szakkönyveket és mestereket hozatott Itáliából. A tervezést segíthette a bolognai Aristotele Fioravente építész rövid magyarországi tartózkodása alatt.

A palotaépítkezéseket, ha nem is olyan léptékben, mint Mátyás, II. Ulászló király tovább folytatta. Erről tanúskodnak a források és az Ulászló-címeres kötöredékek is. Építkezései közül feltehetően a kápolna késő gótikus átépítése lehetett a legjelentősebb.

1526-ban összeomlott a középkori Magyar Királyság és vele együtt a budai királyi udvar is. 1526. augusztus 29-én II. Szulejmán török szultán hadai élén a Mohács melletti mezei ütközetben megsemmisítő vereséget mért II. Lajos király seregére, s maga a király is elesett a vesztes csatából való menekülés közben. A királyi székváros védtelenül maradt a Buda felé akadálytalanul tartó hódító sereg előtt. Az ellenállást a vár állapota is akadályozta, ugyanis a Zsigmond király által építtetett falak korszerűtlenségük miatt a 16. század elejére már nem tudtak védelmet adni. Mária királyné a mohácsi katasztrófa hírére a budai kincstárt, amennyire lehetséges volt, hajókra rakatta, majd udvarával együtt Pozsonyba menekült. A királyné után elmenekült Buda lakosságának nagy része is.

II. Szulejmán szultán csapatai 1526. szeptember 12-én ellenállás nélkül bevonultak Budára. A törökök kirabolták a várost, elszállították a palotában hagyott kincseket, bronzszobrokat, a könyvtár híres, még meglévő kódexeit, majd a palotát megkímélve felgyújtották Budát és

elvonultak. Ezután a királyságot uralni akaró erők számára a vár és a város megszerzése stratégiai jelentőségű lett.

II. Szulejmán elvonulása után a mohácsi csatából önhibáján kívül kimaradt Szapolyai János erdélyi vajda érintetlen seregével és a hozzá menekült budaiakkal azonnal bevonult az üres és romos városba. Királya koronázása (1526. november 10.) után székhelyét átmenetileg át is tette Esztergomba, mert a kifosztott város nem tudta ellátni udvartartását. A főnemesség és főpapság egy része azonban nem fogadta el János királyt, ezért a rokonság jogán, továbbá a Habsburg–Jagelló-szerződés alapján a magyar trónra igényt tartó Habsburg Ferdinándot (1526–1564) választotta királlyá 1526 decemberében.

Ferdinánd 1527. augusztus 20-án minden ellenállás nélkül elfoglalta János királytól (1526–1540) és éhező, elgyengült lakosaitól a még mindig romos Budát, s szinte egy időben vonult be a főváros egyik kapuján Ferdinánd, miközben egy másikon János lovasai távoztak. Ferdinánd azonban gyors katonai sikerei ellenére sem tudta az ország egészét uralni, sem pedig a budai vár védelmét megfelelő erődítésekkel megszilárdítani.

1529-ben a Bécs felé törő oszmán csapatok újra Buda ostromába fogtak. Nádasdy Tamás, Ferdinánd budai várnagya ugyan megpróbálta Budát a török támadás ellen megvédeni, de ez a várnagy hűséges kitartása ellenére sem sikerült. A várost védő mintegy kétezer zsoldos kénytelen volt állásait feladva visszavonulni a királyi várba. A várat azonban csupán egy szárazárok választotta el a várostól, ezért ebből az irányból komolyabb ellenállásra nem volt képes. Miután a török tüzérség a Gellérthegyről és a város felől is löni kezdte a palotát, a védők Nádasdyt elfogták és kiszolgáltatták a nagyvezírnek, a várat pedig kétheti ostrom után, szeptember 8-án feladták. A szultán a várost azonnal átadta János királynak, majd továbbvonult Bécs felé, ahol súlyos vereséget szenvedett. A legyőzött II. Szulejmán szövetségese megsegítésére egy kisebb török helyőrséget hagyott hátra Budán, majd hazatért. Budára rendelte még János király ellenőrzésére udvari szállítóját, a Sztambulban élő velencei kalandort, Ludovico Grittit, akit a király kincstartónak nevezett ki. Buda ettől kezdve a Habsburgoknak hódolók és János király országrésze közti ütközőpontként határvégvár lett.

János király éppen megkezdte kormányzását Budán, amikor 1530-ban Ferdinánd újból vissza akarta foglaltatni a várost, de a Wilhelm von Roggendorf vezette, közel két hónapig tartó ostrom sikertelenül végződött. Az ostromot követő tíz évben a két király közötti hatalmi helyzet viszonylagos nyugalomban állandósult. János király ebben a nyugalmi időszakban hatalmi és anyagi helyzetét megszilárdítva, s okulva a sorozatos ostromok tanulságaiból is, komoly erődítési munkákat végeztetett el.

1531 elején János király elérte, hogy Grittit a budai országgyűlés kormányzóvá (1531–1534) nevezze ki. Gritti kormányzói székhelyét Budán rendezte be. Úgy tűnik, kétes szerepe ellenére Buda városát meglehetősen pártfogolta, s komoly szerepet játszott az erődítési munkák szorgalmazásában is. Gritti meggyilkolása után, 1534-ben az addigi kormányzóhelyettes és budavári udvarbíró, Martinuzzi Fráter György lett János király kincstartója és budai várnagya.

János király 1540 júliusában Nagyváradon váratlanul meghalt. Halála után azonnal kiújultak a harcok Budáért. A király hívei, Fráter György és Török Bálint dunántúli főkapitány vezetésével kitartottak János özvegye, Izabella királyné és csecsemő fia, János Zsigmond mellett, akik sietve bevonultak Budára. Ferdinánd serege ismét Roggendorf vezetésével 1541 májusában kezdett hozzá a Fráter György és Török Bálint által védett, immár igencsak megerősített Buda ostromához. Roggendorf már másfél hónapja sikertelenül próbálkozott a vár bevételével, amikor megérkezett a felmentő szultáni sereg, így az ostromlóból ostromlottak lettek. A két tűz közé szorult német sereg hatalmas veszteségeket szenvedve kénytelen volt az ostrommal felhagyni és elvonulni Buda alól.

II. Szulejmán szultán napra pontosan a mohácsi győzelem 15. évfordulóján vonult be ismét Budára és vette birtokába a várat, ezúttal azonban meg is tartotta azt. Buda, a középkori Magyar Királyság fővárosa, az 1541-es ostrom idején Erhard Schön fametszetén ábrázolt reprezentatív királyi rezidencia az elkövetkező száznegyvenöt évre az Oszmán Birodalom határvára és egyik tartományi központja lett.

A törökök az uralkodói rezidencia szépségét mindig nagy tisztelettel emlegették, termeit 1526-ban II. Szulejmán szultán is megcsodálta. A palotát – fénylő díszgömbjeiről – Kizil Elmának (Arany vagy Piros Almának) nevezték; pirosnak, ami színnek náluk a legszebb, almának, ami a szemnek, szájnak a legkedvesebb. A szultán távollétében budai helytartója, a pasa azonban nem tarthatta székhelyét az uralkodói rezidenciában, mivel török felfogás szerint ez palotalázadásnak minősült volna, ő csak a tanácskozások alkalmával kereshette fel azt. Egyetlen török méltóság, a dizdár (várfelügyelő) költözött ide, a palota egyes részeit pedig irattárként, kaszárnyaként, fegyver- és lőszerraktárként, valamint börtönként használták. A kápolnát pedig mohamedán templommá (dzsámivá) alakították át. A törökök tehát nem sokat törődtek a régi pompáját és az uralkodót nélkülöző palotával. Ablakait a hideg ellen védekezve szűkebbre szabták, befalazták vagy bedeszékelték, a boltozatos, drága díszítésű termeket, márványoszlopos csarnokokat vályog- vagy sövényfallal apró kamrákra osztották. Ennek ellenére a palota számos terme még тұrhető állapotban maradt. Wratislaw Vencel báró 1591-ben az Isztambulba tartó császári követség tagjaként Mátyás könyvtártermében és a királyi lakosztályban még a régi berendezések nyomait találta. A palotáról számos török utazó beszámolójában is olvashatunk, közöttük a legértékesebb Evlia Cselebi 1663-ban készült leírása, aki a Kizil Elmát megpillantva azonnal térdre borult és homlokát a földhöz érintve hálát adott Allahnak a kegyelemért, hogy Buda várát megláthatta. Evlia Cselebi feljegyzéseiben hosszan részletezte az épületegyüttes nagyszerűségét, tudósításából úgy tűnik, hogy a palota jelentős része és az udvar bizonyos emlékei (például a Pallasz-kút) egészen 1686-ig megmaradtak, tehát a török megszállás alatt még nem szenvedett helyrehozhatatlan károkat.

A Habsburg-uralkodók császári seregei a száznegyvenöt év alatt ötször, rögtön 1542-ben, majd 1598-ban, 1602-ben, 1603-ban és 1684-ben kísérelték meg ostrommal visszafoglalni Budát, de a törökök által tovább erősített vár bevehetetlennek bizonyult.

A palotában a legnagyobb rombolást az ostromok végezték, valamint két iszonyú erejű löporrobbanás (1578, 1686) és egy tűzvész (1669). A második löporrobbanás 1686-ban, a Buda visszafoglalására indított ostrom alatt történt, amikor Lotharingiai Károly herceg parancsnoksága alatt az európai szövetséges csapatok júliustól szeptemberig támadták a várat. A három nagyobb rohamban, hatalmas ágyúzásokkal végrehajtott ostrom iszonyú pusztítást okozott, mire sikerült végre a török megszállóktól visszafoglalni Buda várát.

3 A mintavételek helyszínei

A 2014-ben elfogadott Nemzeti Hauszmann Terv keretein belül 2015-től megkezdődött számos, a kulturális örökség részét képező épület, építmény felújítása. A terv által érintett területek magukba foglalják a Palotanegyed (Királyi Palota épületszárnyai, palotához kapcsolódó egyéb épületek, udvarok és kertek, Szent György tér) a Polgárvárost (Dísz tér, Szentháromság tér, Bécsi kapu tér, Erdélyi bástya) és a várlejtőket (Ellypse sétány, Szarvas tér, Clark Ádám tér), valamint a Várnegyed teljes közlekedését és védműveit (lépcsők, liftek, várfalak, támfalak, bástyák) [2].

Az építkezéseket ásatások előzték meg, ennek során feltárt falazatok vizsgálatával foglalkoztunk. A vizsgálatok helyszíne az Oroszlános kapu, (3. ábra) a Stöckl lépcső, a Püspökkert, a Karmelita kolostor illetve az Ellypse sétány területe.

3.1 Az Oroszlános kapu és a Stöckl lépcső [3]

A Stöckl-lépcső a mai támpilléres támfal alatti területen helyezkedett el. Az eredeti lépcső Ybl Miklós tervei alapján készült, egyedi vonalvezetéssel, két traktus mélységű pihenőkkel. Az 1896-ban megépült szerkezet a 19. században ott állt Stöckl épületről kapta a nevét. A Stöckl épület helyén 1909-ben épült fel a Főőrség épülete, majd 1899-ben a Csikós udvaron szabadon álló Új Lovarda. A Stöckl-lépcsőt a Főőrségi épület megépítésével párhuzamosan bővítették ki az új őrségi épület szuterén szintjébe vezető járdával és az alatta lévő támfallal. A lépcső felső bejárata körüli vasrács és a kis park 1903-ban készült el. Az újra megépített Főőrségi épülettel egy építészeti egységet alkotó Stöckl-lépcső (4. ábra) a tervek szerint megteremti az évtizedek óta hiányzó kapcsolatot a Hunyadi udvar és a mélyebben fekvő Csikós udvar között, új megközelítési útvonalat adva a Lovarda valamint a Várgarázs bejáratainak.



3. ábra - Oroszlános kapu



4. ábra - Stöckl-lépcső

3.2 A Püspökkert és a Karmelita kolostor [4]

Helyén a középkorban több lakóház, majd a késő középkorban a Werbőczy-palota helyezkedett el. A török korban, legalábbis a 16. század végétől itt volt a budai pasák palotája (szerája) is. A telekegyüttest a visszafoglalás után előbb a jezsuiták, majd a karmeliták szereztek meg, és 1734-re itt építették fel kolostorukat (5. ábra). A rend 1784-es feloszlása után az épületben lakásokat alakítottak ki, kaszinó, végül katonai parancsnokság költözött. Ez utóbbi funkcióját - különböző formában - egészen 1945-ig megtartotta. A világháborús ostrom során súlyos sérüléseket szenvedett. Helyreállítása (1976-1977) után különféle intézmények elhelyezésére szolgált.



5. ábra - Karmelita kolostor

4 Történelmi habarcsok [5]

A történelmi habarcsokról a fontosabb tudnivalókat Déry Attila: Öt könyv a régi építészetéről [5] című munkája alapján ismertetjük.

4.1 A mészégetés korai szakasza

Az építés egyik legrégebbi és legalapvetőbb anyaga a mész. A mészégetés egyidős az égetett agyagáruk születésével és az emberi kultúrával: „állíts nagy köveket és meszeld őket fehérre” – olvashatjuk Mózes 5. könyvében (27:2).

Bizonyos, hogy a Földközi-tenger régiójában a Kr. e. IV. században már égettek meszet és mészhabarccsal építkeztek is. Kr. e. 409-ben az Athén és Pireusz közötti „hosszú” fal már meszes kötőanyaggal épült. Kr. e. 200 körül Marcus Portius Cato már szabatosan írt az égetett mésszel való építkezésről, mint közismert dologról. ez időtől tudunk hivatásos mészégetőkről is (calcarii). Vitruvius már részletesen ír a mészégetésről. Tacitus már azt is tudta, hogy a római birodalom legjobb meszet Germániában égették.

A népvándorlás elfeledtette az építőkkel a rómaiak gondosságát. Az 5.-8. századot jellemző általános visszaesés az építést sem hagyta ki. A Karoling-korban a fennmaradt épületek és töredékek szerint nem égették ki eléggé a meszet, és nem is hagyták pihenni az égetett meszet, ezért csak gyenge minőségben tudták felhasználni. A 9. században kezdődő ipari fellendülés során a mész szakszerű feldolgozása és felhasználása visszakerült az építés eszköztárába. 1100 táján Európában már jó minőségű oltott meszet használtak.

4.2 Régi elnevezések és osztályozások

A török kor után kezdődő békés építési periódusban, vagyis a barokk korban az alábbi mészfajtákat különböztették meg:

- közönséges vakoló-, szürke vagy égetett mész, ami égetett mészkőből készül
- mészföldből való mész
- tímároknál bőrcserzésre használt tiszta égetett mész
- bécsi, fehér- vagy tiszta mész, ami nagy tisztaságú fehérmész
- gipszes vagy gipszből készített vakolóanyag
- tengeri állatok mészvázából, elsősorban csigahéjakból készített tiszta fehérmész
- tojánhéjból készített meszelőmész

A mészföld általában magas mésztartalmú, de kissé agyagos márgát jelentett. A 19. század közepére a közönséges mész a kövér meszet, a mészföldi mész a sovány meszet jelentette.

4.3 Mészoltás

Az építésre felhasznált mész kalcium-oxid (CaO), ami kalcium-karbonát (CaCO_3) égetéséből származik. Az égetést régen - és egyes helyeken ma is - helyben rakott égetőkben, erdei boksákban végezték. Ma az égetett meszet általában ipari körülmények közt állítják elő. A kalcium-karbonát kristályos alakja a kalcit, közönséges ásványa a mézskő, márvány, mésztufa vagy kréta, magnézium-karbonáttal együtt alkotott kettős sója a dolomit. A kalcium (Ca) természetes alakban nem fordul elő a természetben. Az égetett mész tiszta állapotban fehér, a gyakorlatban azonban szürkés, sárgás vagy barnás anyag. Ezek az árnyalatok a bennük lévő agyagos – leggyakrabban vas-oxidos – szennyeződés következményei. Az égetett meszet vízzel oltják. Az égetett mész nagy hőfejlődés közben válik oltott mézshidráttá [Ca(OH)_2]. Az égetett mész a saját súlyának kb. 18%-át kitevő vízmennyiséget gyorsan szívja fel, miközben a likacsaiban lévő levegő sietve illan el, majd duzzadni kezd és fölmelegszik, pattog, gőzt bocsát ki, és hófehér porrá változik: ez a mézshidrát. Minél tisztább és jobb a mész – vagyis minél kevesebb benne a szennyező anyag -, annál több hő fejlődik. Elméletileg 33% víz szükséges ehhez, a gyakorlatban azonban mindig nagy vízfölösleggel dolgozik az építőipar.

Egy vagon (10 t) mézből a régi építőgyakorlat szerint 26-30 m^3 oltott mész készíthető. Tehát 35 kg jó mész gondos keverés mellett 1 m^3 oltott meszet ad. Az olyan meszet, amely gyorsan oltódik és eközben térfogatát legalább megkétszerezi, kövér méznek nevezzük. Általában az építőipar kövérmésszel dolgozott. Az igen tiszta égetett meszet elődeink bécsi méznek is nevezték. Ez az elnevezés valaha az igényesség és a minőség szinonimája volt. A lassan oltódó, kevés vizet felvevő meszet soványnak nevezzük. A legsoványabb mész az oltáskor tömegének legalább $\frac{1}{4}$ -ével szaporodik.

Már az égetett mész képes arra, hogy a levegő nedvességével megoltódjék, és ezután szénsavat vegyen fel. Az égetett meszet ezért ajánlatos mindjárt az égetése után megoltani; az oltás gyorsaságától függ az oltott mész minősége.

Ha különösen kevés vizet használunk, a mész egyszerűen porrá omlik, megég és önmagában nem lesz alkalmas habarcs készítésére. Az ilyen méznek hidraulikus tulajdonságai lesznek. Ez – elődeink megkülönböztetése szerint – hidraulizált mész vagy adalék.

Ha a frissen égetett meszet – még mielőtt a levegő nedvességét felvette volna – nagyobb mennyiségű vízzel felöntik, fehér folyadék keletkezik. Veremben tartva ezt nevezték elődeink veremmésznek, illetve továbbhígítva mézstejnek.

Agyagtartalmú mézskövek vagy márgák égetéséből nyerték régen a hidraulikus meszet. Ez az anyag általában 10%-nál több kavasavat és timföldet tartalmazott.

A 19. században a bőség zavara az elnevezések zavarához vezetett. A Magyar Mérnök és Építész egylet éppen ezért 1897-ben a „habarcskészítő anyagok egységes elnevezése” tárgyában határozatot hozott [8]. Eszerint:

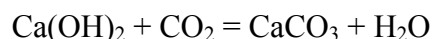
- fehérmész a mészkövek égetéséből keletkező azon anyag, amely kevés vízzel megnedvesítve nagy hőfejlődéssel tömegében finom porrá, több vízzel péppé oltódik,
- hidraulikus mész agyagtartalmú mészkövek vagy márgák, továbbá kovasavas mészkövek égetéséből keletkezett termék, amely vízzel nedvesítve térfogat növekedés nélkül, kevés hőfejlődéssel egészben vagy részben porrá oltódik,
- románcement gazdag agyagtartalmú mészmárgák összetöporodás kezdődésén égetéskor keletkezik,
- portlandcement természetes mészmárgának, vagy agyag- vagy mésztartalmú anyagok mesterséges keverékek összetöporodáséig való égetésekor jön létre,
- hidraulikus pótlék azon természetes vagy mesterséges anyag, amely magában nem, csak fehérmész-habarcsban kötőképes, de akkor víz alatt is,
- puccoláncement por alakú méshidrát lisztfinomságúra őrült hidraulikus pótlékkal összekeverve,
- kevert cement kész cement és cementpótlék keveréke.

Ezen kategóriákban a puccoláncement a cementmész megfelelője, a kevert cement pedig minden egyéb összefoglalása.

4.4 Méshabarcsok

A meszet habarcs formájában használjuk fel. A habarcs anyaga az oltott mészen kívül homok. Bár sokféle homok – bányahomok, folyami homok, futóhomok stb. – létezik, a habarcs készítésére a tiszta kvarchomok alkalmas. (A kvarchomokot a 19. századi szakkönyvekben és leírásokban fővenynek is nevezték.) Csak a kvarchomok képes arra, hogy mésszel megfelelő szilárdságú habarcsot képezzen; elődeink tudatában voltak ennek és ügyeltek is rá.

Az oltott mész a levegő szén-dioxidjának hatására alakul át szilárd kalcium-karbonáttá:



Ez a folyamat a méshabarcs (mész) kötése. A habarcs levegőn való megkeményedése bonyolult folyamat. Egyik oka valóban a szén-dioxid felvétele a levegőből, másik ok a méshidrát kristályosodása, amihez még a mésszilikátok, méshidrátok képződése is hozzájárul.

Elődeik ügyeltek arra, hogy friss mészből ne készítsenek habarcsot, mert még a leggondosabb oltás után a legjobb mészben is maradnak olyan oltatlan szemcsék, amelyek önmagukat emésztik fel. Ehhez azonban idő szükséges. A vakoláshoz olyan meszet használtak, amelyet legalább 14 napig állni hagytak, ez azonban a legminimálisabb idő volt, az ajánlások hosszú ideig, hónapokig, sőt, évekig „pihentetett” oltott meszet emlegettek, joggal.

A rómaiak igényes épületek vagy nagyobb terhelés esetén igen jó minőségű, igen nagy szilárdságú habarcsot állítottak elő, kirívóan magas mésztartalommal, tufaőrlemények és hidraulikus pótlékok felhasználásával. Hozzá kell tennünk, hogy a pannóniai római kori habarcsokban még kalcium-szilikátként kötött kovasavat és kalcium-aluminátként kötött alumínium-oxidot is találtak. Ezek jelenléte a hidraulikus kötőanyagra is utalhat.

A népvándorlás kora utáni építményekben általában gyenge és ingatag összetételű habarcsok maradtak fenn.

A 17. századra azonban a mészégetés és a habarcskészítés technológiája stabilizálódott. 1 térfogatrész kövér mészhez a 18-19. század építőmesterei általában 2-4 térfogatrész homokot adagoltak. Földalatti építkezésnél az éppen szokásos átlaghoz képest több homokot ajánlottak. A 20. század elejére kialakult szemlélet szerint falazó mészhabarcsban a mész : homok arány 1:4, különleges esetekben 1:5.

A régi építőgyakorlat a mészhabarcsot annál „teherbíróbbnak” tekintette, minél több homok volt benne, ám a homoktartalom növekedésével párhuzamosan egyre kevésbé tekintette „szívósnak”; más szóval a központos nyomásnak a kövérebb, hajlító igénybevételnek a soványabb meszes habarcs felelt meg.

4.5 Egyéb mészhabarcsok, oltott és égetett mész keveréke

A régi - vagyis a 18-19. századi, és még korábbi – építőgyakorlat különbséget tett az égetett kövér vagy közönséges mészből készülő, levegőn szilárduló közönséges mészhabarcs, és a kovasavas-timföldes, oltatlan „hidraulikus” mészből készülő, víz alatt is szilárduló hidraulikus mészhabarcs között.

Bizonyosra vehetjük, hogy az oltott kövér és az égetett mész, keverékét évszázadokon keresztül használták – bizonyára sokféle helyi változatban és különféle adalékanyagokkal. Oltott és égetett mész együttes alkalmazásával a középkortól foglalkoztak, a 18. században, illetve a 19. század elején már kísérleteztek is e technológia pontos beállításával. Idővel - bizonyára a régi példák hatására - téglaport adagoltak a habarcsba.

4.6 Falban oltott mészhabarcs

Elődeink örölt, égetett fehérmész falban való oltásával is építkeztek. Szent István korában, hazánkban már így építették korai templomainkat. A németországi marienburgi kastély építésekor, 1300 körül új módszerként a kiégetett meszet összetörték, beszórták a kövek közé és csak akkor oltották. Ez az eljárás régóta kísért a 20. századi építési szakirodalomban, de korunkban alig akadt valaki, aki maga is sikerrel alkalmazta volna ezt a gyakorlatban. Észak-Európában (Norvégiába, Németország egyes területein) még a 19. század végén is használatos volt ezen módszer. Bár hatékonyságát azóta ismételten kétségbe vonták, ne feledjük, hogy 19. század előtti mestereink ismételten utalnak erre az eljárásra. Talán éppen ez az eljárás eredményezett elődeink építményein olyan korszerű, kemény vakolatot és falazóhabarcsot, amelynek szilárdsága meghaladja a jó minőségű portlandcement-habarcsét is, és amelyközépkori falazataink jellegzetessége.

Valószínűleg az egyik ok, ami miatt erről a módszerről leszoktak, e gyakorlat életveszélyessége volt. Az éppen oltódó mész ugyanis pattogva, fröccsenve sérüléseket okozhat.

4.7 Különféle mészhabarcsadalékok a történelem folyamán [5]

Az előző évezredben elődeink előszeretettel adagoltak szerves anyagokat is a mészhabarcsokba. Tapasztalataink alapján joggal úgy gondolták, hogy

- a zsíros adalékok növelik a habarcs víztaszító képességét,
- a fehérjetartalmú szerves anyagok fokozzák a mészhabarcs kötőképességét,
- bizonyos por alakú anyagok javítják a habarcsok felületi keménységét.

A vakolatok vízzáró képességét az ókorban növényi olajokkal fokozták. A régi görögök a meszes habarcsba sáfrányt és tejet is keverték. A rómaiak a fürdőkbe magas mésztartalmú, disznózsír adalékos kemény vakolatot készítettek, ez volt náluk a maltha.

A középkorban a mészhabarcsok tartósságát, rugalmasságát tojással fokozták (pl. a prágai Károly-híd építésénél). A mész a tojással és a tejjel vegyileg kapcsolódik, és megfelelő arányú keverékükből kazeines-mész alakul ki. Német nyelvterületen sört is keverték mészhabarcsokhoz és vakolatokhoz. Kínában mézet használtak erre a célra. Ez időben viasszal, földiszurokkal (ozokerit) és olyakor borral is erősítették a vakolatokat. Németalföldön faggyút is használtak erre a célra.

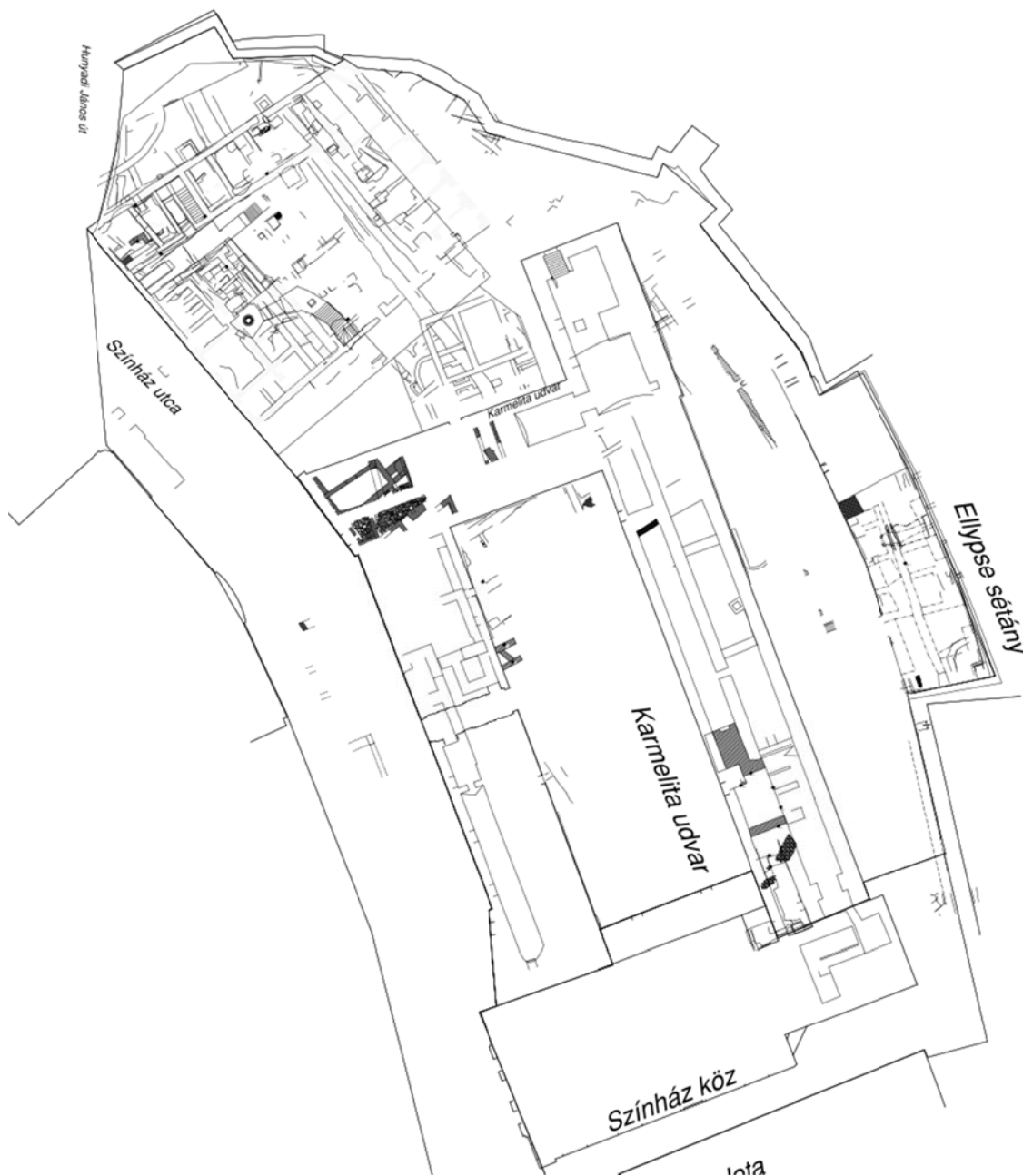
A középkor kedvelt vakolati segédanyaga volt a friss habarcsához bedolgozás előtt kevert disznózsír is. Tudjuk pl., hogy több kiemelkedő középkori épület (pl. Velencei Szent Márk templom) vakolóhabarcsához is disznózsírt keverték. A zsírt olvasztva, de nem forrón keverték a mészhabarcsokhoz, általában annyit, amennyi fölvelt, vagyis 1-2,5%-ot.

A zsír-, viasz-, és szuroktartalom a gondosan dörzsölt és simított vakolatokat fényessé, simává és víztaszítóvá tette. A vakolatok szilárdságának növelésére évszázadok óta sovány tejet, kazeint vagy túrót is adagoltak a mészhabarcsokba. a 20. század eleji tapasztalatok azt mutatják, hogy a tej vagy kazeinoldat aránya az 5%-ot, a túróé az 1%-ot nem haladhatja meg. Ha ez teljesül, a mészvakolat valóban gyorsabban szilárdul, és kiválóan keményedik, ráadásul a kazein elmeszesedik, és nehezen rothadóvá válik. A fehérjetartalmú vakolaterősítők általában színező hatásúak, a velük kezelt vakolatok mattsárga színűvé váltak.

Közép és Kelet-Európában a meszes vakolatokat gyakran több rétegből készítették. Az alsó rétegek anyaga többnyire tiszta mészhabarcs volt, a fedőrétegeket azonban szőrrel, szalmával kötött mészhabarcs alkotta. A fedőréteg gyakran földdel kevert, szalmás habarcs volt, ami keményre dögölve meglepően idő- és időjárásállóvá bizonyult.

5 Mintavételek

A mintavételt régészek koordinálták, így már ismert korú, kérdéses és ismeretlen korú mintákat egyaránt sikerült vennünk. A mintavétel során külön nehézséget jelentet, hogy számos helyszínen nehézkes volt a hozzáférés, az egyes rétegek nem voltak jól elkülöníthetőek az építőkövektől. Több helyen is olyan szilárdak voltak a habarcsok, hogy alig lehetett lefejtetni belőlük egy-egy darabot, vagy éppen csak törmelék esett le a felületükről. Más esetekben a habarcs rosszabb minőségű volt és elmorzsolódott, ahogy kivettük a falból. A mintákról készült fényképeket az I. melléklet tartalmazza.



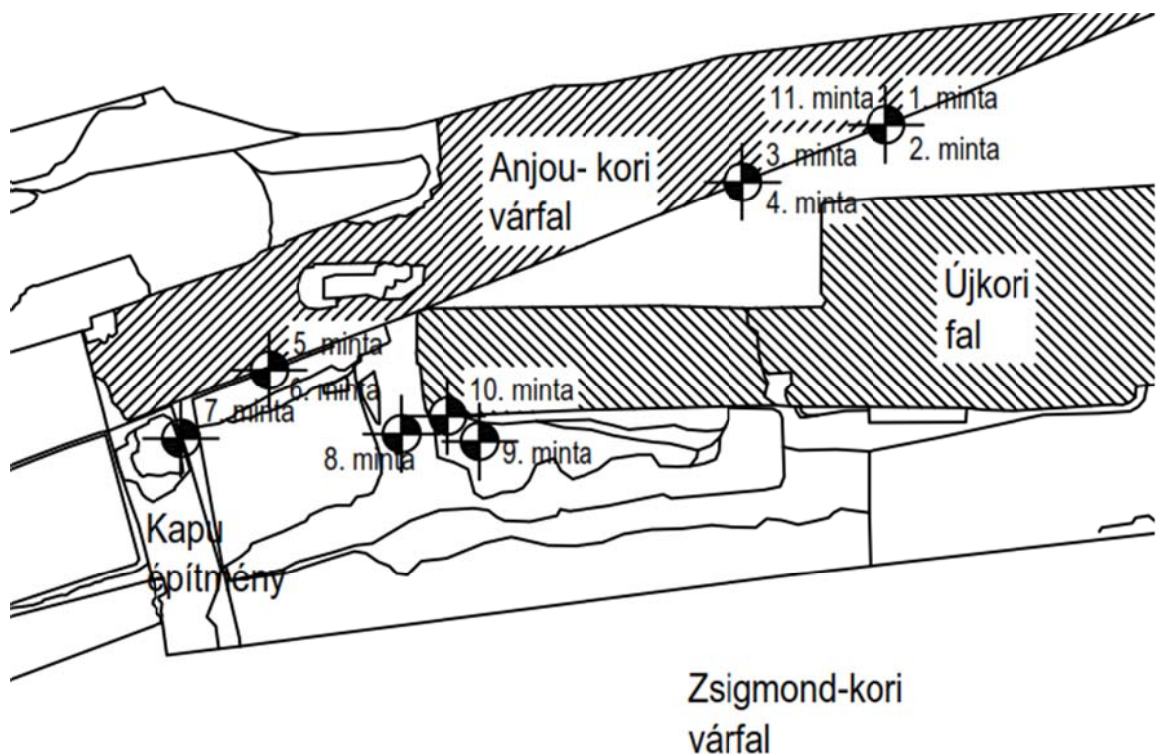
6. ábra A püspökkert és a Karmelita kolostor régészeti felmérési rajza

A habarcsminták megnevezése mellett ismertetjük a mintavételi hely régészek által korábban már meghatározott, vagy becsült korát.

5.1 Oroszlános kapu, Stöckl-lépcső területéről vett minták

Az egyes minták pontos helye a 7. ábrán látható.

- 1) Anjou-kori habarcsvakolat a 2002/3 kifolyó fölött (11. ábra)
- 2) Anjou-kori falazóhabarcs a 2002/3 kifolyó fölött
- 3) Anjou-kori habarcsvakolat a 2002 fal és a 2005-ös újkori fal találkozási pontja fölött
- 4) Anjou-kori falazóhabarcs a 2002 fal és a 2005-ös újkori fal találkozási pontja fölött (11. ábra)
- 5) Anjou-kori habarcsvakolat, 2002 fal 2002/1 kifolyó alatt
- 6) Anjou-kori falazóhabarcs, 2002 fal 2002/1 kifolyó alatt (ZOKLI - kiszögellés)
- 7) Ismeretlen (talán Zsigmond korabeli?) falazóhabarcs, kapuépítmény déli fala, alapozás
- 8) Ismeretlen törmelékes omladék a 2005-ös újkori fal alapozása alatt/mellett, falazóhabarcs és téglamaradvány
- 9) Ismeretlen bezuhant faltömb a 2005-ös újkori fal ÉNY-i alapozása alatt/mellett, falazóhabarcs és téglamaradvány
- 10) Újkori 2005 fal alapozásának ÉNY-i sarkából vett falazóhabarcs
- 11) Anjou-kori falazóhabarcs a 2002/3 kifolyó fölötti falkoronából (11. ábra)

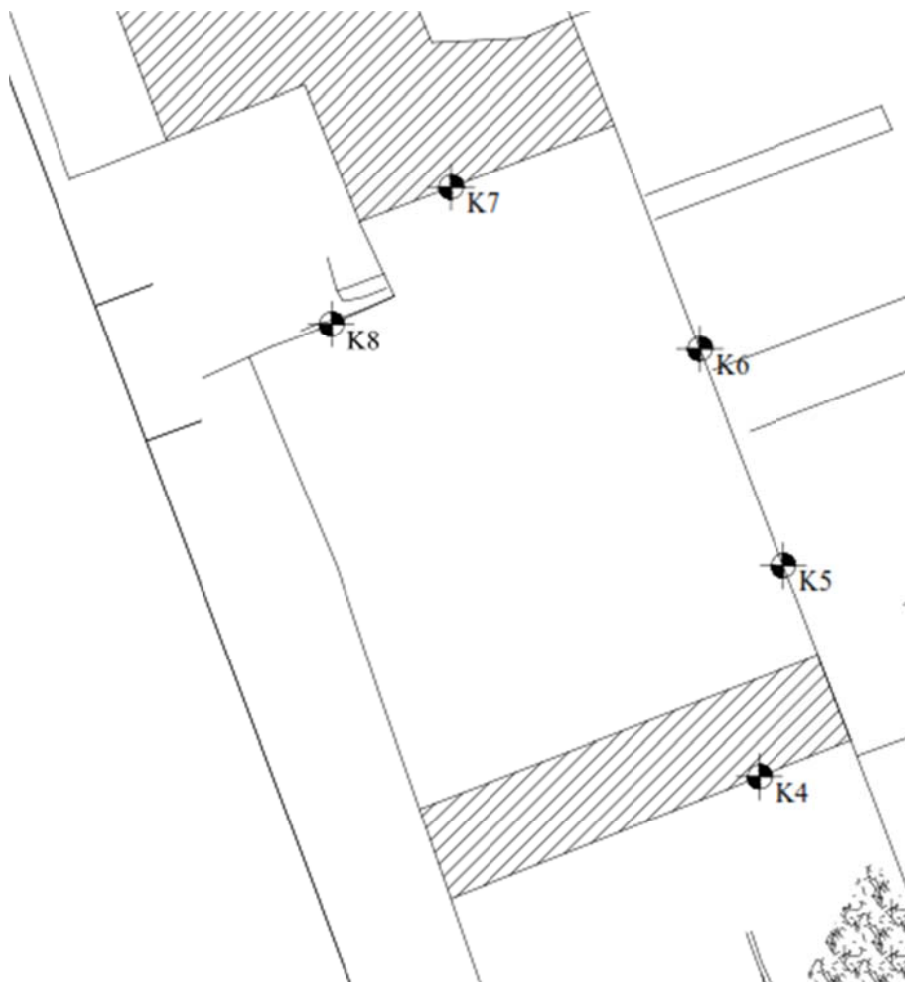


7. ábra Az oroszlános kapu és a Stöckl lépcső régészeti felmérési rajza

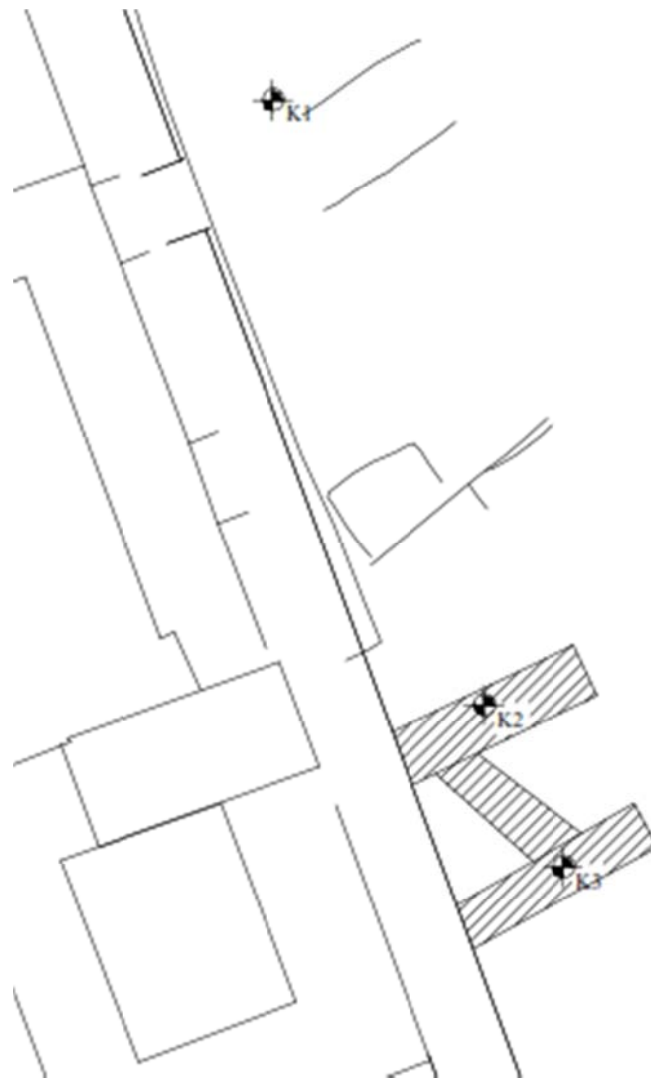
5.2 Karmelita kolostorból vett minták

Az egyes minták pontos helye a 8. és a 9. ábrán látható.

- K1) 328. szelvény: Karmelita udvarból vett falazóhabarcs, falazat teteje, kora ismeretlen
- K2) 329. szelvény, SE2043: Karmelita udvarból vett falazóhabarcs, kora ismeretlen
- K3) SE2119: Karmelita udvarból vett falazóhabarcs és téglamaradvány, kora ismeretlen
- K4) 102. szelvény: SE958: bentől vett falazóhabarcs, kora ismeretlen
- K5) 102. szelvény: bentől vett falazóhabarcs, boltívből, kora ismeretlen
- K6) 102. szelvény: ugyanitt falból vett falazóhabarcs, kora ismeretlen
- K7) 102. szelvény: bentől vett falazóhabarcs, kora ismeretlen
- K8) 102. szelvény: bentől, pillérből vett falazóhabarcs, kora ismeretlen
- K9) 102. szelvény: bentől, pillérből vett falazóhabarcs, kora ismeretlen (11. ábra)



8. ábra A Karmelita kolostor régészeti felmérési rajza, részlet

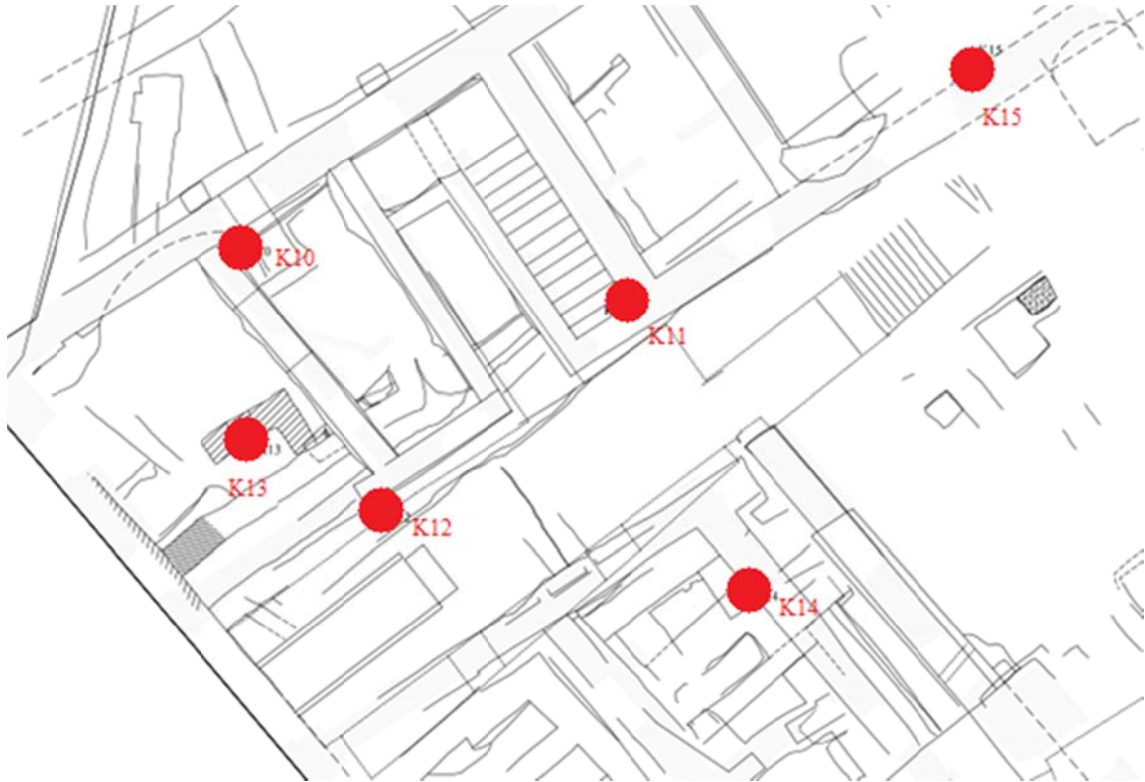


9. ábra A Karmelita kolostor régészeti felmérési rajza, részlet

5.3 Püspökkertből vett minták

Az egyes minták pontos helye a 10. ábrán látható.

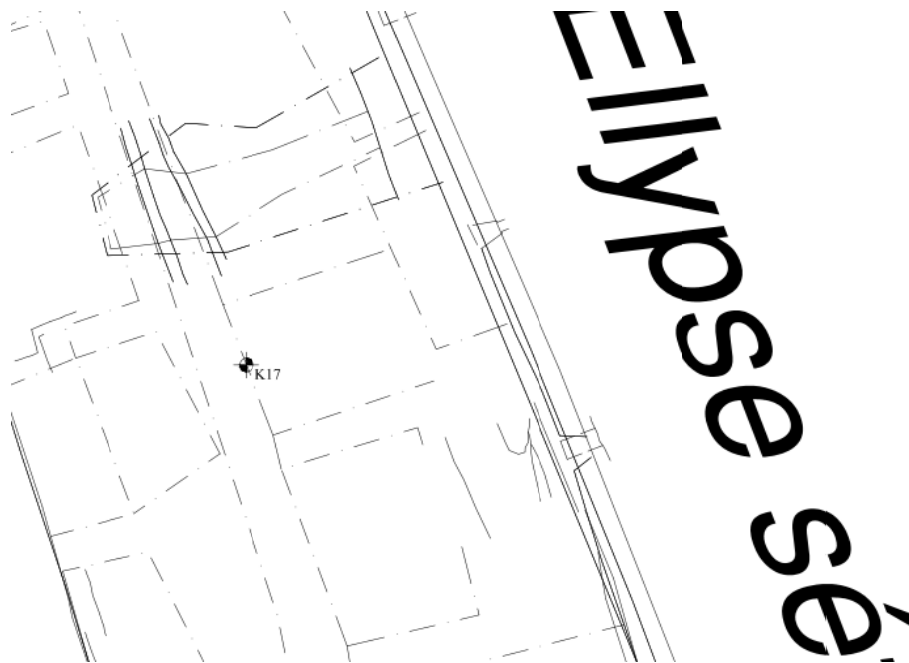
- K10) 1. szelvény: 16. század
- K11) 1. szelvény: 14-15. század?, kérdéses
- K12) 7. szelvény: pincefal, 14-15. század?, kérdéses
- K13) 7. szelvény: középkor?, kérdéses
- K14) 4. szelvény: középkor?, kérdéses
- K15) 15. szelvény: 16. század
- K16) boltívből vett falazóhabarcs, középkor



10. ábra A püspökkert régészeti feltárási térképe, részlet

5.4 Ellypse sétányról vett minta

K17) Árpádkori falazóhabarcs



11. ábra Az Ellypse terasz régészeti felmérési térképe, részlet

6 A vizsgálatok ismertetése

A történelmi épületek vizsgálata során már sokakban felmerült, hogy a habarcsokat vizsgálják, hiszen ezt az anyagot a legtöbb fennmaradt építménynél alkalmazták. Egyik kutatás a habarcsok előállítási technológiáit [6] vizsgálta, míg másik esetben a kémiai összetétel alapján próbálták meg meghatározni az épület egyes helységeit [7]. Azonban ezen kutatások egyike sem az általunk kitűzött célt igyekezett elérni, hiszen már ismert korú mintákkal dolgoztak. Ami miatt mégis érdekesek lehetnek a kutatás szempontjából, hogy milyen kutatási módszerrel dolgoztak és azokból miket tudtak meghatározni.

6.1 A vizsgálati minták előkészítése

A vizsgálatokat megelőzően a mintákat laboratóriumi körülmények ($22\pm 2^\circ\text{C}$, $\text{RH}=65\%$) között kondicionáltuk. A mintákat achátmozsárban őröltük meg, majd ezeket a pormintákat használtuk fel mind a röntgendiffrakciós, mind a termoanalitikai vizsgálatokhoz, illetve a piknométeres vizsgálathoz.

A szemeloszlás vizsgálathoz és a testsűrűség méréshez a mintákat előkészítését az adott vizsgálat rövid leírásakor ismertetjük.

6.2 Makroszkopikus leírás

A mintákat először a szabadszemmel megállapítható tulajdonságaik alapján osztályoztuk. Ezek a tulajdonságok a következők voltak: a minták színe, azok állaga, a benne lévő adalékanyagok megjelenése, számossága és az esetlegesen fellelhető növényi adalékok megléte.

6.3 Röntgendiffrakciós (XRD) fázisanalízis – pordiffrakciós módszer

Röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel a kristályos fázisok kimutatása lehetséges. Az általunk használt pordiffrakciós módszer főként többfázisú minták ásványi összetevőinek minőségi kimutatására használjuk.

A mérésekhez a PHILIPS PW 3710 diffraktométert használtuk a következő paraméterekkel:

- röntgen cső: Cu (réz) anódú;
- generátor feszültség [kV]: 40;
- generátor áram [mA]: 30;
- röntgensugárzás hullámhossza [Å]: 1,5406,
- mérési szögtartomány [2θ , $^\circ$]: 3 – 70;
- monokromátor használatával.

A mérési adatok kezelését, kiértékelését a PHILIPS PC-APD (Version 3.5) szoftverének segítségével és a TOTAL ACCESS DIFFRACTION DATABASE PDF-2 (PLUS 42) adatbázis felhasználásával végezzük.

6.4 Termoanalitikai fázisanalízis – derivatográfiás (TG/DTG/DTA) vizsgálat

Derivatográfiás módszerrel a minta azon fázisai mutathatók ki, amelyek termikusan aktívak az 1000°C-ig történő felfűtés során. A módszert főként a röntgendiffrakciós módszerrel minőségileg kimutatott fázisok mennyiségi elemzésére alkalmazzuk, amennyiben ezen fázisok a vizsgálati hőmérséklet tartományon belül valamilyen tömegváltozással járó átalakulást szenvednek. A két fázisanalitikai módszer (röntgendiffrakciós és derivatográfiás módszerek) együttes alkalmazása a minták fázisainak teljesebb megismerését teszi lehetővé.

A derivatográfiás fázisanalízis egy szimultán termoanalitikai módszer, amellyel a kemence felfűtési hőmérséklete (T) mellett egyidejűleg jutunk TG (termogravimetriás), DTA (differenciál termoanalízis) és DTG (derivatív termogravimetriás) jelhez.

A mérésekhez a Derivatograph Q-1500 D készüléket használtuk a következő paraméterekkel:

- referencia anyag: alumínium-oxid (Al_2O_3),
- felfűtési sebesség: 10°C/perc,
- hőmérséklet tartomány: 20-1000°C,
- tégely: korund (Al_2O_3),
- levegő atmoszférában.

A mérési eredmények kiértékeléséhez a WINDER (Version 4.4) szoftvert használtuk fel.

6.5 Piknométeres sűrűség vizsgálat

A piknométeres fajsúlyméréshez a mintákat achátmoszárban megőröltük. A piknométereket először üresen mértük le, majd a porított mintával együtt. (12. ábra) A méréseket minden esetben hőmérővel együtt végeztük, mivel a későbbiekben a hőmérsékletet is tudnunk kell a számítások elvégzéséhez. Következő lépésként a mintákat izopropil alkoholban elkeverve mértük meg, majd a piknométert kiürítettük és desztillált vízzel megtöltve mértük le újból. Mindkét esetben rögzítettük a folyadékok hőmérsékletét a későbbi számításokhoz.



12. ábra Piknométeres vizsgálat egyes lépései

6.6 Testsűrűség és látszólagos porozitás vizsgálata

A vizsgálat során a minták légszáras tömegének mérése után 60°C-os szárító szekrénybe helyeztük azokat, tömegállandóság eléréséig. Ezt követően megmértük a minták szárított tömegét, majd vízzel telítettük őket. Megmértük a minták vízzel telített tömegét, majd a víz

alatti tömegét (13. ábra). A telítés során több minta jelentősen morzsolódott, ezért ezeket a telített tömeg mérése után újra kellett szárítanunk, majd a szárított tömeg mérését megismételtük.

A vizsgálat segítségével meghatározható a minták nedvességtartalma [m%], vízfelvétele [m%], testsűrűsége [kg/m³], látszólagos porozitása [%].

Testsűrűség és látszólagos porozitás mérése:

$$\text{Testsűrűség} = \frac{\text{szárított tömeg}}{\text{vízzel telített tömeg} - \text{víz alatti tömeg}}$$

$$\text{Látszólagos porozitás} = \frac{\text{vízfelvétel} * \text{testsűrűség}}{1000}$$



13. ábra Testsűrűség mérés egyes lépései

6.7 Szemeloszlás meghatározása

A habarcsmintákat hígított, 10%-os sósavban (HCl) áztattuk szétesésig. Az így visszamaradt anyagot leszűrtük, kiszárítottuk, majd szitasoron szétválasztottuk szemcseméret szerint (14. ábra). Ezt követően meghatároztuk a szemeloszlási görbéket.



14. ábra A szemeloszlás vizsgálat lépései

6.8 Teljes porozitás meghatározása

A piknométeres vizsgálat során meghatározott sűrűség és a testsűrűség vizsgálat eredményeként kapott sűrűség segítségével meghatározható a minták teljes porozitása a következő egyszerű képlet segítségével:

$$p = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_A}$$

Ahol p a teljes porozitás, ρ_T az anyag testsűrűsége kiszárított állapotban (g/cm^3), ρ_A az anyagsűrűség kiszárított állapotban.

7 A vizsgálati eredmények

7.1 A minták makroszkopikus leírása

A minták műszeres vizsgálatai előtt a szabad szemmel megállapítható fizikai tulajdonságaikat írtuk le. Az egyes minták esetében külön figyeltünk arra, hogy milyen a megjelenése, felismerhető-e benne bármilyen növényi adalékanyag, stb. A mintákat csoportosítottuk a megfigyeléseink alapján. Egyes habarcsok sokkal keményebbek voltak a többinél, míg mások már attól kezdtek szétesni, hogy kézbe vettük őket. (1.a és 1.b táblázat).

1.a táblázat Fizikai tulajdonságok, K1 – K17 minták

Szín	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17
barna																	
szürkésbarna																	
szürke																	
piszkosfehér																	
világosbarna																	
barnásfehér																	
fehér																	
homok színű																	

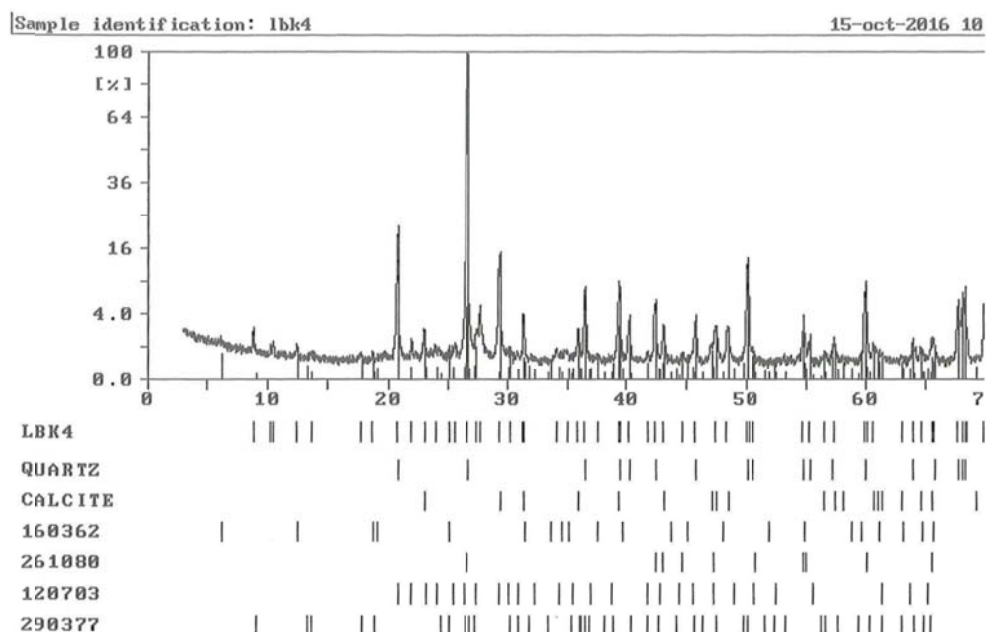
1.b táblázat Fizikai tulajdonságok, 1 – 11 minták

Szín	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
barna											
szürkésbarna											
szürke											
piszkosfehér											
világosbarna											
barnásfehér											
fehér											
homok színű											

7.2 Röntgendiffrakciós (XRD) fázisanalízis eredményei

Röntgendiffrakciós (XRD) módszerrel kimutatott ásványok (15. ábra) közül leggyakrabban kalcit, kvarc, muszkovit, elemi szén, anhidrit, albit és dolomit fordult elő a vizsgált habarcsokban. A vizsgálattal olyan ásványfázisok jelenlétét is megpróbáltuk kimutatni, amelyek valamilyen cement felhasználására utalnak. A minták röntgendiffrakciós vizsgálatának részletes eredményeit a III. számú melléklet tartalmazza.

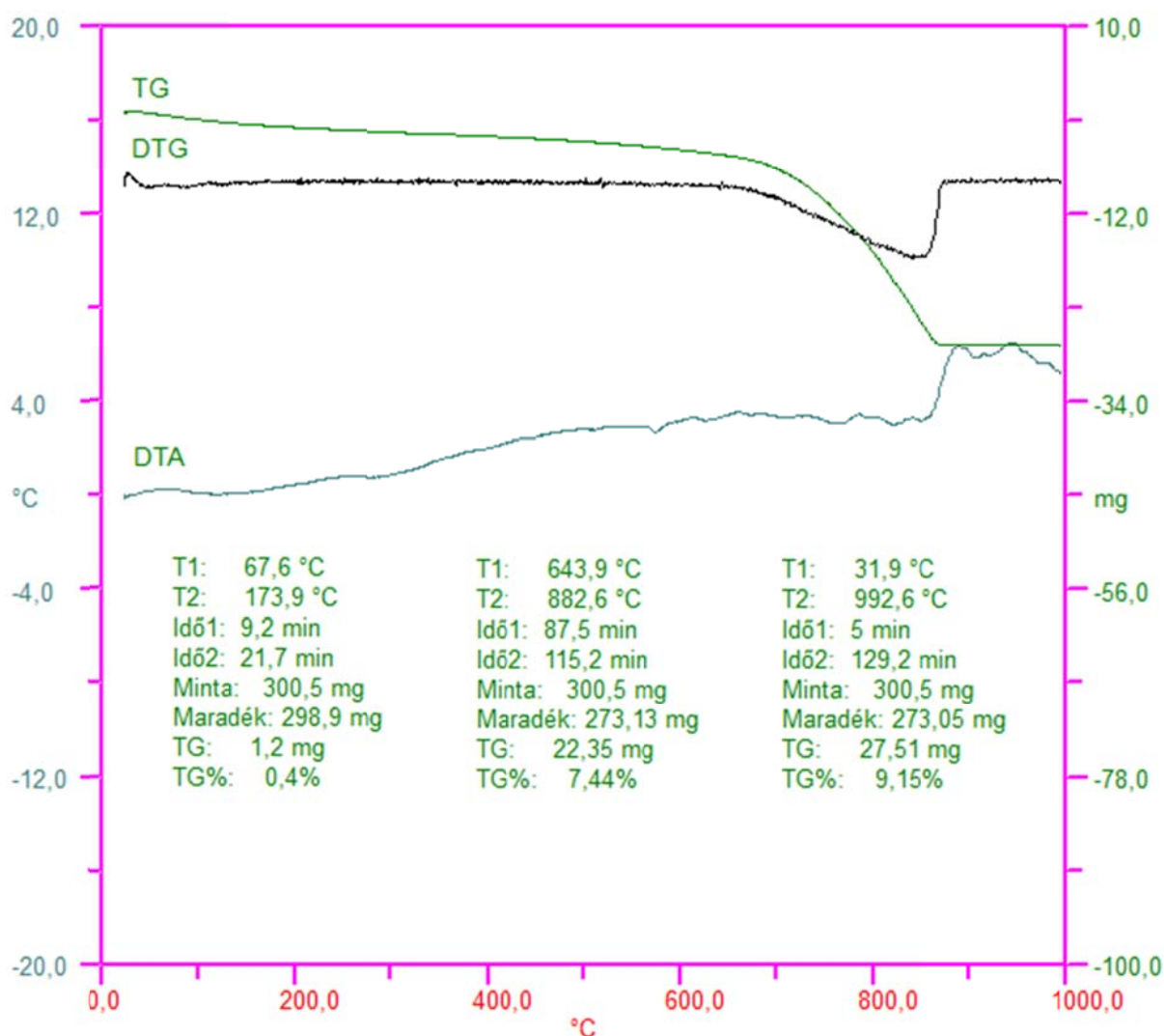
K4



15. ábra Röntgendiffrakciós vizsgálat eredménye – K4 minta

7.3 Derivatográfias fázisanalízis eredményei

Ezen módszerrel elsősorban az adott mintában megtalálható kötőanyag mennyiségének meghatározása volt a célunk. Ezen túlmenően a szerves anyag, vagy esetleges cement felhasználása utaló jelek is igazolhatóak a módszerrel. A 16. ábrán a K5 minta derivatográfias vizsgálatának eredménye látható. További vizsgálati eredmények a IV. számú mellékletben találhatóak.



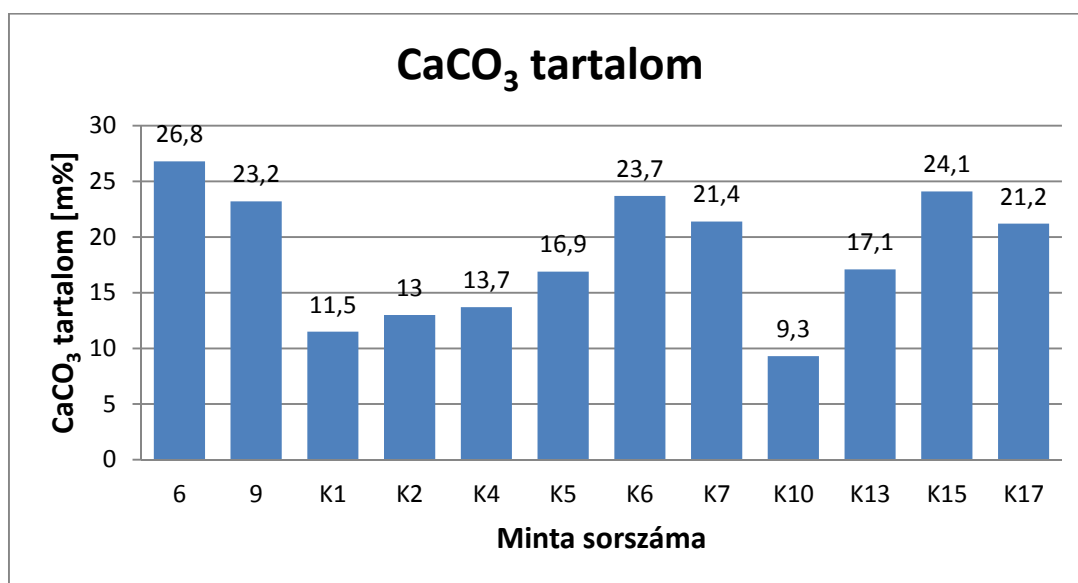
16. ábra Derivatográfias vizsgálat eredménye – K5 minta

A derivatográfias vizsgálat termogravimetricus adataiból ki lehet számolni a habarcs minta kötőanyag tartalmát. Ezt a CaCO_3 hőbomlás reakció egyenletének ismeretében, a tömegszázalékban kifejezett tömegvesztés ($\Delta m_{\text{CO}_2}/m_{\text{minta}} \cdot 100\%$) és a sztöchiometriai szorzófaktor szorzataként tudjuk kiszámolni. A $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ reakcióegyenletből számolható sztöchiometriai szorzófaktor 2,27 ($= f_{\text{CaCO}_3}$).

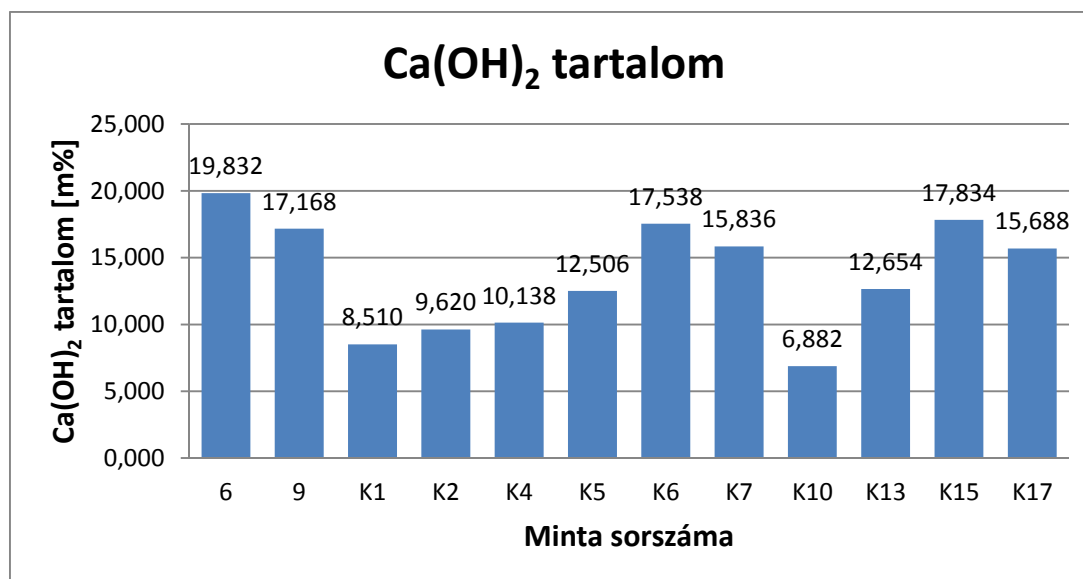
$$7,44 \text{ m\%} \times 2,27 = 16,9 \text{ m\% CaCO}_3$$

Ez azt jelenti, hogy a K5 mintában a szilárdulási folyamat (karbonátosodás) eredményeképpen 16,9 m% CaCO_3 keletkezett. A szilárdulási folyamat a tiszta oltott mész esetében a $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ reakcióegyenlettel írható le. Az ebből számolható sztöchiometriai szorzófaktor 0,74. Tehát 16,9 m% CaCO_3 12,5 m% Ca(OH)_2 -ből keletkezhet. Hasonló módon lehet a többi minta esetében is visszszámolni, ha feltételezzük, hogy a CaCO_3 jelenléte a tiszta oltott mész szilárdulásának következménye. A minták CaCO_3 és Ca(OH)_2 tartalmait az 1. és a 2. diagramon ábrázoltuk.

A kalcium-karbonát és portlandit (Ca(OH)_2) értékek ismeretében azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a habarcsok kötőanyag tartalma általában jóval kevesebb volt, mint azt a történelmi habarcsok esetében az irodalom említi [5].



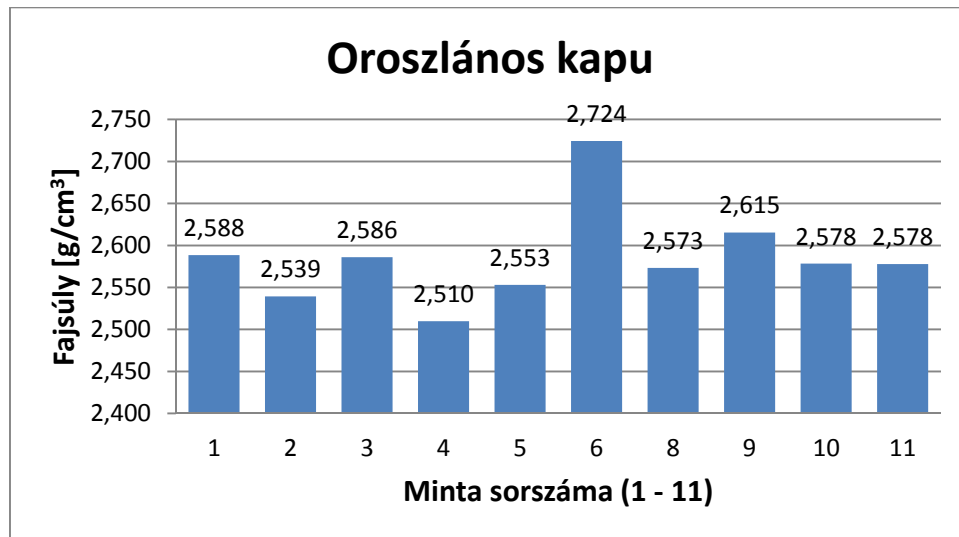
1. diagram A minták CaCO_3 tartalmai



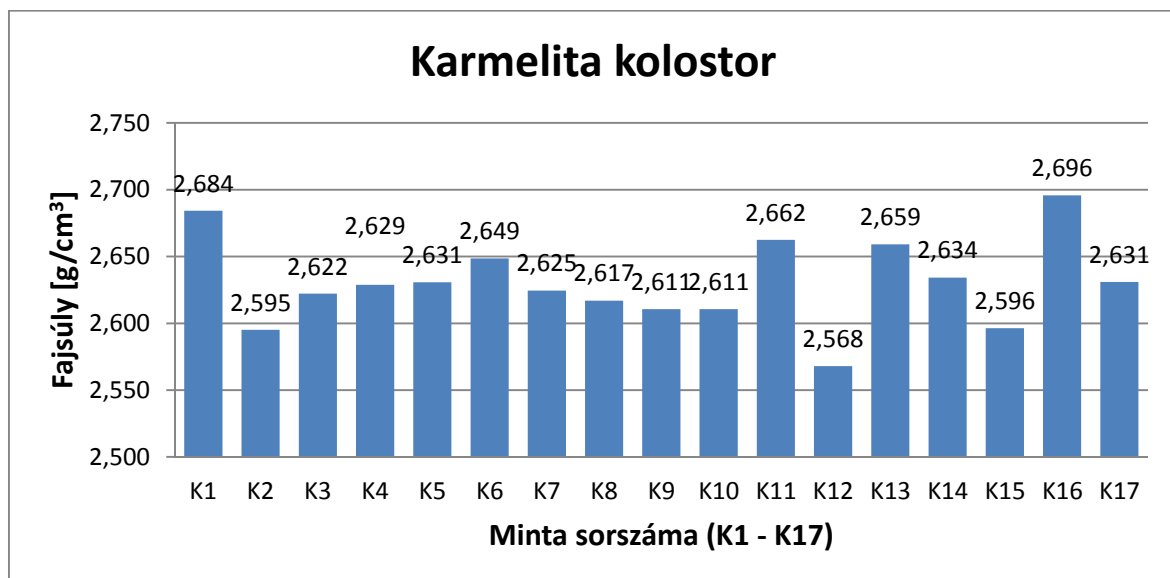
2. diagram A minták Ca(OH)_2 tartalmai

7.4 Piknométeres sűrűség vizsgálat eredményei

A vizsgálat az előzetes elvárásoknak megfelelően egymáshoz viszonylag közeli értékeket adott eredményül. A porminták sűrűségvizsgálatának eredményei 2,51 és 2,72 g/cm³ értékek közt helyezkednek el.



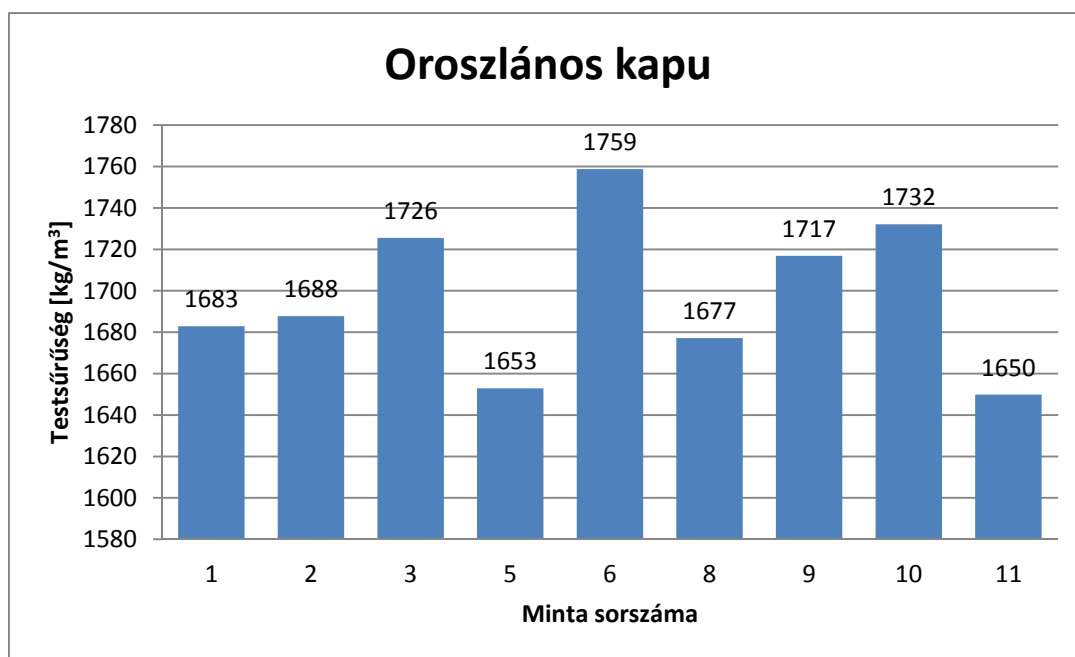
3. diagram Fajsúly vizsgálat eredményei az Oroszlános kapunál



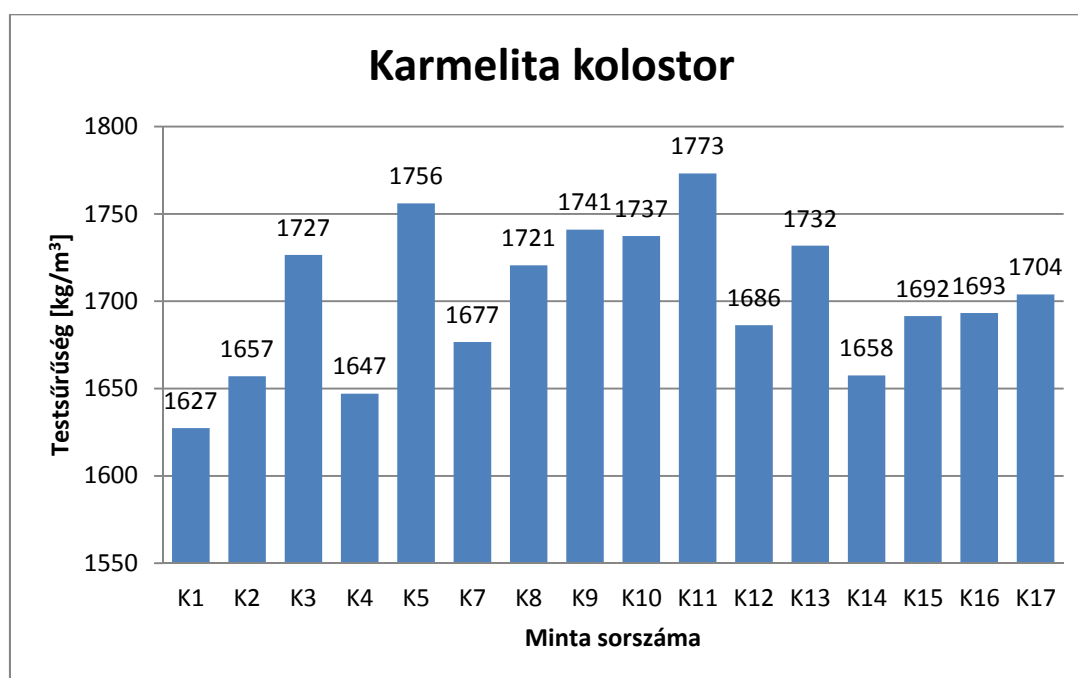
4. diagram Fajsúly vizsgálat eredményei a Karmelita kolostornál

7.5 Testsűrűség vizsgálat eredményei

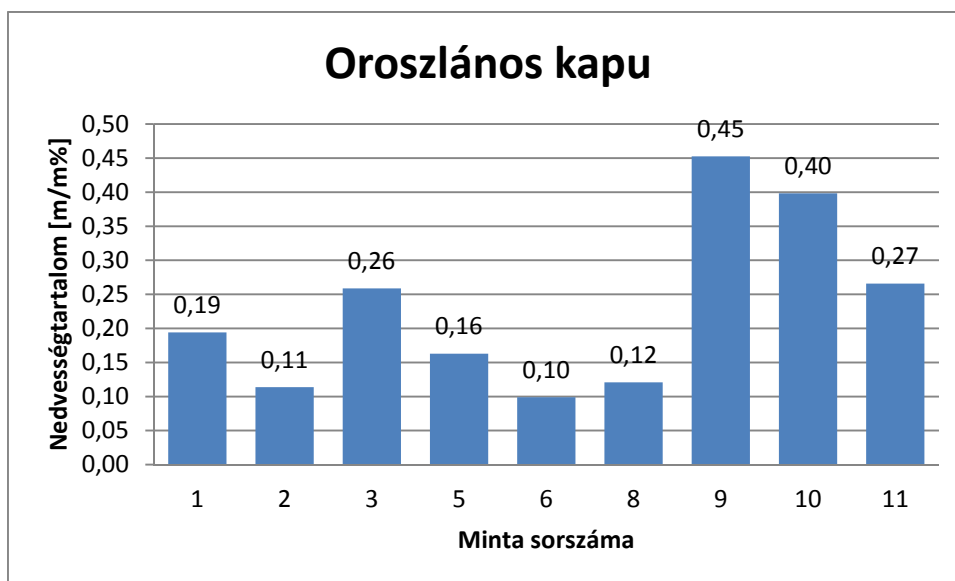
A vizsgálat során meghatároztuk a habarcsminták nedvességtartalmát légszár az állapotban, amely $0,09-1,23 \frac{m}{m}\%$ között alakult. A telítés után mért vízfelvétel értékei $6,44$ és $19,91 \frac{m}{m}\%$ közt helyezkedtek el. A habarcsminták testsűrűsége 1627 és 1773 kg/m^3 ; látszólagos porozitása $10,63-33,68 \%$ közötti értékeket mutatott.



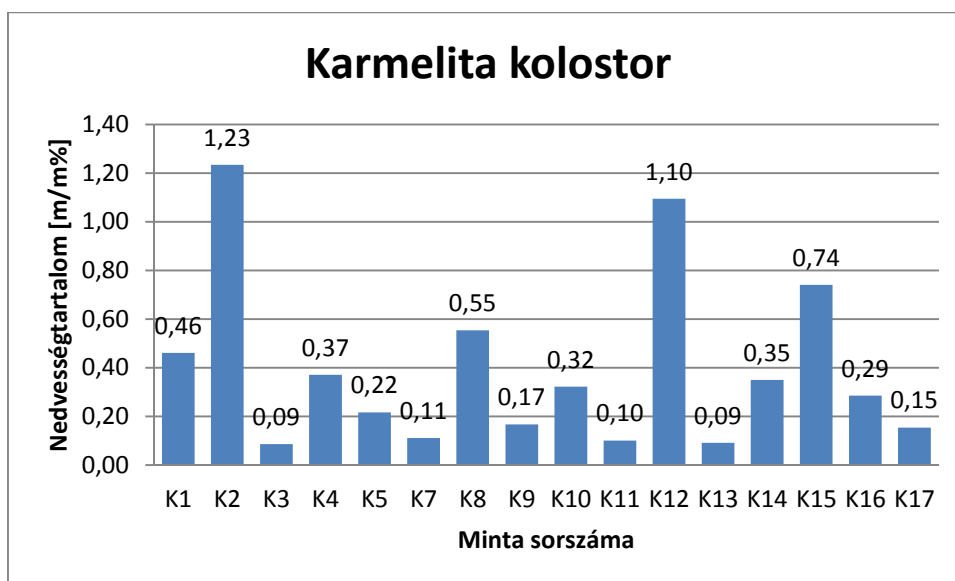
5. diagram Testsűrűség vizsgálat eredményei az Oroszlános kapu mintáin



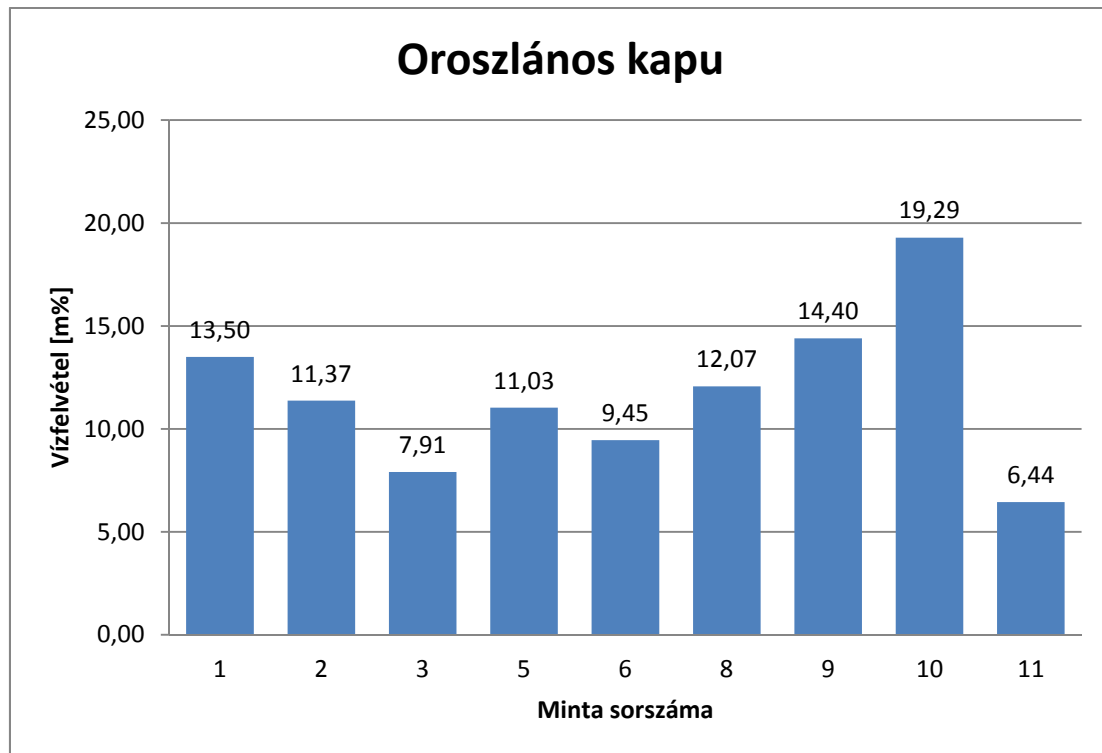
6. diagram Testsűrűség vizsgálat eredményei a Karmelita kolostor mintáin



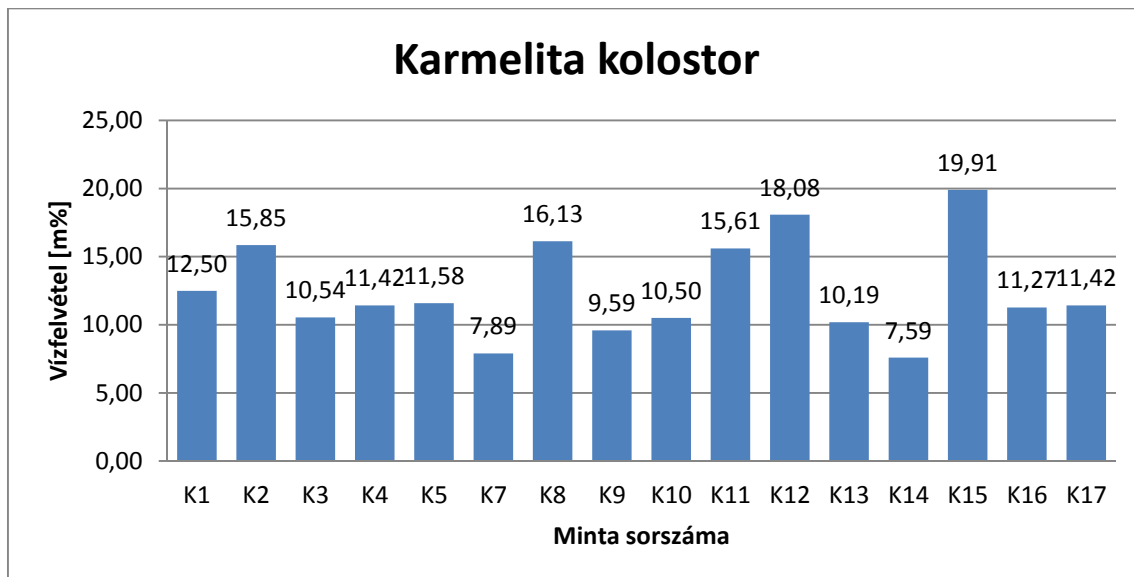
7. diagram Nedvességtartalom vizsgálat eredményei az Oroszlános kapu mintáin



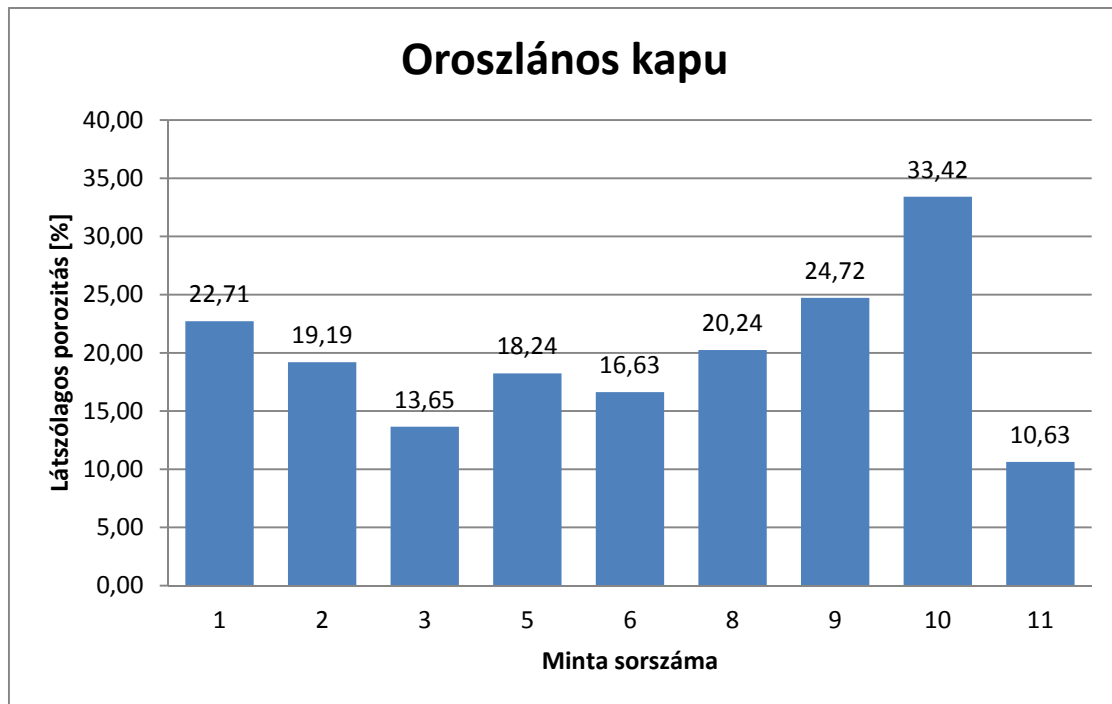
8. diagram Nedvességtartalom vizsgálat eredményei a Karmelita kolostor mintáin



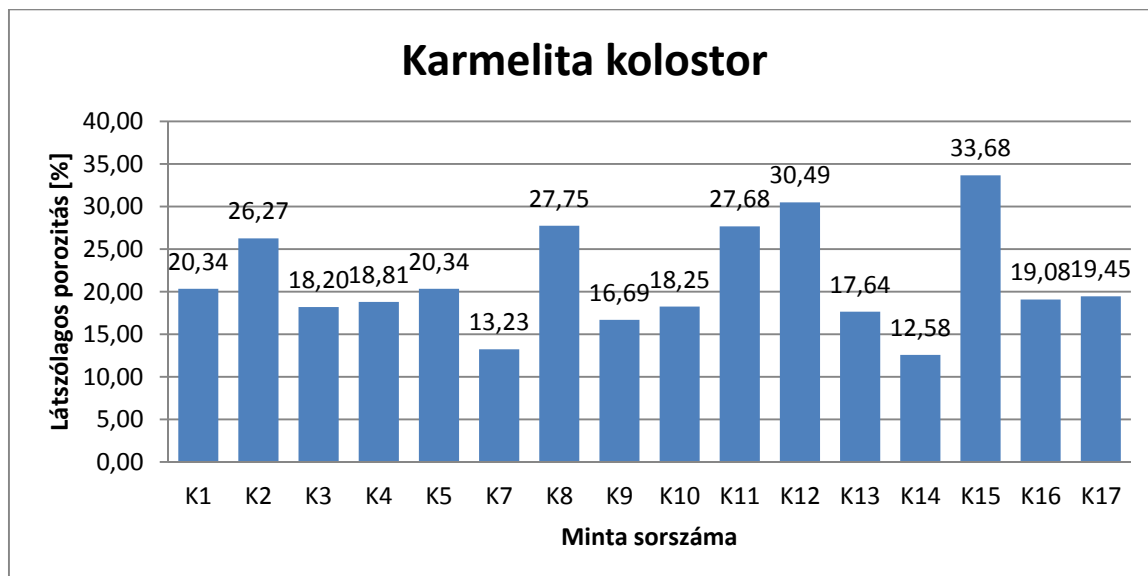
9. diagram Vízfelvétel vizsgálat eredményei az Oroszlános kapu mintáin



10. diagram Vízfelvétel vizsgálat eredményei a Karmelita kolostor mintáin



11. diagram Látszólagos porozitás vizsgálat eredményei az Oroszlános kapu mintáin



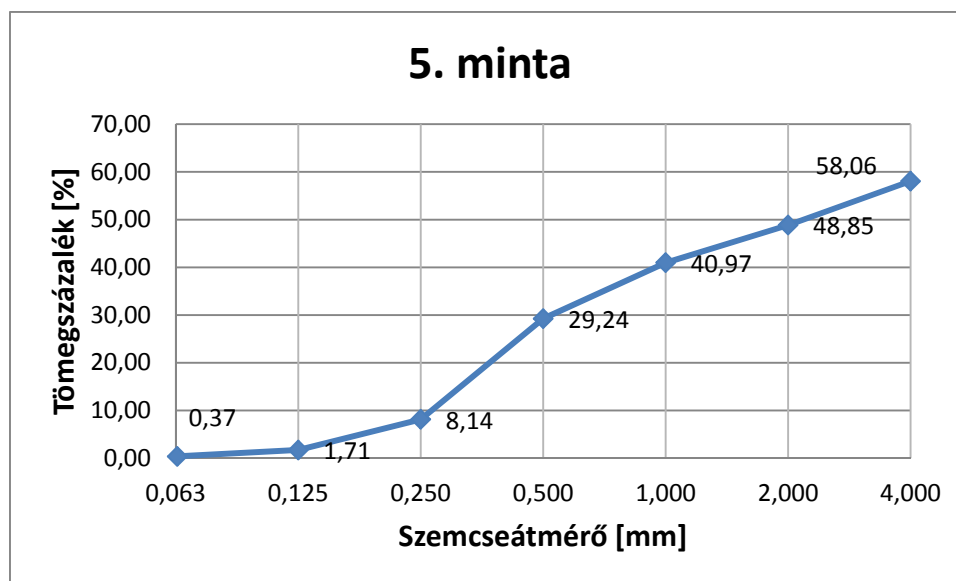
12. diagram Látszólagos porozitás vizsgálat eredményei a Karmelita kolostor mintáin

7.6 Szemeloszlás vizsgálat eredményei

A szemeloszlás meghatározásakor a mintavétel nehézségei miatt csak erősen korlátozott mennyiségű habarcs állt rendelkezésünkre. Ezért csak a habarcs „finom részét” tudtuk vizsgálni, így a szemeloszlási diagramok csak közelítik a tényleges eloszlásokat (2. táblázat; 13. diagram). A durvább szemcséket tartalmazó részeket sajnos nem tudtuk figyelembe venni, mivel egy-egy nagyobb szemcse jelentősen eltorzíthatja a mérési eredményeket. Az elkészült minták eredményeit a VI melléklet tartalmazza.

5. minta						
fennmaradt [g]:		0,07				
eredeti [g]:		18,70		mérhető:	18,70	
szita [mm]	üveggel [g]	üveg [g]	tömeg [g]	arány [%]	fennmaradt [%]	átesett [%]
4,000	44,32	36,49	7,83	41,94	41,94	58,06
2,000	71,65	69,93	1,72	9,21	51,15	48,85
1,000	71,78	70,31	1,47	7,87	59,03	40,97
0,500	74,77	72,58	2,19	11,73	70,76	29,24
0,250	76,53	72,59	3,94	21,10	91,86	8,14
0,125	70,79	69,59	1,20	6,43	98,29	1,71
0,063	73,65	73,40	0,25	1,34	99,63	0,37
0,00	73,76	73,69	0,07	0,37	100,00	0,00
		össz:	18,67	100,00		
		veszteség:	0,03	0,002		

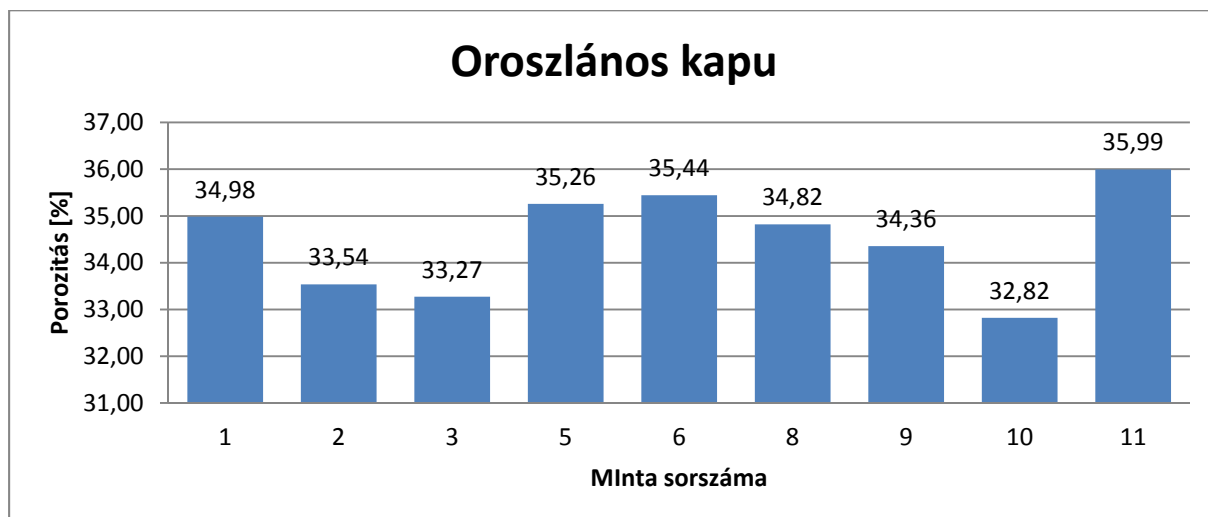
2. táblázat Szemeloszlás vizsgálat



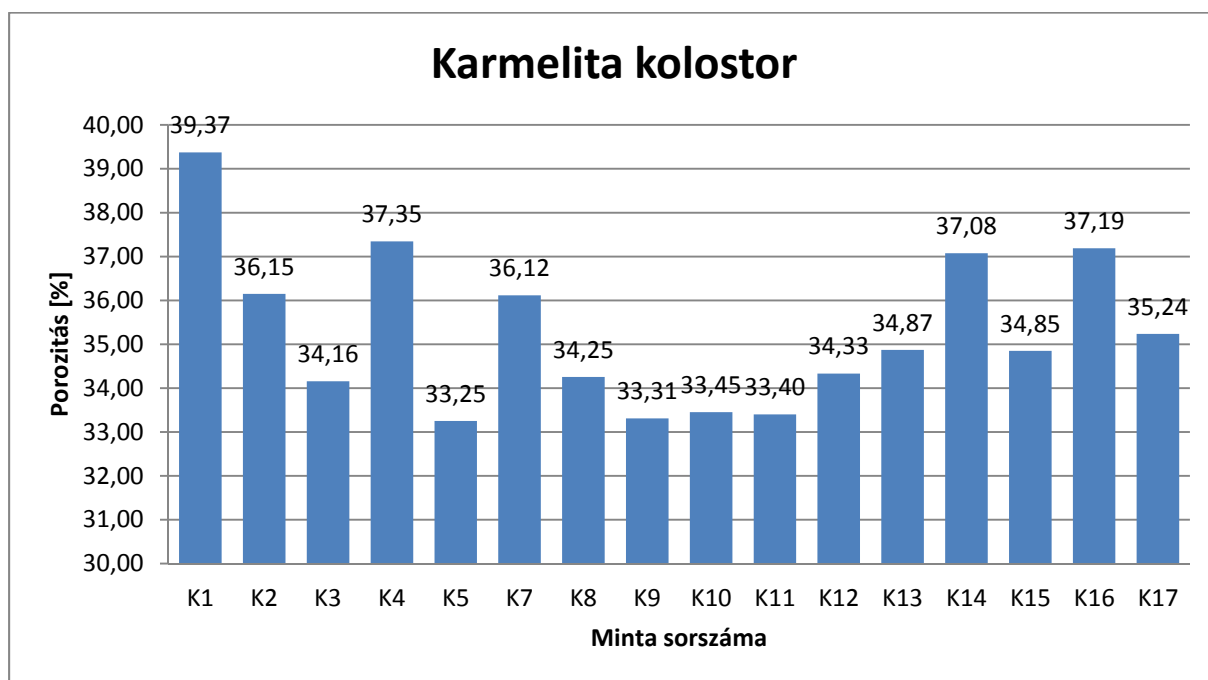
13. diagram Szemeloszlási görbe

7.7 Teljes porozitás meghatározás eredményei

A teljes porozitás számítása során a kapott értékek, a várakozásainknak megfelelően, nagyobbak lettek a látszólagos porozításra kapott eredményeknél. A kapott eredmények a 14. és a 15. diagramon láthatóak.



14. diagram Teljes porozitás vizsgálat eredményei az Oroszlános kapu mintáin

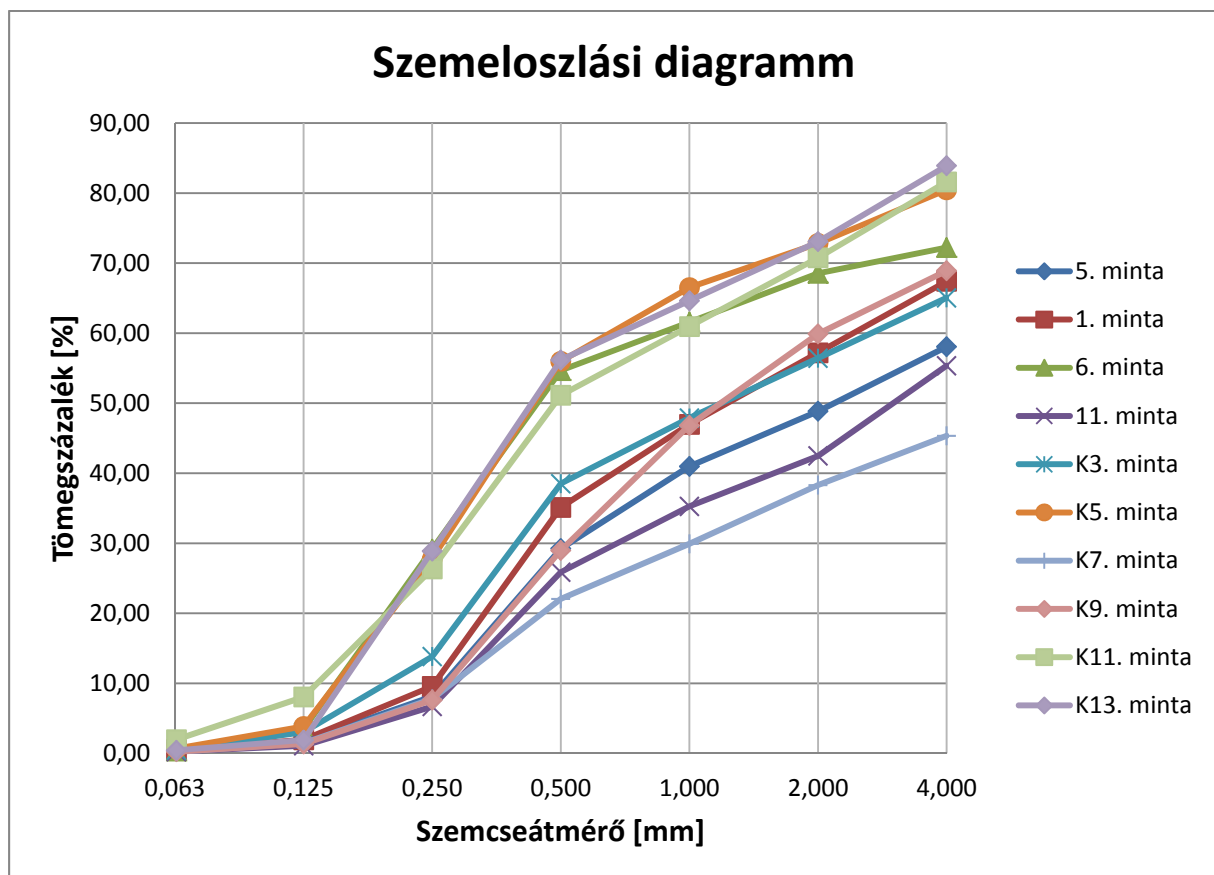


15. diagram Teljes porozitás vizsgálat eredményei a Karmelita kolostor mintáin

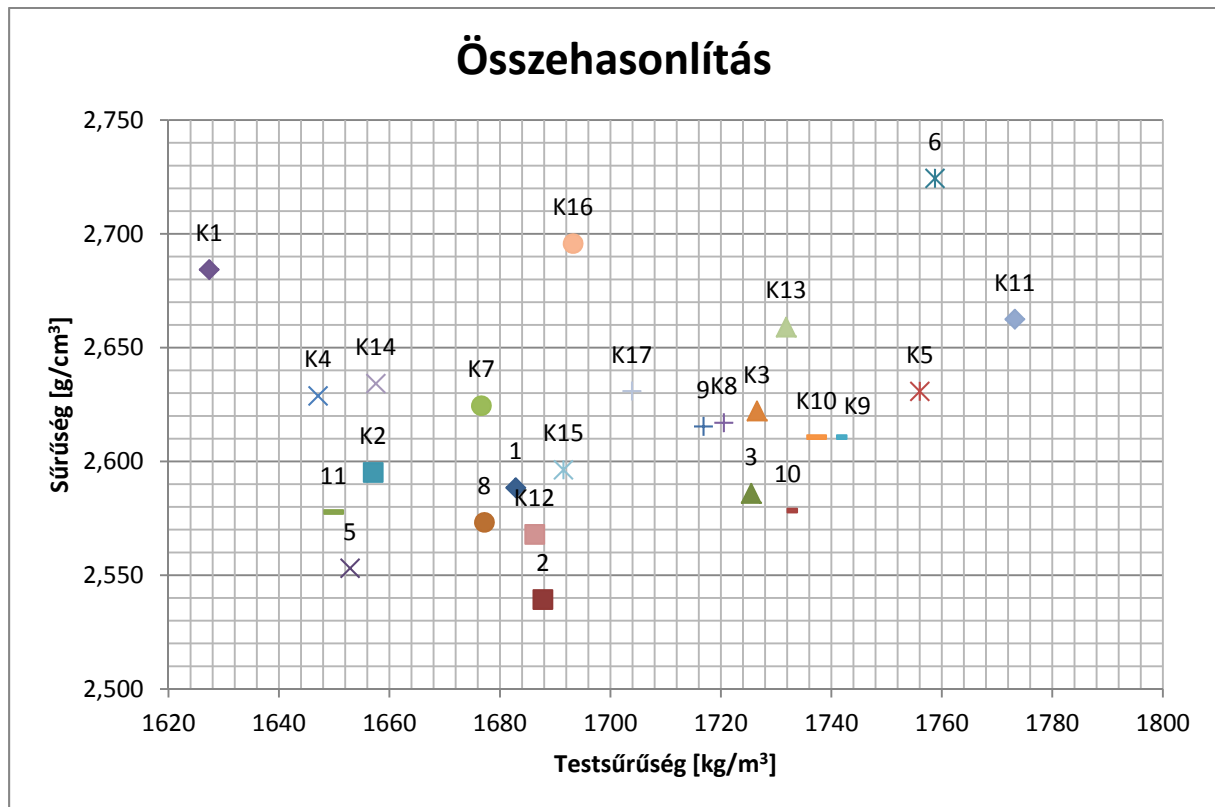
8 A vizsgálati eredmények értékelése

Mivel a kutatás célja az volt, hogy kiderüljön, az ismert korú habarcsminták segítségével megállapítható-e más, ismeretlen korú minták kora, elsősorban a mérési eredmények összehasonlítása segítségével próbáltunk következtetéseket levonni.

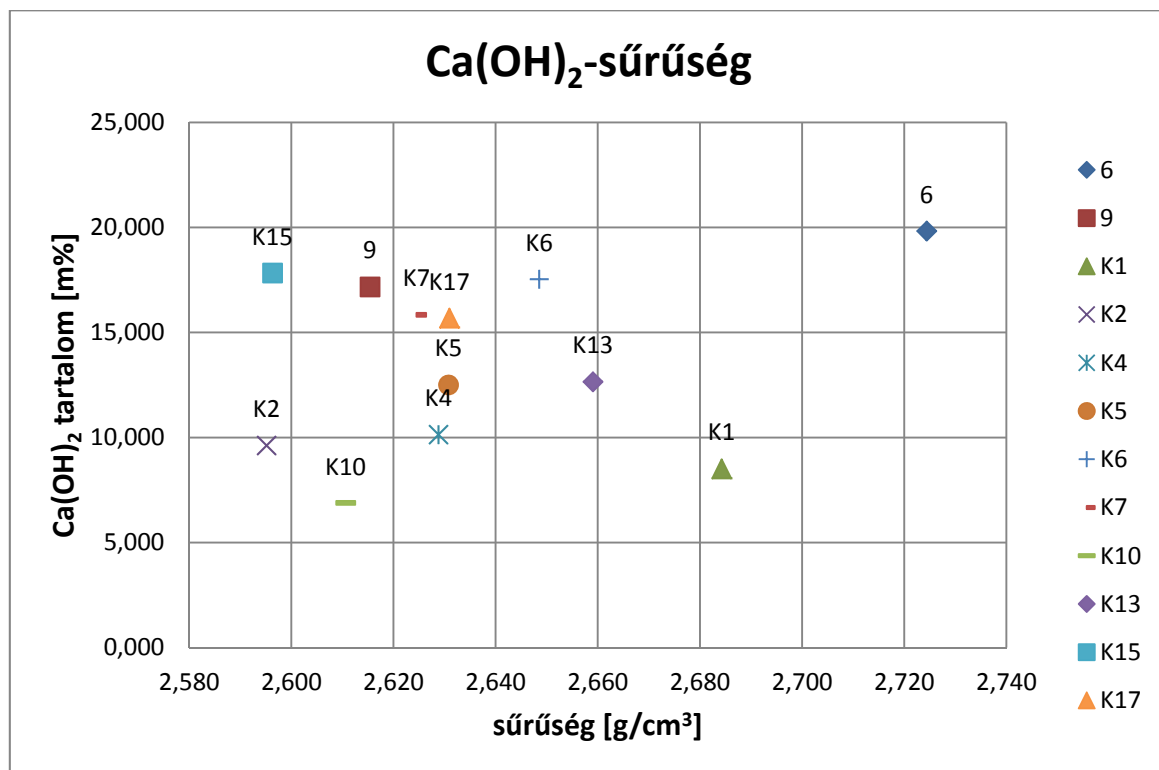
Az összehasonlításokat többféle módon végeztük el. Egyik módszer a régészek által meghatározott, illetve megbecsült korú habarcsok vizsgálati eredményeinek összevetése volt. Másik módszernél a szemeloszlási diagramon (13. diagram) a közel azonos szemeloszlási görbéjű minták közti összefüggéseket elemeztük a többi vizsgálati eredmény alapján. Harmadik esetben a sűrűséget és a testsűrűséget összesítő diagramról olvastuk le, mely mintáknak közel azonosak az értékei, majd ezt ellenőriztük a szemeloszlási diagramon, illetve összevetettük az XRD és derivatográfias vizsgálatok eredményeivel.



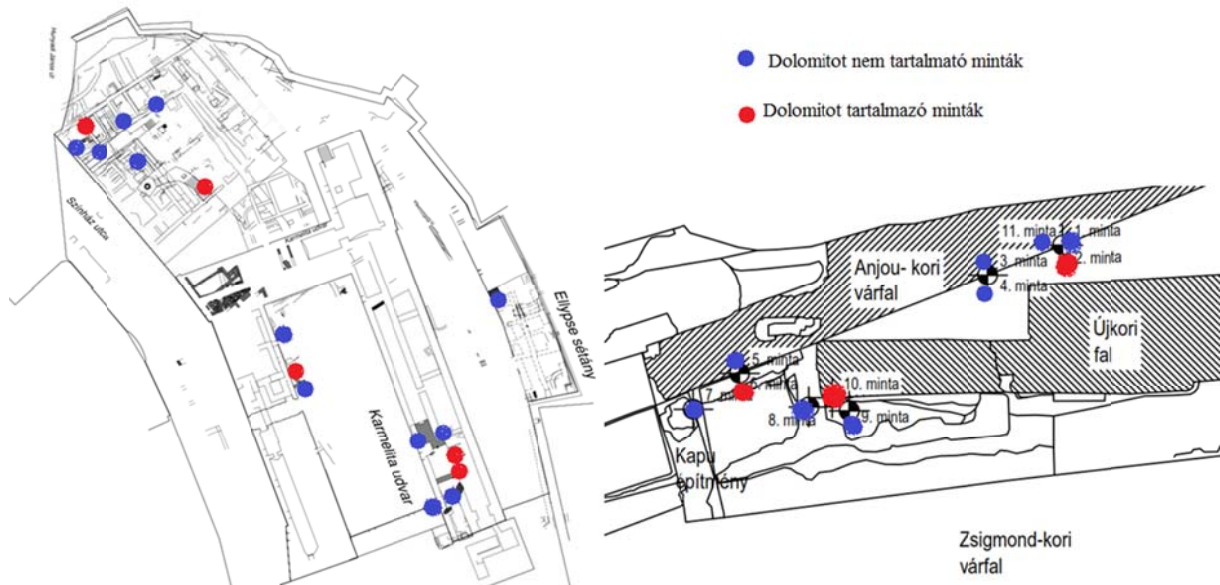
16. diagram Összesített szemeloszlási görbék



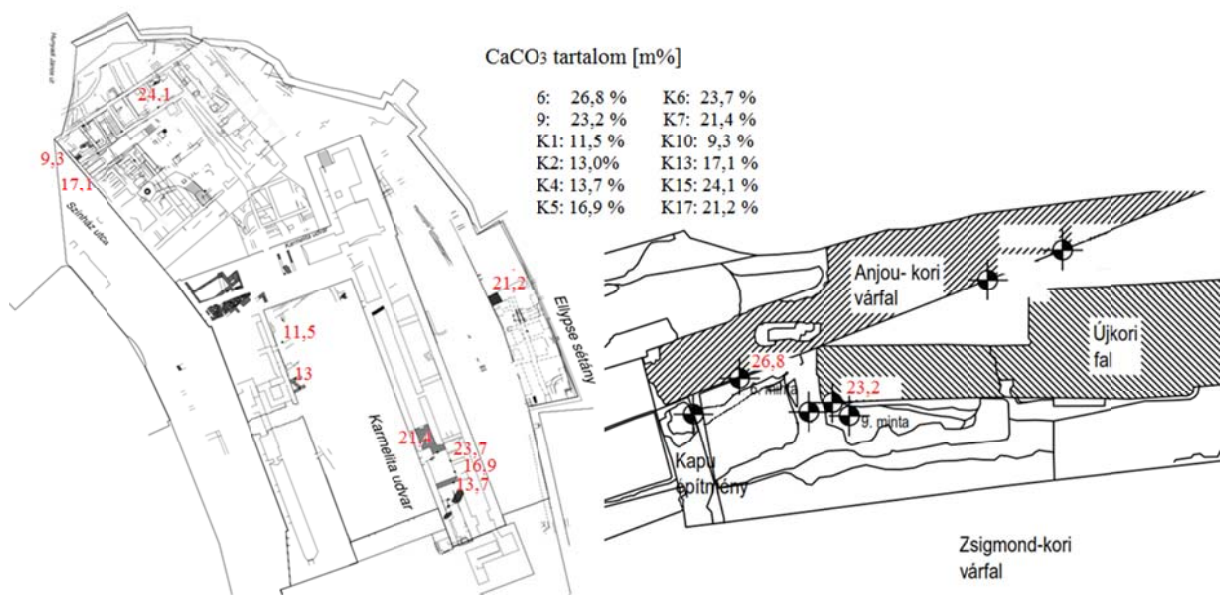
17. diagram Összehasonlított sűrűség-testsűrűség értékek



18. diagram Ca(OH)₂ sűrűség értékek



17. ábra A dolomit tartalmú minták területi elhelyezkedése



18. ábra A CaCO₃ tartalom megoszlása területileg

Ugyan a 6, K11, K5 és K13 minták szemeloszlási görbéi (16. diagram) közel azonosak, a sűrűség – testsűrűség diagramról (17. diagram) és a Ca(OH)₂-sűrűség diagram (18. diagram) leolvasott értékeik jelentősen eltérnek. Ugyanez jellemző az 1, K3; illetve a 11, K7 és K9 mintákra.

A sűrűség – testsűrűség diagramról leolvasott értékek szerint a K4-K14; az 1-2-8-K12-K15; a K9-K10; a 9-K3-K8; illetve a 3-10 habarcsok közt lehetnek azonos korúak, azonban ezekről további vizsgálatokkal lehetne csak megállapítani az egyezést.

A röntgendiffrakciós fázisanalízis során egyes mintákban dolomit tartalmat vettünk észre. Ez azért jelentős, mivel dolomit csak és kizárólag, mint adalékanyag kerülhetett bele a mintákba. A habarcs előállítása során és annak későbbi, esetleges alakulásakor sem jöhet létre olyan kémiai reakció, amely dolomitot eredményezne.

A vizsgálatok eredményeképpen arra a következtetésre jutottunk, hogy az 5 és a 11 minták egyidejűleg épült falazatból származnak. Ezen két minta a régészek szerint is azonos korból, azaz az Anjou-korból származik, sűrűségük, testsűrűségük és szemeloszlási diagramjuk közel azonos. A K2 minta sűrűsége, testsűrűsége szintén majdnem azonos az 5 és 11 mintáéval, bár ez más területről vett falazóhabarcs.

9 Összefoglalás

A kutatásunk célja, hogy a történelmi habarcsok vizsgálata segítségével az egyes épületmaradványokat el lehessen jobban helyezni a korban, a régészek számára. Ezért a Budai Várból vettünk mintákat, amiket különféle módokon vizsgáltunk. A vizsgálatok során több olyan eredményt is kaptunk, ami alátámasztja a kutatás alapfeltevését, miszerint az egy időben, egy helyen készült habarcsok nagy valószínűséggel közel azonos tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzenek.

A kalcium-karbonát és portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) értékek ismeretében azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a habarcsok kötőanyag tartalma általában jóval kevesebb volt, mint azt a történelmi habarcsok esetében az irodalom említ.

A röntgendiffrakciós fázisanalízis során egyes mintákban dolomit tartalmat vettünk észre. Ez azért jelentős, mivel dolomit csak és kizárólag, mint adalékanyag kerülhetett bele a mintákba. A habarcs előállítása során és annak későbbi, esetleges alakulásakor sem jöhet létre olyan kémiai reakció, amely dolomitot eredményezne.

A szemeloszlás diagram, a sűrűség-testsűrűség diagram, a dolomit tartalom alapján be tudtuk bizonyítani egyes mintákról, hogy azok tulajdonságai nagyon hasonlóak egymáshoz és a régészek kutatásai is egy korszakba tették őket.

A kutatás ezek alapján sikeresnek mondható, de egy olyan rendszer eléréséhez, amit a gyakorlati életben, az ásatások során is lehessen alkalmazni sokkal több mintát kellene vizsgálni az általunk megadott szempontok alapján. Ezzel remélhetőleg létre lehet hozni egy olyan adatbázist, ami megkönnyíti a régészek munkáját az ismeretlen eredetű épületmaradványok esetében.

10 Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani konzulenseinknek, Dr. Kopecskó Katalinnak és Dr. Vásárhelyi Balázsnak, akik végig türelemmel és segítőkészen irányították munkánkat. Hálásak vagyunk, hogy a sokszor egyértelműnek tűnő kérdéseinket is gondos átbeszéléssel tisztáztuk. Köszönjük a tanácsaikat, kritikáikat.

Köszönet illeti a budavári feltárásokat végző régészeket, Papp Adriennét és Dr. Magyar Károlyt, akik rendelkezésünkre bocsátották a mintákat és segítségünkre voltak azok kiválasztásában.

A laborvizsgálatok előkészítésében, a mérések végrehajtásában Rónaky Viktória (BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék) volt végig segítségünkre, amit ezúton szeretnénk megköszönni neki.

A vizsgálatok részben a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékének laboratóriumában (röntgendiffrakció és termoanalitika), részben a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének laboratóriumában (oldásos szemeloszlás vizsgálat, sűrűség és testsűrűség vizsgálatok) készültek.

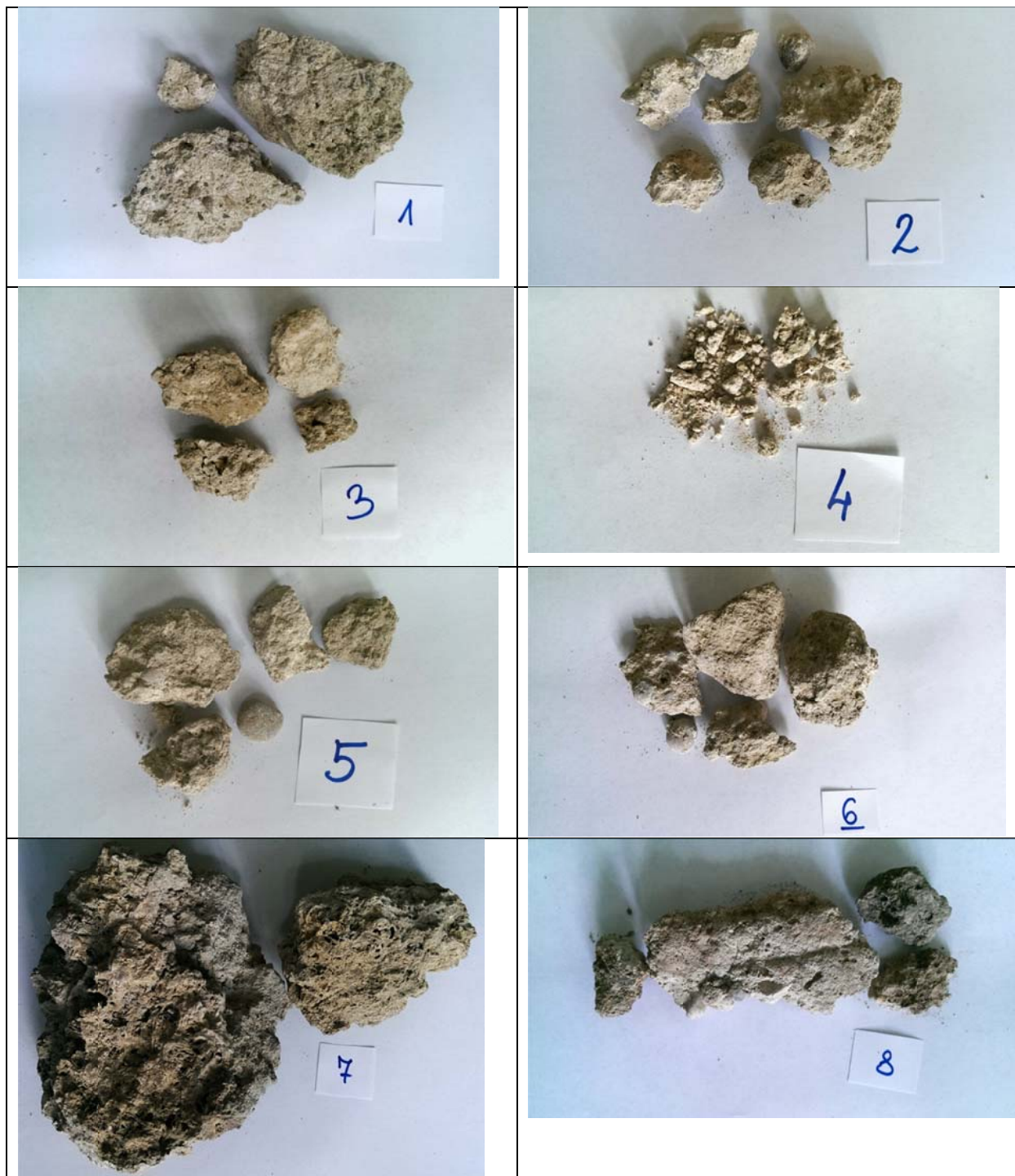
Továbbá köszönjük a Bercsényi Fordítókör tagjainak, Bagi Vivien Incinek és Gézárt Józsefnek, hogy segítségünkre voltak az angol nyelvű szakszövegek értelmezésében.

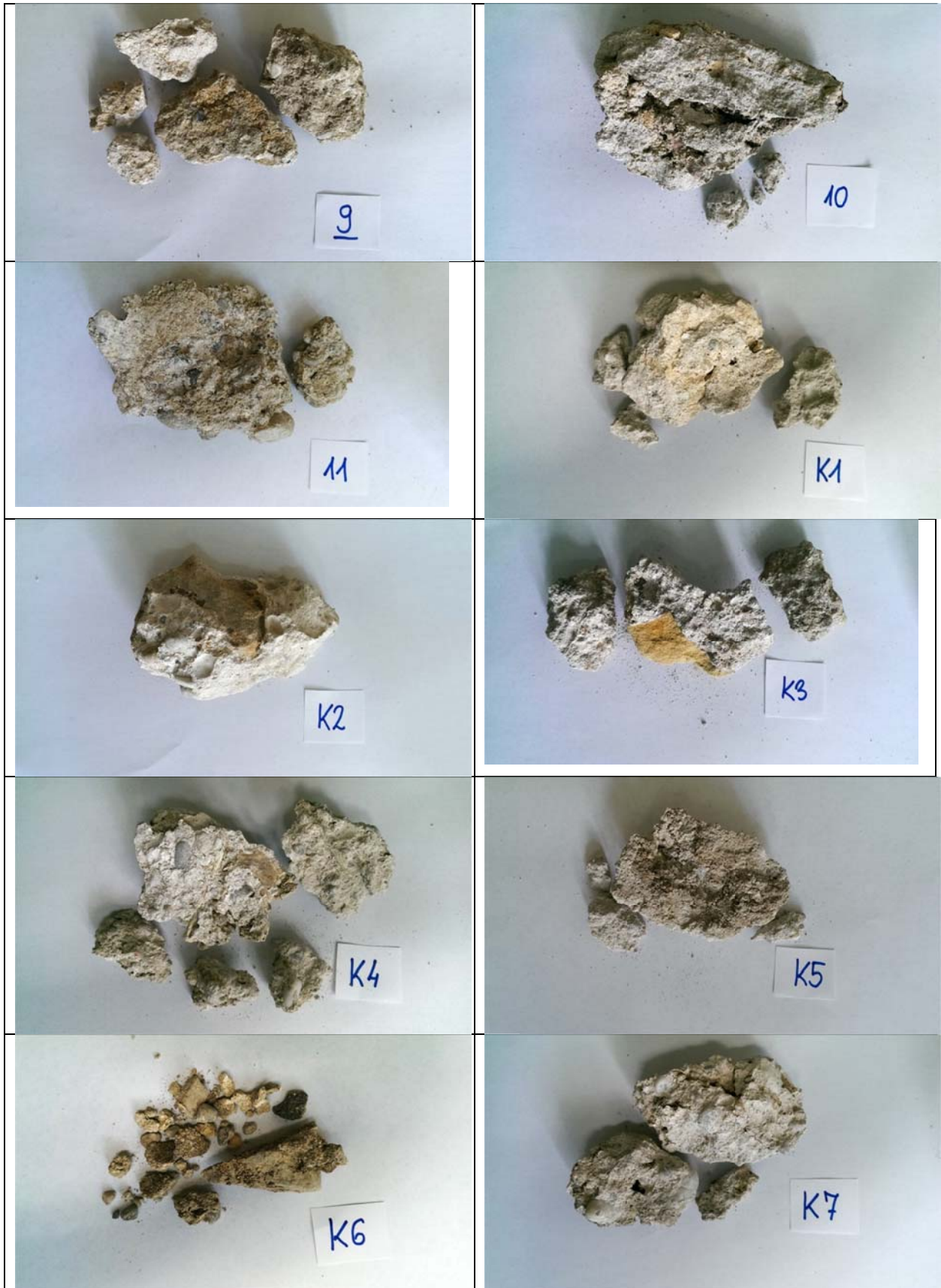
11 Hivatkozások listája

- [1] <http://www.btm.hu/old/varmuzeum/allando/palota/palota.htm> letöltve: 2016. szept. 15
- [2] <http://hauszmannterv.hu/a-hauszmann-tervrol/> letöltve: 2016. okt. 3
- [3] <http://hauszmannterv.hu/stockl-lepcso/#> letöltve: 2016. okt. 3
- [4] <http://budavar.btk.mta.hu/hu/utcak-terek-epuletek/szinhaz-utca/100-szinhaz-utca-5-7-9-karmelita-udvar.html> letöltve: 2016. okt. 6
- [5] Déry Attila: Öt könyv a régi építészetéről, I. kötet, Alapozások és szerkezeti anyagok, TERC kiadó, 2010.
- [6] Investigation of the technology of historic mortars, Antonia Moropoulou, Asterios Bakolas, Katerina Bisbikou, Journal of Cultural Heritage 1, 2000, p45-58
- [7] Chemical, Mineralogical and Microstructural Characterization of Historical Mortars from the Roman villa of Pisos, Beja, Portugal. Authors: Giovanni Borsoi, Antonio Santos Silva, Priscila Menezes, Antonio Candeias, Jose Mirao; 2nd Historical Mortars Conference, 22-24, Sept. 2010., Prague, Czech Republic
- [8] Építő Ipar, 1897, 189-190

12 Mellékletek

12.1 I. számú melléklet: habarcsminták







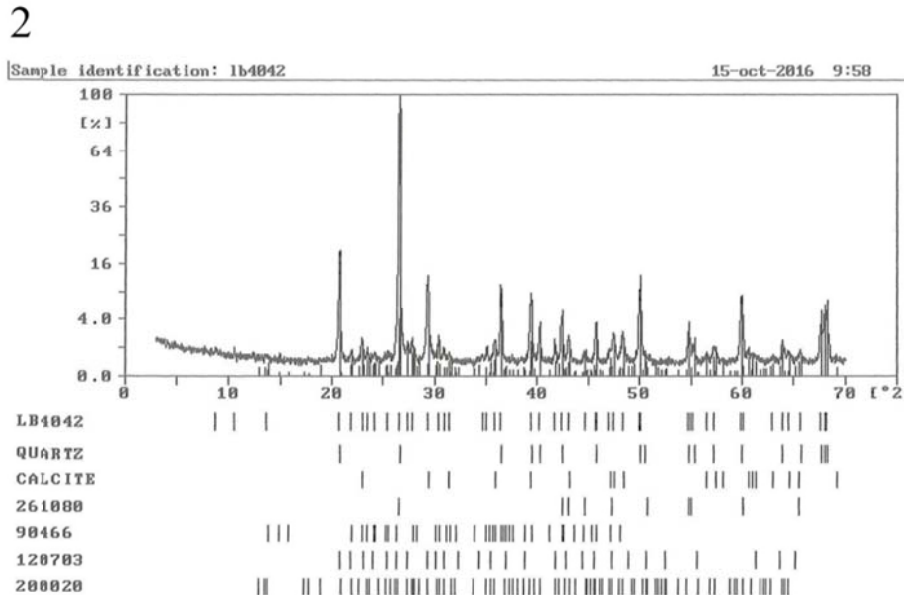
12.2 II. számú melléklet: fizikai tulajdonságok vizsgálata

Minta	Megjelenés/adalék	Egyéb	Tömörség	Színezet
K1	kicsi és egész nagy szürke kavicsok	"hártyás" lyukak üreges helyenként	tömör	fehér
K2	0,4-1,5 cm szürke, piszkosfehér kavicsok, rozsdafoltok		tömör	piszkosfehér
K3	apró növényi törmelék, pici barna foltok, szén darab, 0,5-0,8 cm szürke és fehér kavicsok	-	nagyon tömör	piszkosfehér
K4	0,5-4 cm változatos szín, bézs, barna, szürke, fehér, fekete kavicsok, szalmaszál/növényi eredetű adalék	-	nagyon tömör	fehér
K5	törmelék, nagy kavicsok	feltűnően göcsörtös, máshol finom porózus felszín	enyhén mállik	szürke
K6	kicsi és egész nagy kavicsok	-	törmelék	barna
K7	kicsi és egész nagy kavicsok	-	nagyon tömör	piszkosfehér
K8	0,5-1 cm fehér kavicsok	foltokban barna, helyenként apró, lukas szemcsék	enyhén mállik	piszkosfehér
K9	fehér, szürke, apró, max. 1 cm kavics	-	közepesen tömör	szürkésbarna
K10	egész apró kavics -0,5 mm	-	enyhén mállik	szürke
K11	apró, sötétszürke, szürke kavicsok, 0,5 cm alatt szürke golyók	változatos, tömör és lukacsos	tömör	szürke
K12	sok, 0,5-2 cm barna, fehér, szürke kavics	zöld és szürkésbarna foltok	nagyon tömör	piszkosfehér
K13	egész törmelékes, fekete tufás, 1-2 cm fehér kavics	-	nagyon tömör	piszkosfehér
K14	egész nagy, 6-7 cm	rozsdás	tömör	világosbarna

Minta	Megjelenés/adalék	Egyéb	Tömörség	Színezet
K15	szürke, fehér apró kavicsok, 0,8-1 cm alattiak, egy nagy barna kőzet	helyenként szürke golyó, lukacsos		piszkosfehér
K16	apró fehér, bézs kavicsok	darabos	enyhén mállik	barnás fehér
K17	sok, 2-20 mm fehér, sötétszürke, barna és több nagyobb kavics	-	enyhén mállik	homok
1	2-15 mm szürke, barna, fehér	-	enyhén mállik	homok
2	2-10 mm sötétszürke, szürke, barna kavics, téglamaradvány	-	enyhén mállik	homok
3	1-6 mm szürke, barna, fehér	-	enyhén mállik	homok
4	2-10 mm szürke, fehér	por	nagyon mállik	homok
5	2-12 mm barna, szürke, fehér	apró, csillámló részek	enyhén mállik	szürke
6	2-15 mm szürke, barna	-	enyhén mállik	homok
7	csak egész apró szemcsék	feltűnően különböző, növényi részek, üreges, lukacsos	nagyon tömör	homok
8	2-12 mm barna, szürke, fehér	apró, csillámló részek	török, közepesen mállik	homok
9	4-12 mm szürke, fehér, barna, sárga kavics, téglaszínű kavics	apró, csillámló részek	enyhén mállik	szürke
10	2-6 mm szürke, barna	-	közepesen mállik	homok
11	2-25 mm sok szürke, barna fehér, sárga kavics	-	enyhén mállik	szürke

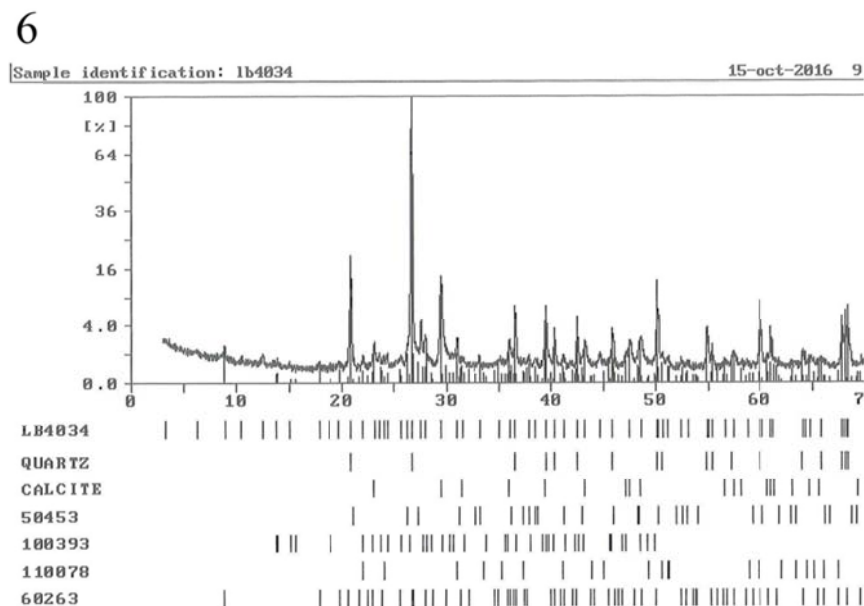
12.3 III. számú melléklet: Röntgendiffrakciós fázisanalízis (XRD) vizsgálat

2 számú minta eredményei



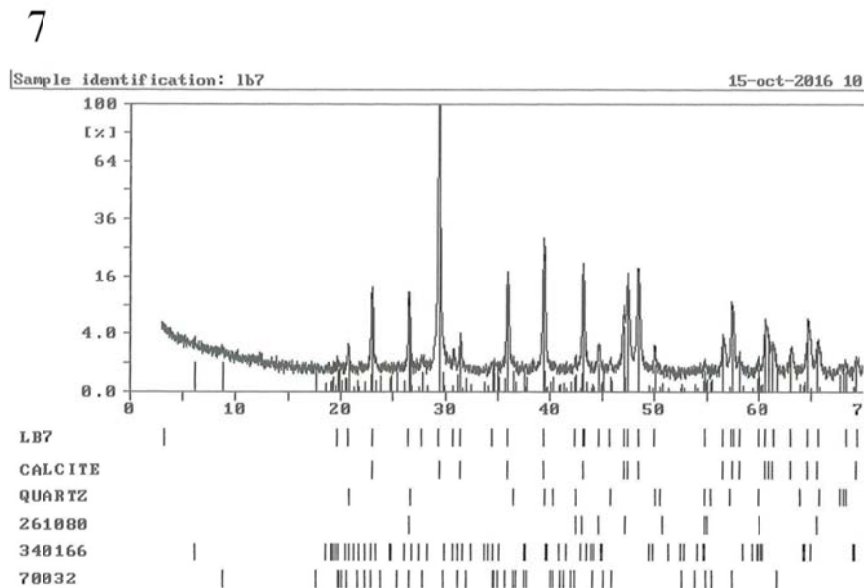
2 – XRD: **kvarc**, kalcit, dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), anhidrit (CaSO_4), anortit (földpát), C (elemi szén), albit (földpát), mikroklin (földpát), ammonium-alumínium szulfát ($(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2$),

6 számú minta eredményei



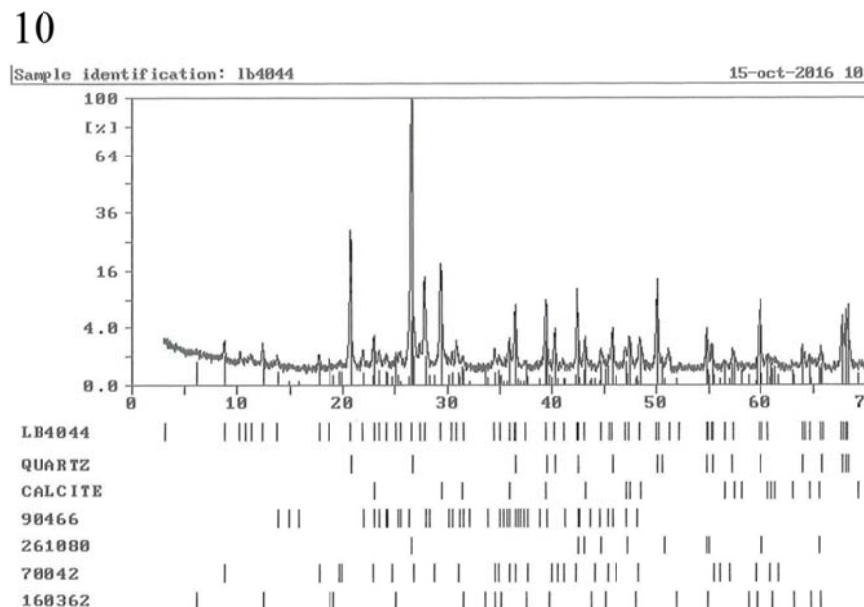
6 – XRD: **kvarc**, kalcit, aragonite (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), muszkovit (csillám), anhidrit (CaSO_4), anortoklász (földpát), anortit (földpát), montmorillonit (agyagásvány, szmektit csoport)

7 számú minta eredményei



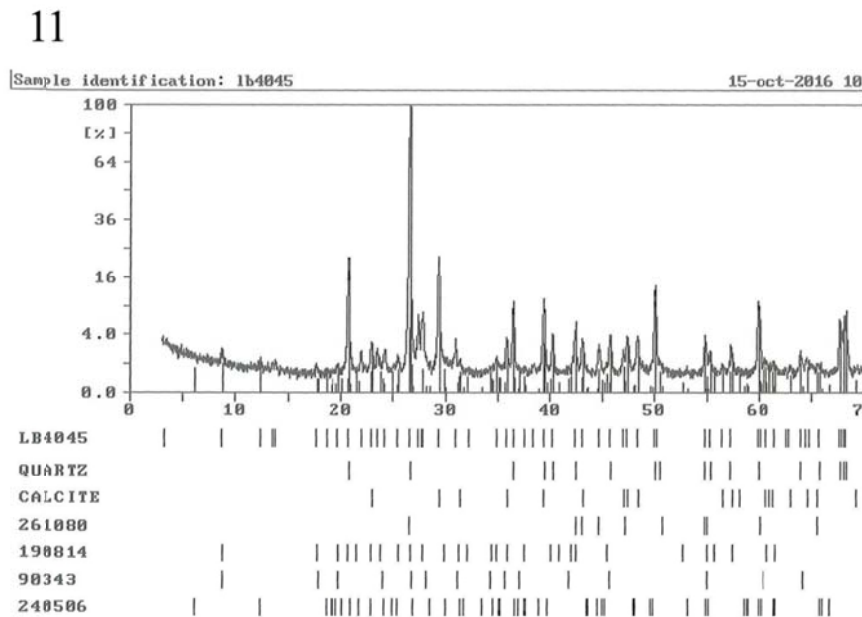
7 – XRD: **kalcit**, kvarc, C (elemi szén), vermikulit (agyagásvány, klorticsoport, duzzadó), szaponit-15Å (agyagásvány, szmektitcsoport, duzzadó),

10 számú minta eredményei



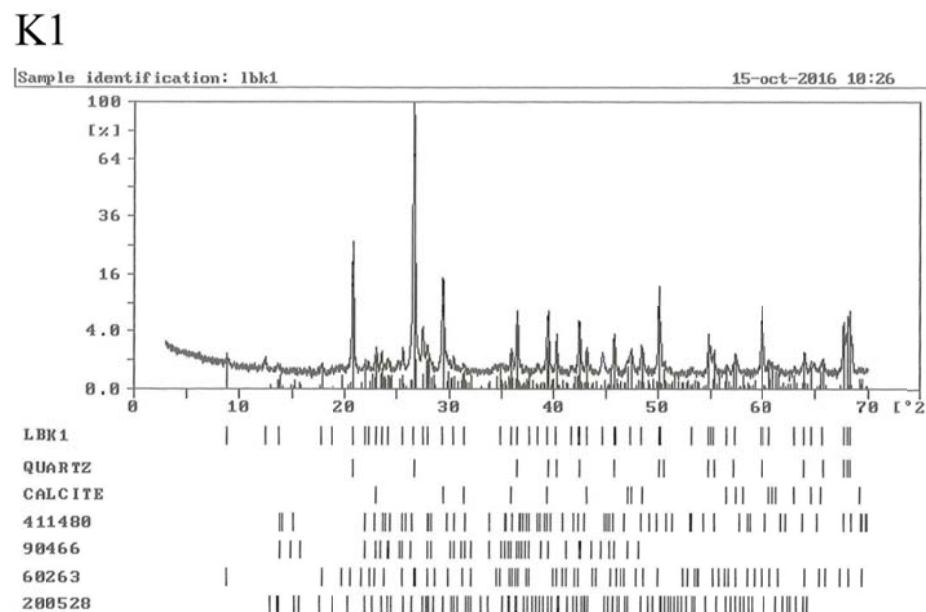
10 – XRD: **kvarc**, kalcit, albit (földpát), C (elemi szén), muszkovit (csillám), klinoklor (agyagásvány, kloritcsoport), anhidrit (CaSO₄), Ca-szilikát hidrát (hillebrandit, Ca₂(SiO₃)(OH)₂), Ca-aluminát hidrát (alumohidrokalcit, CaAl₂(CO₃)₂(OH)₃ · 3 H₂O), dolomit (CaMg(CO₃)₂), krisztobalit (SiO₂)

11 számú minta eredményei



11 – XRD: **kvarc**, kalcit, C (elemi szén), muszkovit (csillám), illit (agyagásvány, hidroszillám), klinoklor (agyagásvány, kloritcsoport), Ca-aluminát hidrát (alumohidrokalcit, $\text{CaAl}_2(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$), mikroklin (földpát)

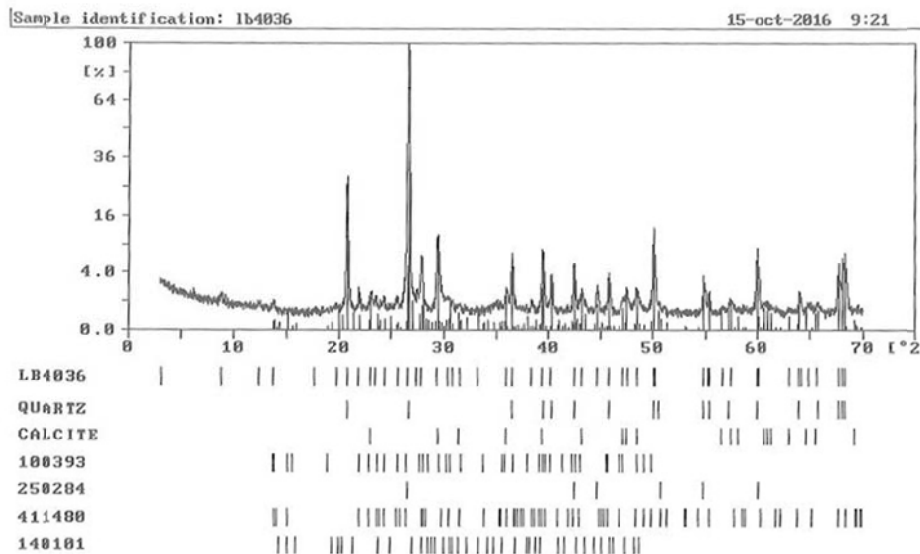
2 számú minta eredményei



K1 – XRD: **kvarc**, kalcit, C (elemi szén), Ca-albit (földpát), albit (földpát), muszkovit (csillám), Na-anortit (földpát), klinoklor (agyagásvány, kloritcsoport)

K2 számú minta eredményei

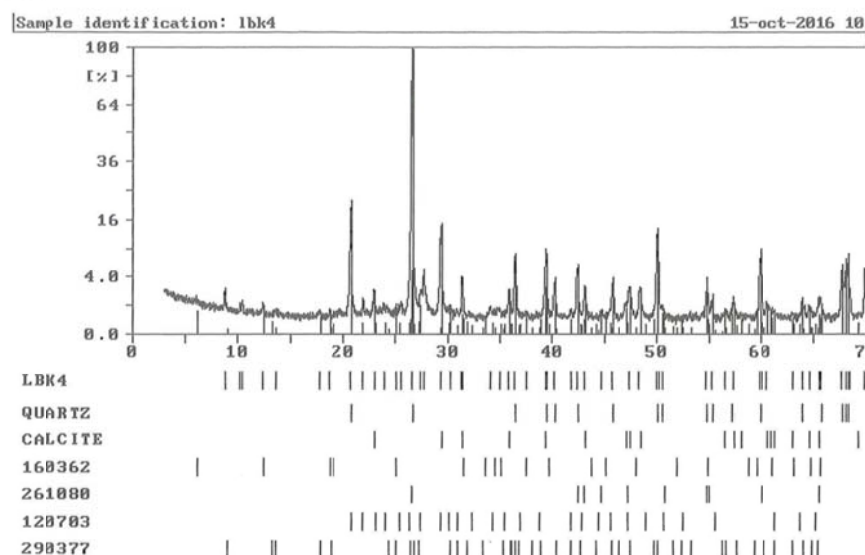
K2



K2 – XRD: **kvarc**, kalcit, albit (földpát), C (elemi szén), Ca-albit (földpát), nitromagnezit (sókivirágzás, dolomit mállásból, $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), muszkovit (csillám), krisztobalit (SiO_2), anhidrit ($CaSO_4$), Na-anortit (földpát), goethit ($FeOOH$), anortoklász (földpát), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$)

2 számú minta eredményei

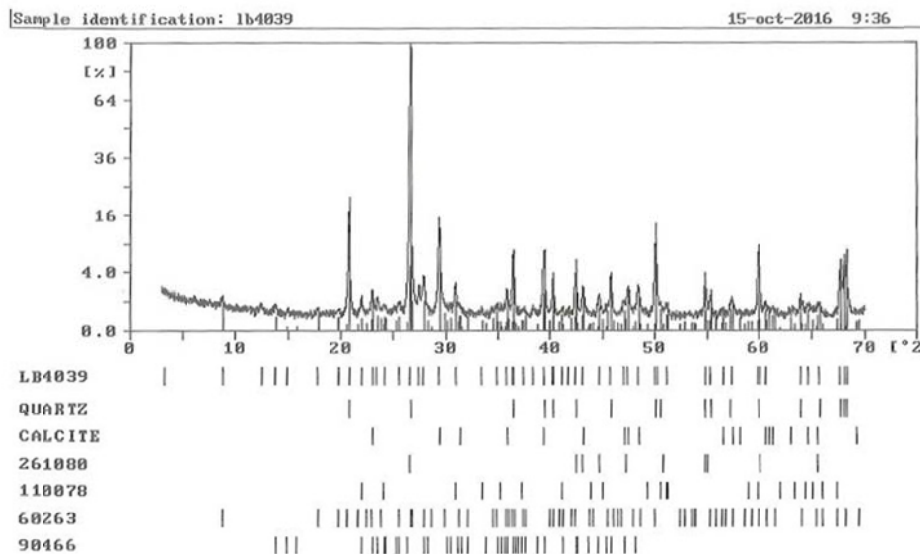
K4



K4 – XRD: **kvarc**, kalcit, klinoklor (agyagásvány, kloritcsoport), C (elemi szén), mikroklin (földpát), Ca-szilikát hidrát ($Ca_4(SiO_3)_3(OH)_2$), anortoklász (földpát), muszkovit (csillám), Ca-aluminát hidrát ($Ca_4Al_2O_6SO_3 \cdot 11H_2O$)
(vagy agyagos meszet égettek, vagy románcement/cementes javítás volt a mintában).

K5 számú minta eredményei

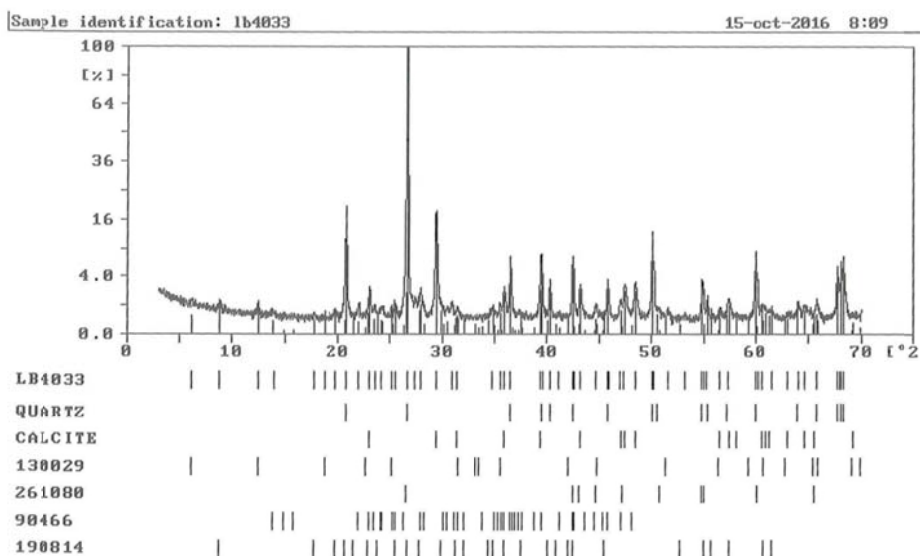
K5



K5 – XRD: **kvarc**, kalcit, C (elemi szén), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), muszkovit (csillám), albit (földpát), mikroklin (földpát), illit (agyagásvány, hidrocillám csoport), krisztobalit (SiO_2), anhidrit (CaSO_4)

K6 számú minta eredményei

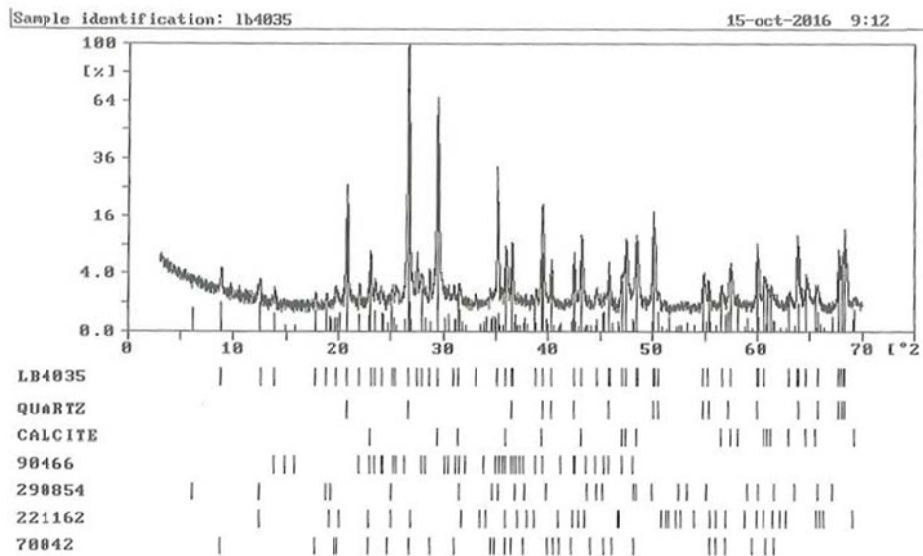
K6



K6 – XRD: **kvarc**, kalcit, chamozit és klinoklor (agyagásvány, kloritcsoport), albit (földpát), muszkovit (csillám), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), anortit (földpát), anhidrit (CaSO_4), anortoklász (földpát), montmorillonit (agyagásvány, szmektit csoport)

K7 számú minta eredményei

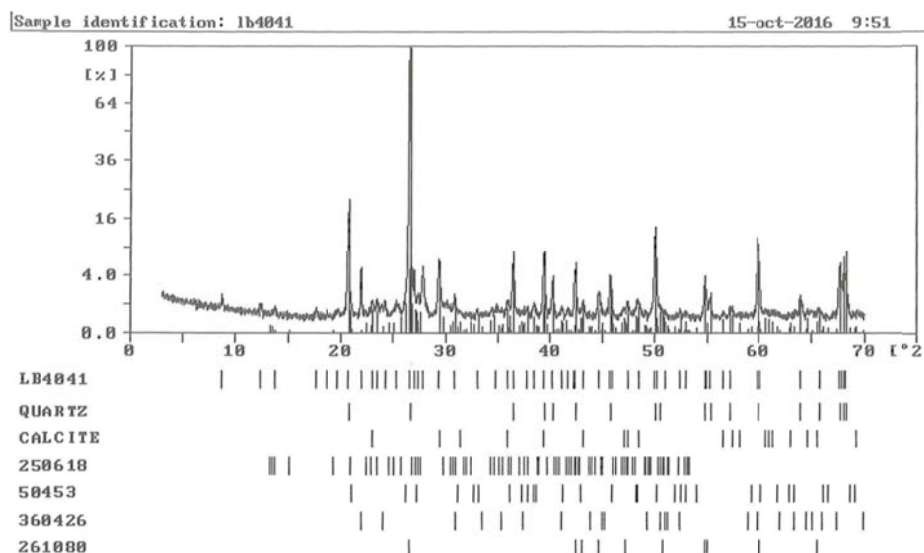
K7



K7 – XRD: **kvarc**, kalcit, albit (földpát), klinoklor (földpát), muszkovit (csillám), anortit (földpát), illit (agyagásvány, hidrocsillám csoport)

K10 számú minta eredményei

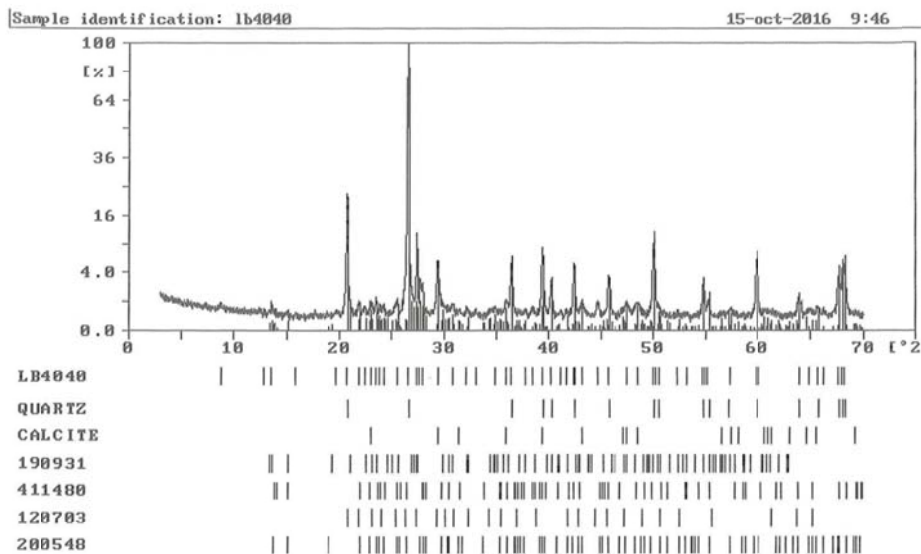
K10



K10 – XRD: **kvarc**, kalcit, szanidin (földpát), aragonite (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), albit (földpát), illit (agyagásvány, hidrocsillám), Ca-szilikát hidrát ($5\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), goethitit (FeOOH), chamozit (agyagásvány, kloritcsoport)

K16 számú minta eredményei

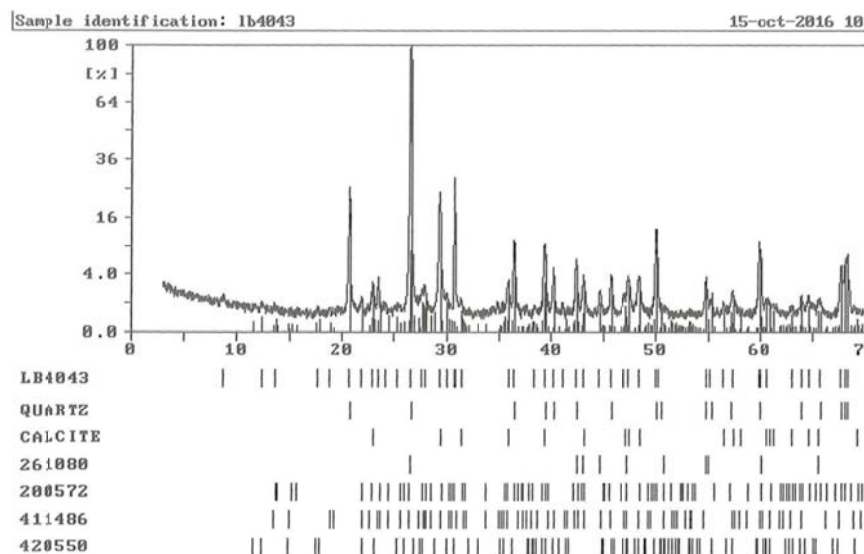
K16



K16 – XRD: **kvarc**, kalcit, ortoklász (földpát), Ca-albit (földpát), mikroklin (földpát), C (elemi szén), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), muszkovit (csillám), anhidrit (CaSO_4), K-Na-karbonát (KNaCO_3 – sókivirágzás, sokszor cementes javításra utal)

K17 számú minta eredményei

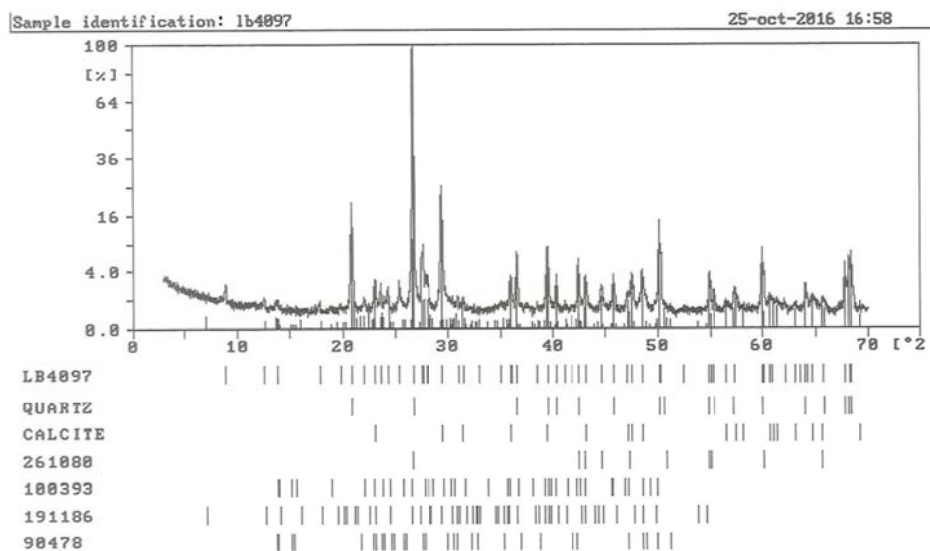
K17



K17 – XRD: **kvarc**, kalcit, C (elemi szén), albit (földpát), anortit (földpát), wollasztonit (CaSiO_3 – salakból?), muszkovit (csillám)

9 számú minta eredményei

9



K9 – XRD: **kvarc**, kalcit, C (elemi szén), albit (földpát), tamarugite ($\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), anortoklász (földpát), wollasztonit (CaSiO_3 – salakból?), muszkovit (csillám)

Score list: LB4097

25-oct-2016 16:59

=====
s PC-APD, Diffraction software

DI file name: LB4097.DI

Score	Rel. Score	I %	Disp [μm]	RP-file	G	Name	Formula	
14.76	0.82	145	-23	QUARTZ	1	ALPHA QUARTZ	SiO2	*
9.98	0.53	19	-2	CALCITE	1	CALCITE	CaCO3	*
4.43	0.44	100	11	261080	3	Carbon	C	*
3.26	0.11	0	37	150603	2	Illite	K(AlFe)2AlSi3O10(OH)	
2.90	0.07	1	-36	100393	1	Albite, ordered	NaAlSi3O8	*
2.49	0.09	0	107	320473	1	IronSulfite	FeSO3	
2.35	0.03	1	-10	200572	1	Albite, ordered	NaAlSi3O8	
2.34	0.39	100	11	250284	4	Graphite, syn	C	
2.34	0.04	1	-106	191186	3	Tamarugite	NaAl(SO4)2!6H2O	*
2.33	0.08	1	70	90478	1	Anorthoclase, disorde	(Na, K)(Si3Al)O8	*
2.32	0.04	2	-119	421478	4	CalciumAluminumOxide	Ca4Al6O12SO4	
2.30	0.03	1	-57	200554	1	Albite, ordered	NaAlSi3O8	
2.21	0.03	0	-23	290372	1	Wollastonite-1A	CaSiO3	*
2.19	0.03	1	-10	411480	1	Albite, calcian, order	(Na, Ca)Al(Si, Al)3O8	
2.16	0.04	0	3	60263	1	Muscovite-2M1	KAl2(Si3Al)O10(OH, F)	*
2.05	0.02	1	32	200528	1	Anorthite, sodian, ord	(Ca, Na)(Al, Si)2Si2O8	
2.03	0.02	1	-36	191184	1	Albite, ordered	NaAlSi3O8	
1.97	0.03	1	3	411486	1	Anorthite, ordered	CaAl2Si2O8	
1.93	0.11	0	-36	280207	3	CalciumAluminumOxide	Ca4Al206C12!10H2O	
1.91	0.02	0	-2	250149	4	Ilvaite	CaFe3(SiO4)2OH	
1.82	0.08	1	-44	411482	1	Zinnwaldite-1M	KAl(FeLi)(Si3Al)O10F	
1.81	0.14	1	99	370755	1	BariumCarbonate	BaCO3	
1.80	0.14	0	-144	100173	4	Corundum, syn	Al2O3	
1.80	0.06	0	132	390375	4	Ramsdellite	MnO2	
1.80	0.07	1	11	120703	1	Microcline	KAlSi3O8	
1.74	0.11	0	-144	270770	1	SodiumPhosphate	Na3PO4	
1.69	0.04	1	37	350755	4	Gehlenite, syn	Ca2Al2SiO7	
1.67	0.08	0	3	100490	1	Muscovite-2M2, barian	(Ba, K)Al2(Si3Al)O10(
1.65	0.06	1	11	70042	1	Muscovite-3T	(K, Na)(Al, Mg, Fe)2(Si	
1.64	0.03	1	166	340189	4	Forsterite, syn	Mg2SiO4	
1.63	0.04	1	107	360377	3	CalciumAluminumOxide	Ca4Al207CO2!11H2O	
1.60	0.04	0	-252	130401	3	Magnesioholmquistite	Li2(Mg, Fe)3Al2Si8O22	
1.58	0.04	0	3	230124	1	Rankinite, syn	Ca3Si2O7	
1.57	0.09	0	-36	70330	2	Illite-Montmorilloni	K-Al4(SiAl)8O20(OH)4	
1.57	0.09	0	-36	70330	4	Illite-Montmorilloni	K-Al4(SiAl)8O20(OH)4	

Score list: LB4097

25-oct-2016 16:59

s

PC-APD, Diffraction software

DI file name: LB4097.DI

Score	Rel. Score	I %	Disp [μm]	RP-file	G	Name	Formula
1.57	0.09	0	-36	70330	3	Illite-Montmorilloni	K-Al4 (SiAl) 8O20 (OH) 4
1.55	0.06	1	11	360426	1	Dolomite	CaMg (CO3) 2
1.53	0.02	1	-52	200548	1	Albite, calcian, disor	(Na, Ca) (Si, Al) 408
1.53	0.04	0	3	271064	1	Wollastonite-1A	CaSiO3
1.53	0.07	1	179	421401	1	Tridymite-O	SiO2
1.53	0.04	0	11	110317	4	Rankinite, syn	Ca3Si2O7
1.52	0.06	1	-10	110116	3	Yttromicrolite- (Y)	(Fe, Y, U, Ca) (Nb, Ta, Zr
1.51	0.08	1	-160	221119	3	AluminumOxideHydrate	Al10O15!H2O
1.51	0.08	0	120	421430	3	Ammonioalunite	NH4Al3 (SO4) 2 (OH) 6
1.50	0.06	0	179	250123	4	Gehlenite	Ca2Al (Al, Si) 2O7
1.50	0.09	0	-173	260792	3	IronOxideHydroxide	FeOOH
1.45	0.11	1	-160	110396	3	Ilmenorutile	(Ti, Nb, Ta, Fe) O2
1.45	0.11	1	-160	310645	3	Ilmenorutile	Fex (Nb, Ta) 2xTi1-xO2
1.43	0.07	0	-10	110078	1	Dolomite	CaMg (CO3) 2
1.42	0.04	0	-232	160339	1	CalciumAluminumHydro	Ca2Al (OH) 7! 6.5H2O
1.40	0.10	1	37	181154	3	Betafite, heated	(U, Ca) (Nb, Ta, Ti) 3O8!
1.38	0.05	2	-2	391425	1	Cristobalite, syn	SiO2
1.36	0.09	0	-10	90343	2	Illite, trioctahedral	K0.5 (Al, Fe, Mg) 3 (Si, A
1.33	0.03	0	-10	181202	1	Anorthite, sodian, int	(Ca, Na) (Si, Al) 408
1.31	0.02	2	37	380466	1	Diopside, aluminian	Ca (Mg, Fe, Al) (Si, Al) 2
1.29	0.04	0	107	50453	1	Aragonite, syn	CaCO3
1.26	0.04	0	-173	230125	2	Xonotlite, syn	Ca6Si6O17 (OH) 2
1.25	0.06	0	3	160352	1	Phlogopite-3T, syn	KMg3 (Si3AlO10) F2
1.23	0.04	1	-98	140409	1	Huntite	Mg3Ca (CO3) 4
1.22	0.14	1	-273	361451	1	Zincite, syn	ZnO
1.22	0.03	1	-18	290377	2	Foshagite, syn	Ca4 (SiO3) 3 (OH) 2
1.21	0.04	0	-219	201150	1	SodiumPhosphate	Na3PO4
1.21	0.02	1	32	411481	1	Anorthite, sodian, dis	(Ca, Na) (Si, Al) 408
1.20	0.04	0	274	410221	3	CalciumAluminumOxide	Ca4Al2O6 (CO3) 0.5 (OH)
1.20	0.04	0	274	410221	1	CalciumAluminumOxide	Ca4Al2O6 (CO3) 0.5 (OH)
1.19	0.03	1	-294	330909	3	Manganotantalite, syn	MnTa2O6
1.18	0.02	0	-77	390356	3	Zimbabweite	Na (Pb, Na) 2As4Ta4O18
1.17	0.08	5	-31	421399	1	Zinnwaldite-M	K (AlFeLi) (Si3Al) O10 (
1.16	0.12	1	-144	291435	3	Liandratite, heated	U (Nb, Ta) 2O8
1.14	0.04	0	58	421414	1	Biotite-1M	K (Mg, Fe+2) 3 (Al, Fe+3)

Score list: LB4097

25-oct-2016 16:59

s

PC-APD, Diffraction software

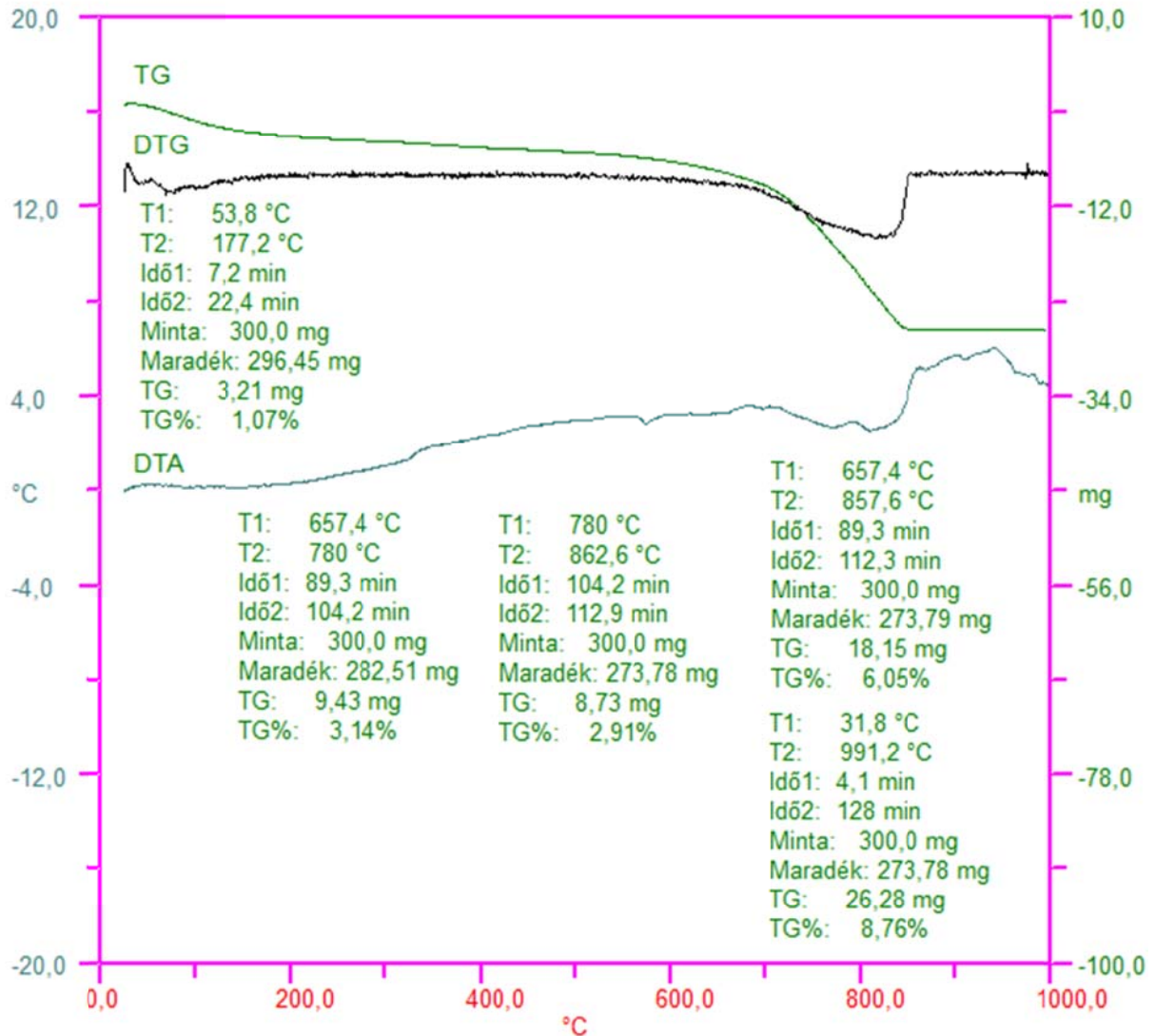
DI file name: LB4097.DI

Score	Rel. Score	I %	Disp [μm]	RP-file	G	Name	Formula
1.14	0.05	0	58	421437	1	Biotite-1M	K (Mg, Fe+2) 3 (Al, Fe+3)
1.14	0.03	0	-294	181460	3	Volkovskite	CaB6O9 (OH) 2!2H2O
1.13	0.03	1	-10	90466	1	Albite, ordered	NaAlSi3O8
1.11	0.02	1	-144	350592	4	Akermanite, syn	Ca2MgSi2O7
1.11	0.04	1	-98	371496	4	Anhydrite, syn	CaSO4
1.11	0.04	1	-98	371496	1	Anhydrite, syn	CaSO4
1.10	0.04	1	-281	90445	3	Bismutotantalite	BiTaO4
1.10	0.03	0	70	421413	1	Biotite-1M	K (Mg, Fe+2) 3 (Al, Fe+3)
1.09	0.04	1	-265	GOETHIT	1	GOETHITE	FeOOH
1.09	0.04	1	-265	290713	1	Goethite	FeO (OH)
1.09	0.04	1	-265	GOETHIT	3	GOETHITE	FeOOH
1.09	0.04	1	-265	290713	3	Goethite	FeO (OH)
1.09	0.22	0	-227	130087	3	Feroxyhite, syn	FeOOH
1.07	0.02	0	124	290330	2	Afwillite	Ca3Si2O4 (OH) 6
1.06	0.05	0	-2	70166	2	Chamosite-IIb	(Fe, Al, Mg) 6 (SiAl) 4O1
1.06	0.04	0	112	200199	4	Gehlenite, syn	Ca2Al2SiO7
1.05	0.03	0	24	90455	3	Anthophyllite	(Mg, Fe) 7Si8O22 (OH) 2
1.05	0.06	0	-52	150705	3	Simpsonite	Al4Ta3O13OH
1.04	0.04	1	186	60226	1	Anhydrite, syn	CaSO4
1.03	0.04	0	3	160344	1	Phlogopite-1M, syn	KMg3 (Si3Al) O10F2
1.02	0.34	1	-265	LIF	1	LITHIUM FLUORITE	LiF
1.01	0.08	0	-10	70268	3	Rhodochrosite, syn	MnCO3
1.00	0.04	0	-23	100495	1	Phlogopite-1M	KMg3 (Si3Al) O10 (OH) 2
1.00	0.10	0	-90	291426	3	Petscheckite, heated	UFe (Nb, Ta) 2O8
1.00	1.00	1	-2	290085	4	SiliconOxide	SiO2
1.00	0.03	1	37	70733	3	PotassiumLaurate	C12H23KO2
0.99	0.04	0	145	100481	1	Phlogopite	KMg3 (Si3AlO10) (OH) 2
0.99	0.03	1	107	140083	4	CalciumAluminumOxide	Ca4Al2CO9!11H2O
0.99	0.03	1	107	140083	3	CalciumAluminumOxide	Ca4Al2CO9!11H2O
0.99	0.03	1	107	140083	1	CalciumAluminumOxide	Ca4Al2CO9!11H2O

Reference database	number of patterns	group(s) used
C:\BASIS\	57	1 2 3 4
C:\BASIS\CEMENTPH\	7	1 2 3 4
C:\BASIS\CEMPHSI\	6	1 2 3 4
C:\APD\REF\	29	1 2 3 4
C:\APD\REF\OLD01\	1	1 2 3 4

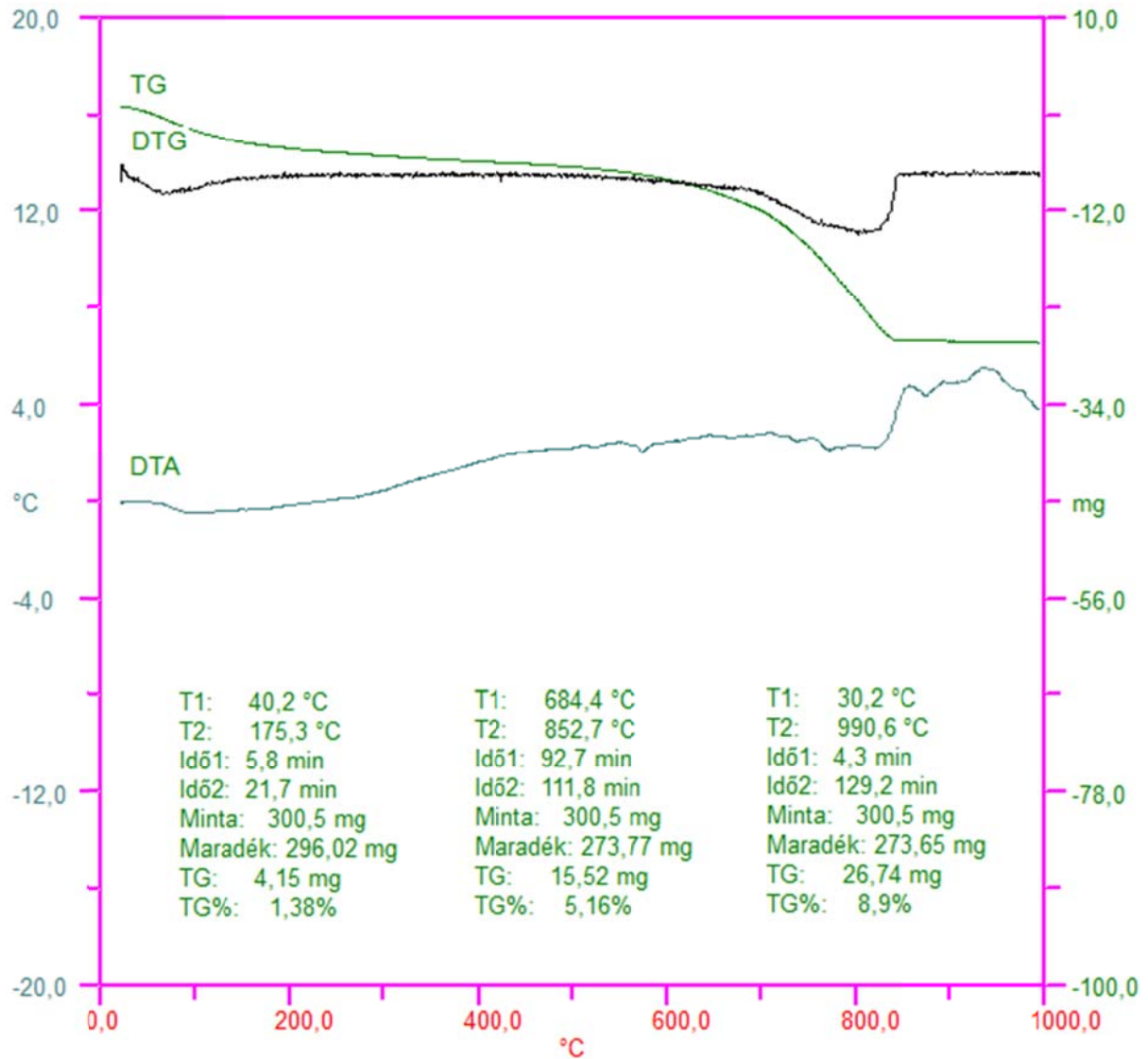
12.4 IV. számú melléklet: Derivatográfias fázisanalízis

K4	16123K	LBK4
----	--------	------



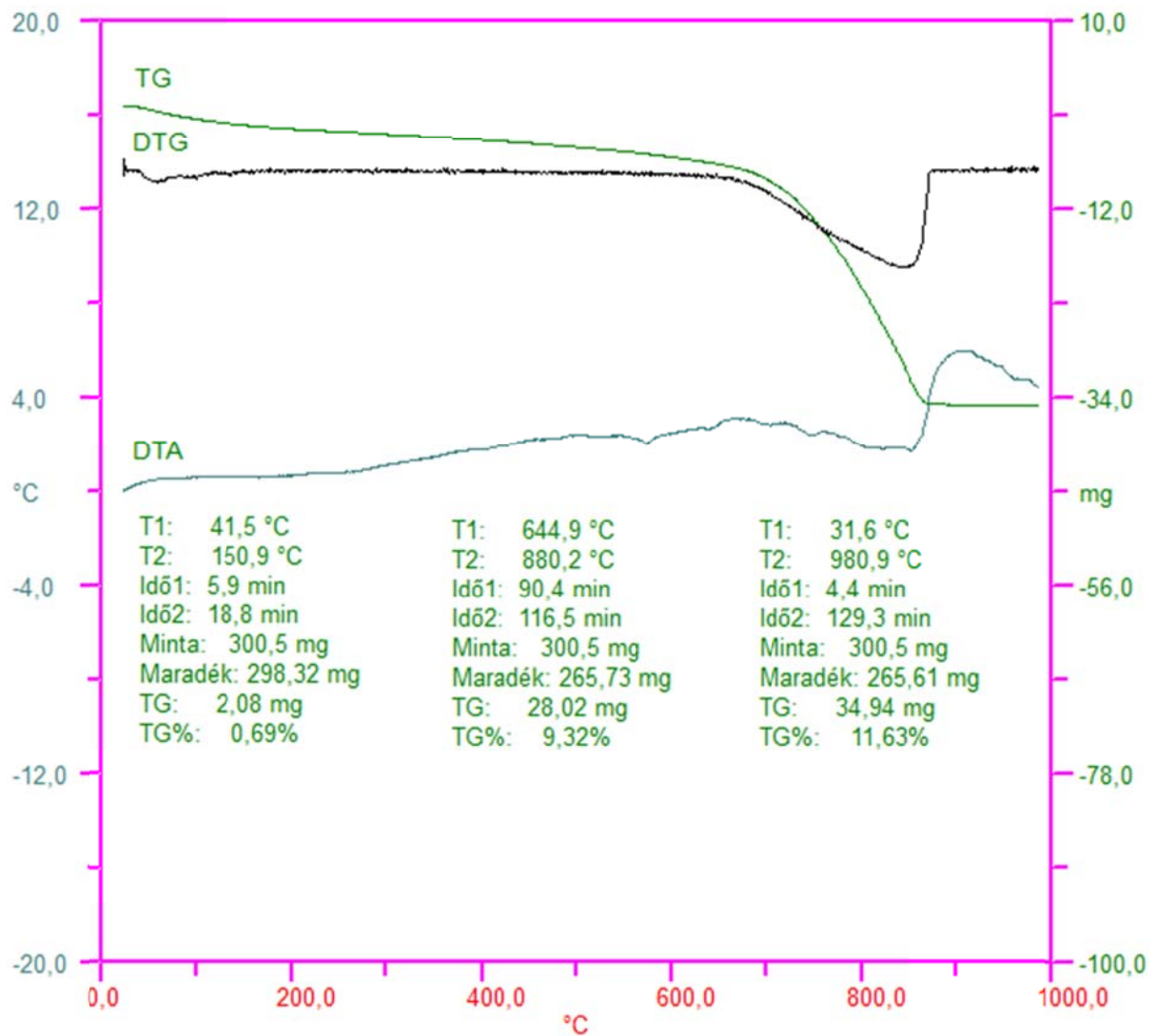
$6,05 \text{ m\%} \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 13,7 \text{ m\% CaCO}_3$

K1	16117K	LBK1
----	--------	------



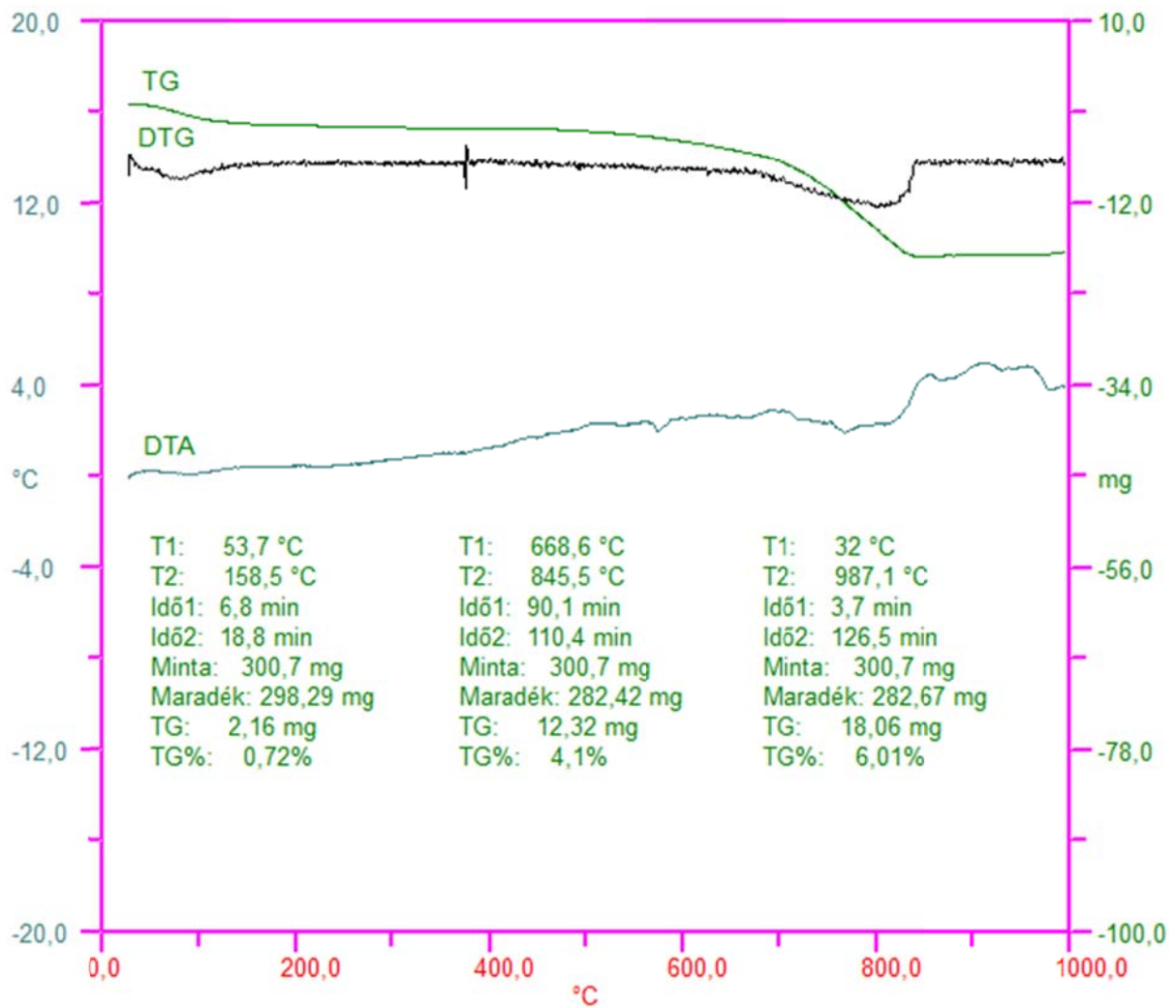
$$5,16 \text{ m\%} \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 11,5 \text{ m\% CaCO}_3$$

K17	16119K	LB4043
-----	--------	--------



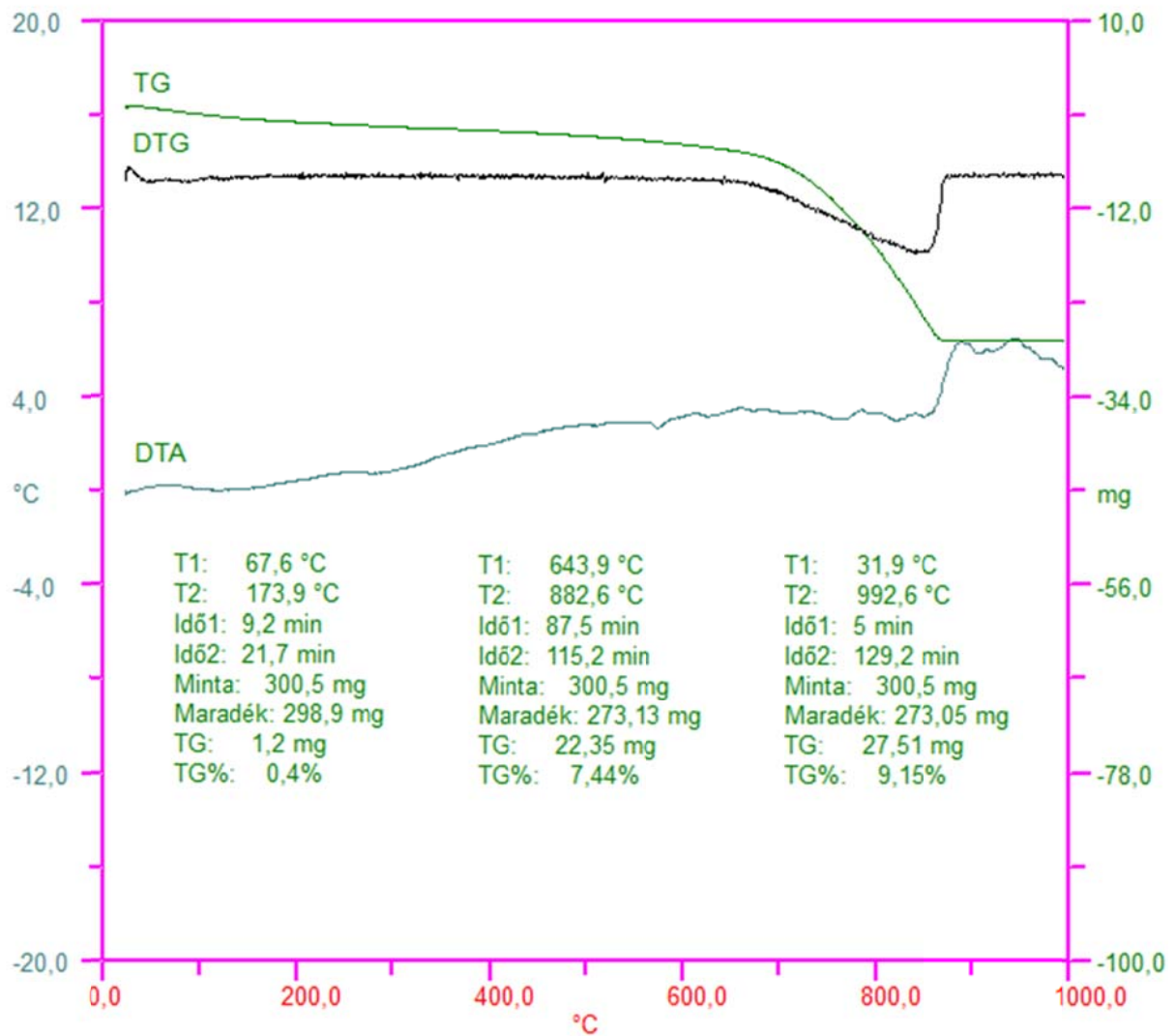
$$9,32 \text{ m\%} \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 21,2 \text{ m\% CaCO}_3$$

K10	16118K	LB4041
-----	--------	--------



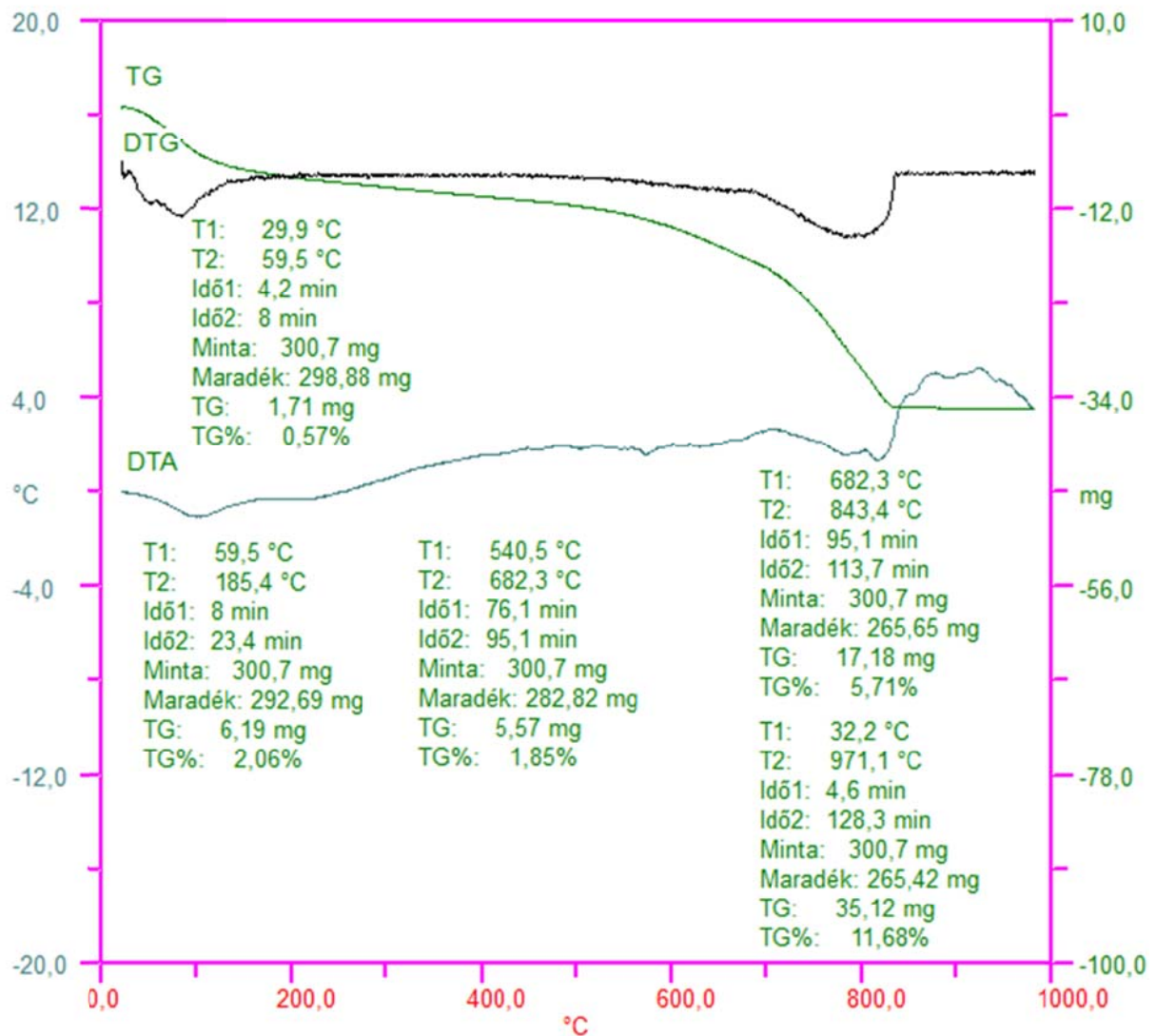
$$4,10 \text{ m\%} \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 9,3 \text{ m\% CaCO}_3$$

K5	16121K	LB4039
----	--------	--------



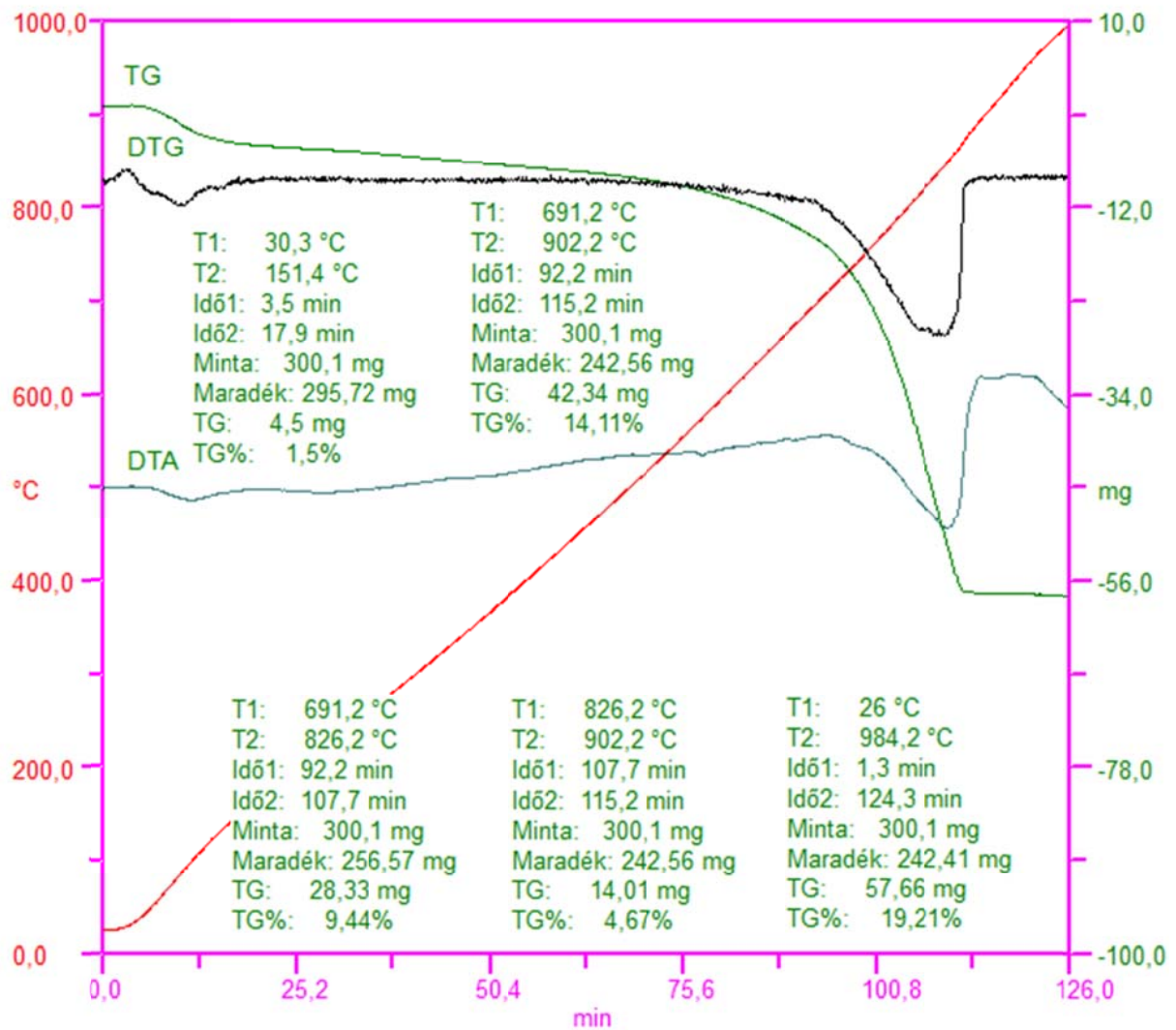
$$7,44 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 16,9 \text{ m\% CaCO}_3$$

K2	16115K	LB4036
----	--------	--------



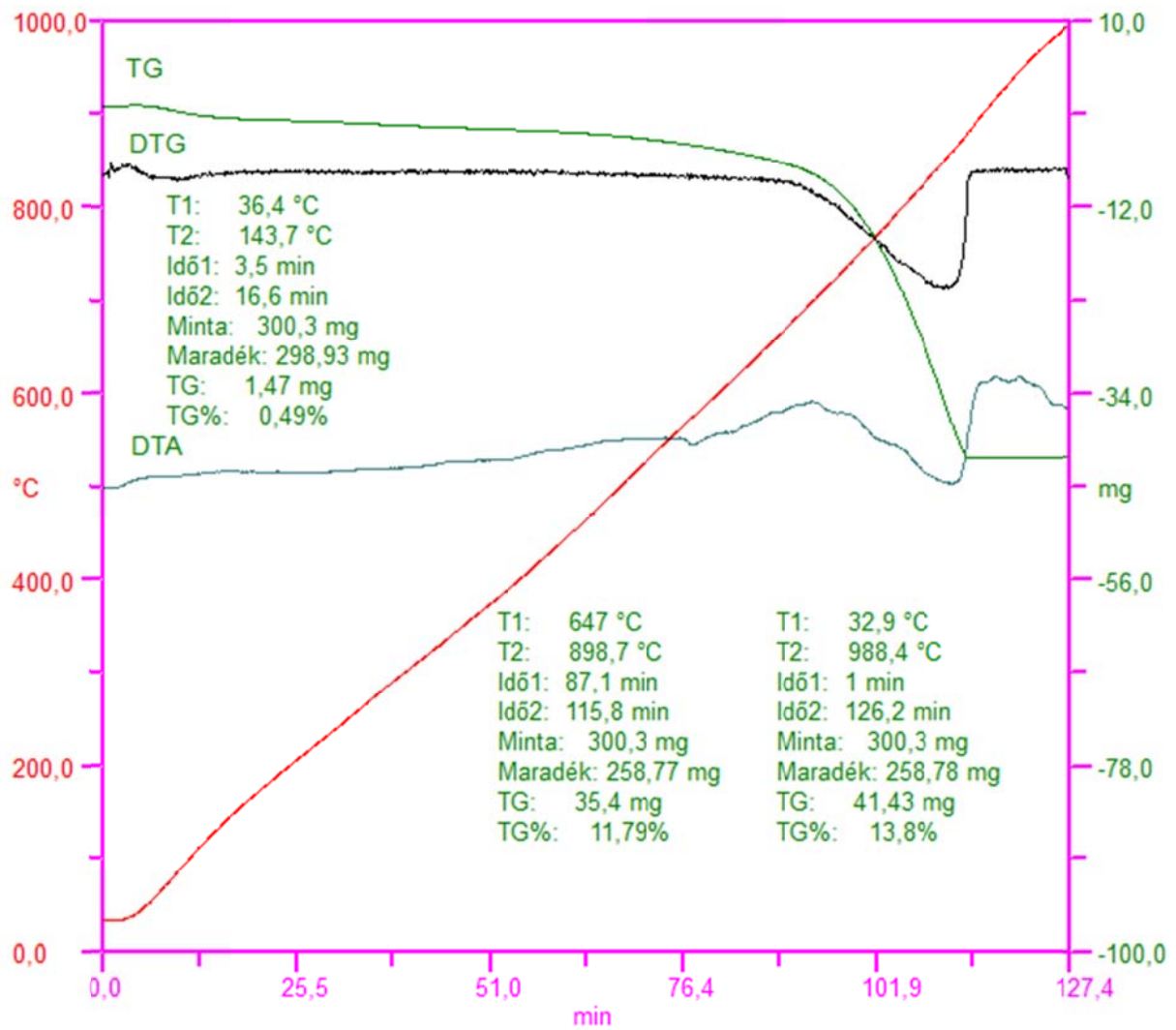
$$5,71 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 13,0 \text{ m\% CaCO}_3$$

K7	16116K	LB4035
----	--------	--------



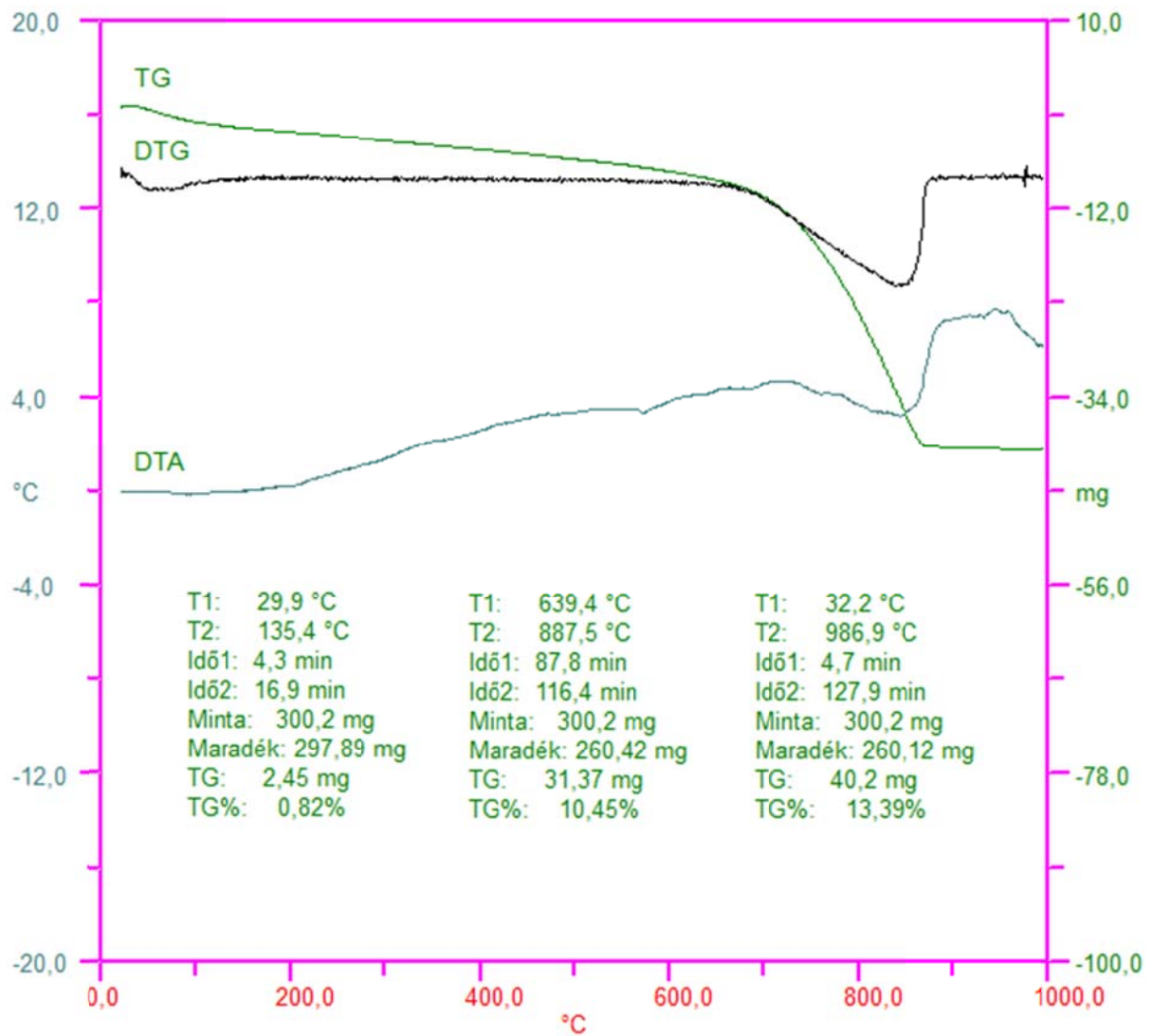
$$9,44 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 21,4 \text{ m\% CaCO}_3$$

6	16120K	LB4034
---	--------	--------



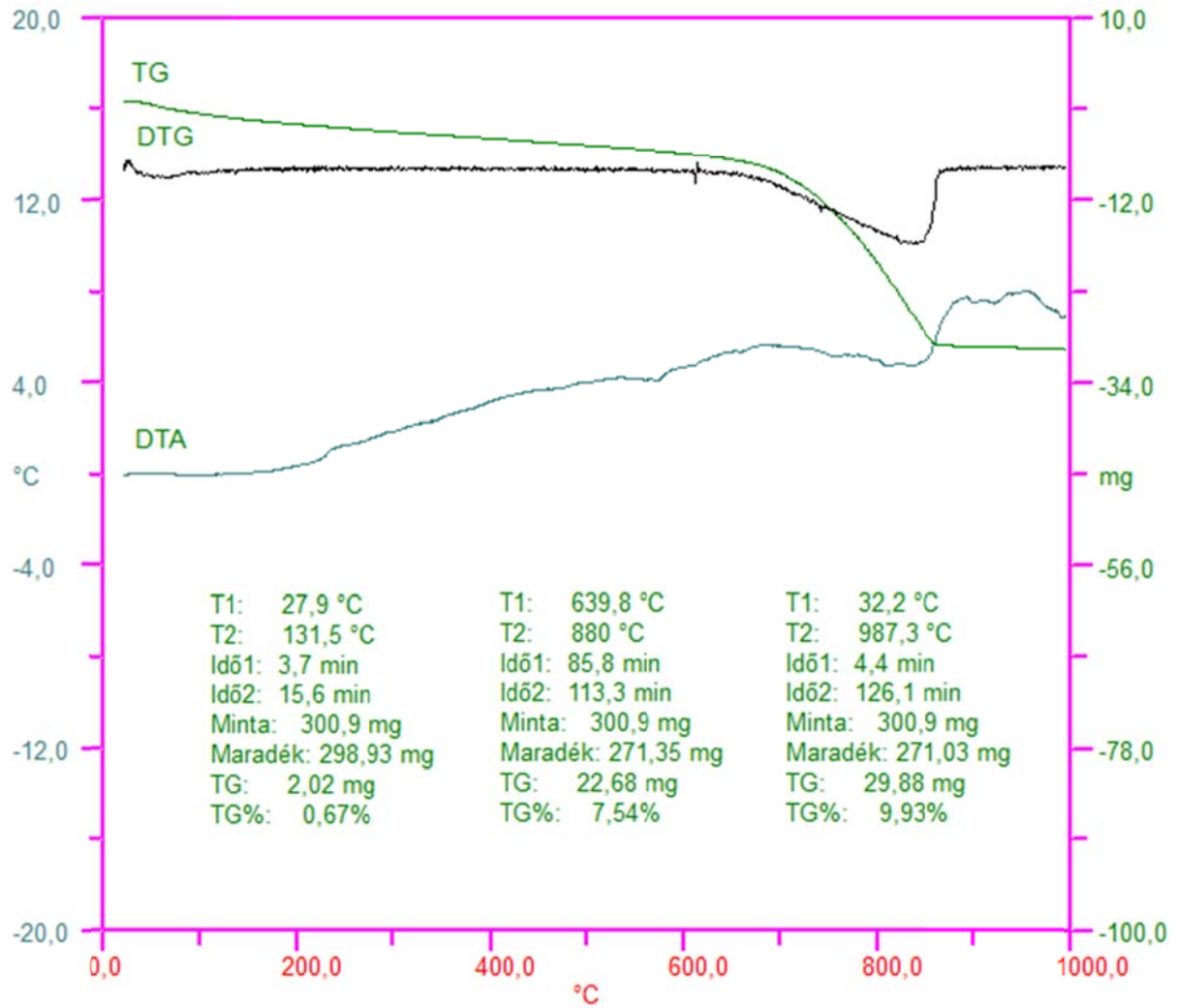
$$11,79 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 26,8 \text{ m\% CaCO}_3$$

K6	16111K	LB4033
----	--------	--------



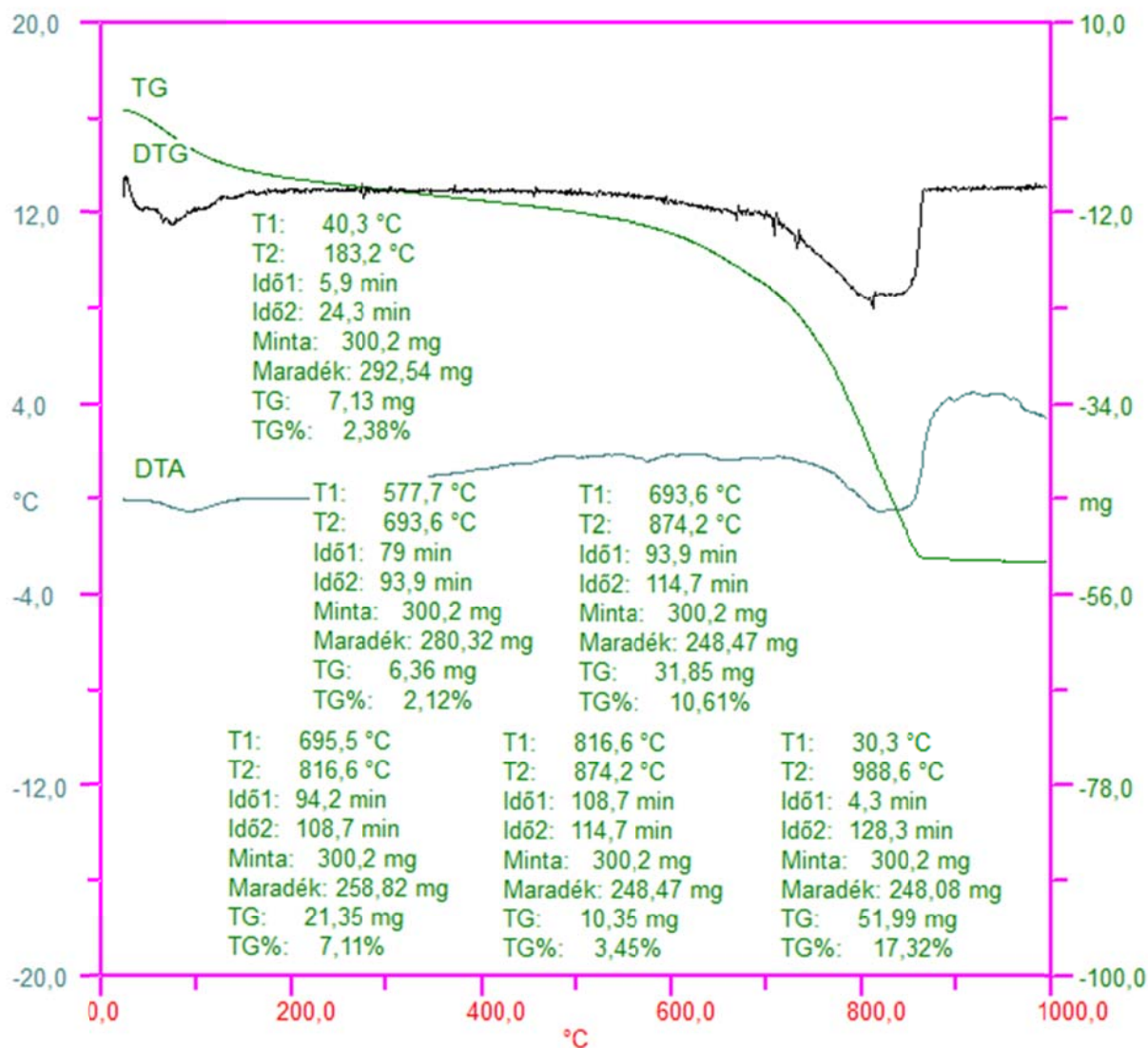
$$10,45 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 23,7 \text{ m\% CaCO}_3$$

K13	16112K
-----	--------



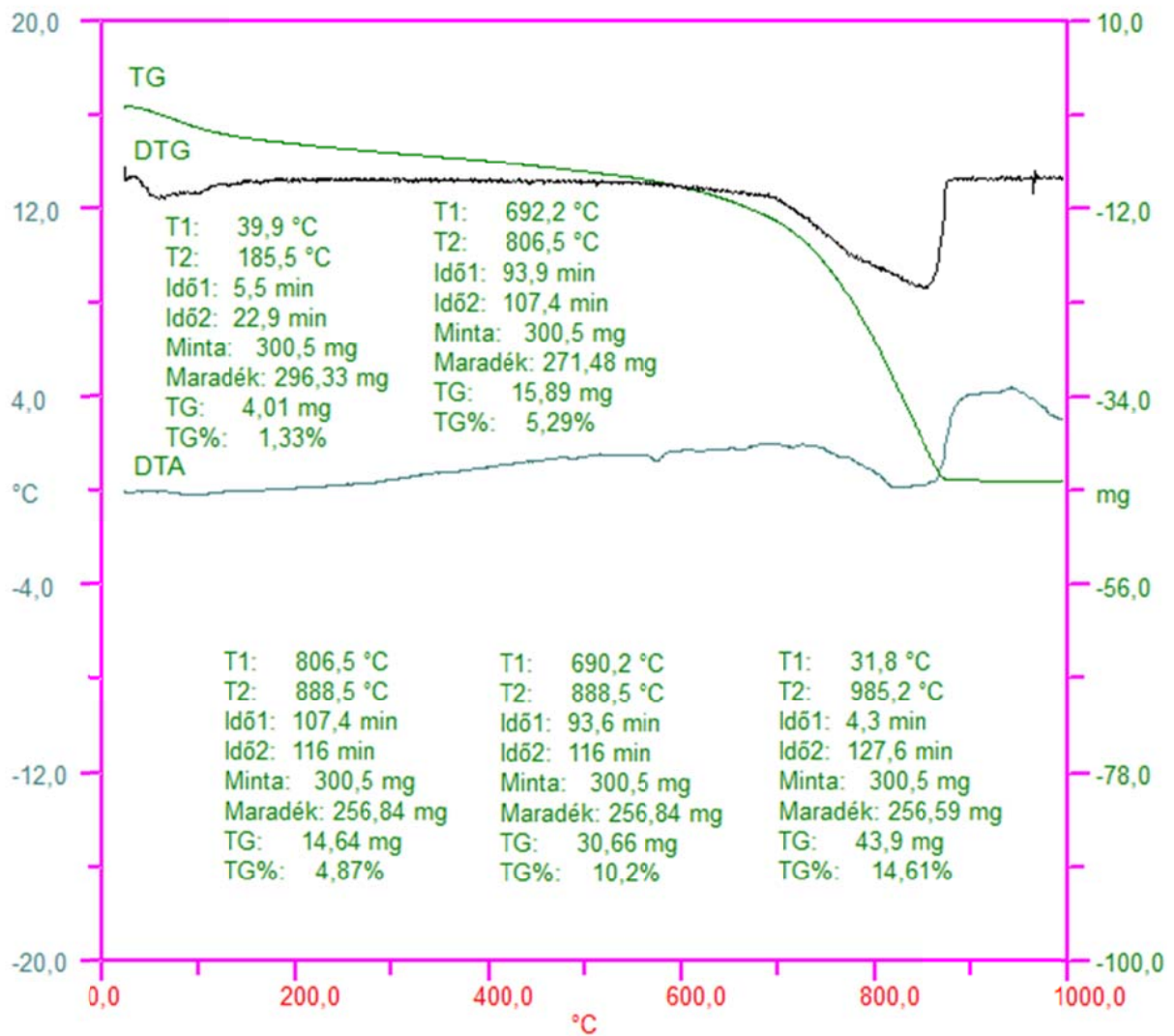
$$7,54 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 17,1 \text{ m\% CaCO}_3$$

K15	16113K	
-----	--------	--



$$10,61 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 24,1 \text{ m\% CaCO}_3$$

9	16122K	
---	--------	--



$$10,2 \times 2,27 (= f_{\text{CaCO}_3}) = 23,2 \text{ m\% CaCO}_3$$

12.5 V. számú melléklet: Testsűrűség

Minta	Morzsolódás	Nedvesség tartalom, m%	Vízfelvétel, m%	Testsűrűség, kg/m ³	Látszólagos porozitás, %
1	kicsit	0,19	13,50	1683	22,71
2	kicsit	0,11	11,37	1688	19,19
3	morzsolódott	0,26	7,91	1726	13,65
5	morzsolódott	0,16	11,03	1653	18,24
6	nagyon	0,10	9,45	1759	16,63
8	morzsolódott	0,12	12,07	1677	20,24
9	kicsit	0,45	14,40	1717	24,72
10	morzsolódott	0,40	19,29	1732	33,42
11	morzsolódott	0,27	6,44	1650	10,63
K1	nagyon	0,46	12,50	1627	20,34
K2	morzsolódott	1,23	15,85	1657	26,27
K3	kicsit	0,09	10,54	1727	18,20
K4	nagyon	0,37	11,42	1647	18,81
K5	kicsit	0,22	11,58	1756	20,34
K7	kicsit	0,11	7,89	1677	13,23
K8	kicsit	0,55	16,13	1721	27,75
K9	nagyon	0,17	9,59	1741	16,69
K10	kicsit	0,32	10,50	1737	18,25
K11	kicsit	0,10	15,61	1773	27,68
K12	morzsolódott	1,10	18,08	1686	30,49
K13	morzsolódott	0,09	10,19	1732	17,64
K14	morzsolódott	0,35	7,59	1658	12,58
K15	nagyon	0,74	19,91	1692	33,68
K16	kicsit	0,29	11,27	1693	19,08
K17	kicsit	0,15	11,42	1704	19,45

12.6 VI. számú melléklet: Szemeloszlás

