

En förstudie till analys av kalkputs med
tegelstenspulver från den Albanska staden
Gjirokaster

Anton Bachs

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Konservatorprogrammet
15 hp
Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet

2015:37

Naturvetenskapliga
fakulteten



GÖTEBORGS UNIVERSITET

En förstudie till analys av kalkputs med tegelstenspulver från den Albanska staden Gjirokaster

Anton Bachs

Handledare: Maria Höjjer

Kandidatuppsats, 15 hp
Konservatorprogram
Lå 2014/15

Program in Integrated Conservation of Cultural Property
Graduating thesis, BA/Sc, 2015

By: Anton Bachs
Mentor: Maria Höijer

A pilot study of analysis of limeplaster with brickpowder from the Albanien city
Gjirokaster

ABSTRACT

The thesis is an analysis of cocchiopesto plaster from the Albanian city Gjirokaster. Cocchiopesto is a plaster or mortar where the main aggregate is crushed brick. The plaster is taken from a water cistern located at the bottom floor of an abandoned house in the city, the plaster is from the Ottoman era. The main aim of the thesis was to establish what implication the aggregates in the plaster had on the performance of the plaster and also what further research is needed.

The methods used were optical microscopy, gravimetric analysis of the weight ratio between lime and crushed bricks by dissolution in hydrochloric acid and Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX).

The EDX showed that there may be a trend of silicates reacting with the lime and lime moving in the brick aggregates, the silicates makes it possible for the plaster to harden in contact with water and the lime in the bricks make the plaster stronger. Further research is needed in the areas regarding the craftsmanship of cocchiopesto.

Title in original language: En förstudie till analys av kalkputs med tegelstenspulver från den Albanska staden Gjirokaster

Language of text: Swedish

Number of Pages: 39

Förord

Tro det eller ej, men det har varit lärorikt att skriva en uppsats, och även om jag stundtals svurit mig hes över valet av ett naturvetenskapligt uppsatsämne hoppas jag att de gamla orden ”ad aspera ad astra” är passande för att beskriva arbetet.

Vill passa på att tacka Andreas Karlsson och Emily Whitehurst Zack för hjälp av preparering av prover och snabbkursen i hur SEM-EDX fungerar. Jonny Bjurman och Jacob Thomas för att de bringade klarhet i de kemiska resultaten.

Tackar även Maria Höijer för hjälpen att behålla fokus och att snäva av infallsvinklarna när de blivit på tok för vida.

Sist men inte minst, tack till Margareta Goop för rättningen och det där allmänna stödet.

INNEHÅLL

1. INLEDNING

1.1	BAKGRUND.....	11
1.2	PROBLEMFÖRMULERING OCH SYFTE.....	12
1.3	UPPSATSENS MÅLSÄTTNING.....	12
1.4	FRÅGESTÄLLNINGAR.....	12
1.5	FORSKNING OCH KUNSKAPSLÄGE.....	13
1.6	AVGRÄNSNING.....	14
1.7	HISTORISKA KONTEXTEN.....	14-17
1.8	KEMIN BAKOM POZZOLANA.....	17-19

2. OKULÄR ANALYS, GRAVIMETRISK ANALYS EFTER UPPLÖSNING OCH SEM-EDX

2.1	PROVER OCH METOD.....	20
2.2	FÖRBEREDELSE AV PROVER.....	21
2.3	RESULTAT AV OKULÄR ANALYS OCH SEM-EDX.....	22-32
2.4	RESULTAT AV DEN GRAVIMETRISKA ANALYSEN.....	33

3. DISKUSSION

3.1	MÖJLIGA FELKÄLLOR I UNDERSÖKNINGSMETODER.....	34
3.2	VILKA KOMPONENTER INGÅR I PUTSEN.....	35
3.3	VAD FÖR EGENSKAPER SKÄNKER KOMPONENTERNA PUTSEN.....	35-36
3.4	BEHOVET AV KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGAR...	36-37
3.5	NÄSTA STEG I UNDERSÖKNING AV COCCIOPESTO.....	37-38

4. AVSLUTANDE SAMMANFATTNING.....

39

KÄLLFÖRTECKNING.....

41-43

1. INLEDNING

Detta är min kandidat uppsats inom Konservatorsprogrammet på Göteborgs Universitet och omfattar 15 högskolepoäng. Uppsatsen är skriven under vårterminen 2015.

1.1 BAKGRUND

Stiftelsen Kulturarv Utan Gränser (KuG) är en svensk organisation som arbetar för att rädda och vårda hotat materiellt och immateriellt kulturarv. Stiftelsen grundades 1995 som en direkt reaktion på förödelsen under kriget i Bosnien och Hercegovina i början av 1990-talet. Organisationen är idag verksam över hela balkanregionen.

Under praktikperioden på konservatorprogrammet var jag placerad på ett av KuGs lokalkontor i den Albanska staden Gjirokaster. Staden har ca 25 000 invånare och är berömd för det stora antalet hus från den ottomanska perioden, och är listad som ett världsarv av UNESCO.

Totalt är det ca 600 hus i Gjirokaster som har ett juridiskt skydd som innebär att förändringar av husen måste godkännas av staten. Husen är indelade i två skyddskategorier. Hus i kategori 1 är skyddade både invändigt och utvändigt. Hus i kategori 2 är skyddade utvändigt.

Husen är till största del byggda av lokal kalksten med kalkputsade fasader och invändiga träsniderier. Taken består av massiva stenskivor, vilket ger staden dess särprägel.

Gjirokaster har stora politiska och ekonomiska problem, detta medför att underhåll av husen är kraftigt eftersatt och att de strikta reglerna kring ombyggnationer av de skyddade husen inte efterföljs.

Under kommunisttiden, 1944-1992, ägdes alla husen av staten. Ägandeskapet har nu återgått till de tidigare ägarna. Detta har fått till följd att ett flertal hus ägs av över 70 personer, utspridda över hela världen. För att kunna utföra åtgärder måste det råda konsensus bland alla ägarna till huset.

I Albanien finns det inga specialiserade kulturvårdsutbildningar och de som finns är främst riktade mot arkitekter. De små ekonomiska resurserna och fåtalet yrkesutövare inom fältet kulturvård, är bidragande orsaker till att det finns få analyser utförda på kalkbruken i Gjirokaster.

1.2 PROBLEMFÖRMULERING-OCH SYFTE

De Ottomanska husen i Gjirokaster har stora vattencisterner inne i husen för uppsamling av regnvatten. Dessa cisterner är putsade invändigt med ett bruk som kallas cocchiopesto. Cocchiopesto är den benämning som är vanligast förekommande i litteraturen för att beteckna kalkbruk blandat med tegelstenspulver.

Vattencisternerna fyller en nyckelfunktion i husens avancerade vattenledningssystem, trots detta talade min handledare, Elena Nastro Mamani, om att det inte finns några analyser gjorda på putsen och att kunskapen om putsen är mycket begränsad. Cocchiopesto puts finns även i stadens ottomanska badhus.

Den bristande kunskapen om putsen gör det svårt att välja korrekta restaurerings/konserverings metoder. Uppsatsen syftar till att ge en större förståelse för hur putsen är sammansatt och därigenom bidra till att framtida restaurerings/konserverings åtgärder utförs på ett adekvat sätt.

Jag vill även hitta historiska öppningar som möjliggör en berättelse om putsen. Att ge putsen en plats i historien om den Ottomanska staden Gjirokaster är ett sätt att skänka putsen ett värde som förhoppningsvis bidrar till putsens bevarande.

Förstudien syftar även till att fungera som ett avstamp till vidare frågeställningar och undersökningar av relevans rörande cocchiopeston i Gjirokaster.

1.3 UPPSATSENS MÅLSÄTTNING

Målet med uppsatsen är att klargöra vilka komponenter som ingår i kalkputsens och beskriva dessa komponenters inverkan på putsens egenskaper. Uppsatsen skall även bekräfta eller vederlägga om putsen innehåller tegelstenspulver. Då uppsatsen är en förstudie skall den ge förslag på vidare forskning rörande cocchiopesto i Gjirokaster.

1.4 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Vilka komponenter ingår i kalkputsens?
- Vad för egenskaper skänker komponenterna putsen?

1.5 FORSKNING-OCH KUNSKAPSLÄGE

Det finns inga tidigare analyser gjorda på kalkputsen i Gjirokaster. Men analyser av kalkputs är vanligt förekommande inom de akademiska områdena Arkeologi, Kulturvård och Materiallära (Elsen 2006, s. 1417).

Intresset för kalkbruk har, inom kulturvård, ökat markant de senaste 20 åren. Detta som följd av insikten om cementbaserade bruks olämplighet vid renoverings arbeten. (Elert et al. 2002, s. 63). Stora delar av denna forskning syftar till att förstå ett specifikt bruks egenskaper för att kunna välja lämpliga lagningsbruk (Middendorf et al. 2005a, s. 762).

De senaste årens forskning har uppmärksammat kalkbrukens komplexitet och svårigheterna att dra generella slutsatser rörande kalkbruk. Brukets egenskaper är inte bara avhängigt av dess komponenter, faktorer som framställningsprocesser, val av kalksten m.m. spelar också stor roll (Arizzi & Cultrone 2012, s. 818). Materialets komplexitet gör att den existerande forskningen är mycket omfattande.

Tegelstenspulver i ett bruk är ett s. k. pozzolanskt material. Termen pozzolana används för att beskriva ett material som reagerar kemiskt med calcium hydroxid i närvaro av vatten och på så sätt skapar ett bruk med hydrauliska egenskaper. Det finns en vid mängd material som kan gå under benämningen pozzolana (Sabir et al. 2001, s. 441).

Pozzolaniska tillsatser har används i kalkbruk i ca 2500 år. Mest känt är de romerska ingenjörernas användande av hydrauliskt bruk (Moropoulou et al. 2005, s. 295). Då denna typ av kalkbruk är vanligt förekommande på historiska byggnader, främst från romerska, bysantinska och ottomanska konstruktioner, finns det ett flertal studier rörande dessa bruk. Ett bra exempel som visar på intresset för cocchiopesto inom kulturvården är Elif Ugurlus masteruppsats *Characterization of Horasan Plasters from some Ottoman Baths in Izmir* från 2005.

Forskningen om pozzolaniska tillsatser sker inte enbart inom kulturvårdsfältet. Tillverkare av moderna cementbruk har visat ett ökat intresse för möjligheten att använda sig av pozzolaniska avfallsprodukter från industrin, detta för att minska miljöpåverkan från framställning av modern cement (Sabir et al. 2001. Toledo et al. 2007. Medina et al. 2014. Liu et al. 2015. Cachim 2009).

Forsknings rapporten *Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation* av Nezerka et al. från 2015 refereras ofta till i min uppsats. Forskarna har använt sig av svepelektronmikroskopi med dispersiv röntgenspektroskopi, optiskmikroskopi och nanoindentation för att analysera cocchiopesto. Rapportens huvudsyfte var att undersöka de mekaniska egenskaperna i reaktionszonen mellan tegel och kalk med nanoindentation. Deras resultat visar att reaktionszonen mellan kalk och tegel är starkare än den mellan kalk och sand aggregat.

1.6 AVGRÄNSNING

För att öka validiteten av resultaten hade det varit önskvärt med fler typer av analyser, vilket är praxis i liknande undersökningar. Jag valde att koncentrera mig på svepelektronmikroskop utrustad med energi dispersiv röntgenspektroskopi (SEM-EDX), optisk mikroskopi samt en enkel gravimetrisk analys efter upplösning i saltsyra.

Valet av att använda mig av SEM-EDX och optiskmikroskopi beror på att dessa metoder är vanligt förekommande inom forskningsfältet och att det på universitetet finns kunskap om dessa instrument.

Optisk mikroskopi är en metod som inte kräver tillgång till avancerad apparatur och går att tillämpa i projekt med små ekonomiska medel. Mikroskopisk analys valdes framför mer avancerade metoder för dess möjlighet att i framtida projekt användas på plats i Gjirokaster. Att initialt undersöka provet under ett optisk mikroskop gör det enklare att hitta intressanta områden för undersökning med SEM-EDX, och färgfoton från optisk mikroskopi ger ett bra komplement till de svartvita foton från SEM.

Mekaniska analyser togs inte med i min undersökning. För att kunna testa en puts mekaniska egenskaper behöver flera olika faktorer undersökas, vilket skulle kräva en mer omfattande analys än vad som ryms i en kandidatuppsats.

1.7 HISTORISKA KONTEXTEN

Då denna uppsats behandlar kalkputs från Albanien kommer min historiska beskrivning att koncentrera sig på området kring Medelhavet och därav har jag inte tagit med andra, ur en kalkhistorisk synvinkel intressanta, geografiska områden som Kina, Indien eller Centralamerika. Min historiska exposé tar sin början i Romariket, även om kunskapen om hydrauliska kalkbruk är betydligt äldre än Romariket, var det romarna som utvecklade denna teknik till en systematisk användning och spred tekniken över hela Medelhavet. Jag har valt att inte beskriva upplösningen av det Ottomanska riket, detta pga. Gjirokasters signifikans som världsarv definieras utifrån stadens tidstypiska Ottomanska arkitektur.

Romarikets ingenjörer använde sig metodiskt av pozzolana till olika typer av konstruktioner, och själva ordet ”pozzolana” härstammar från Romariket. Namnet kommer från *pulvis puteolanus* och betyder ordagrant ”jordmaterial från Puteoli” vilket syftar på ett ”jordmaterial” som består av vulkansand rik på aluminosilikat, detta ger i blandning med kalkbruk hydrauliska egenskaper. Det är detta material, tillsammans med kalk, som är bindemedlet i det som i dag betecknas som romersk cement. Upptäckten av cement möjliggjorde för romarna att konstruera storslagna byggnader, som Colosseum och Panteon. Men även om dessa byggnader är häpnadsväckande konstruktioner var det på infrastrukturen

som cementen fick sin största inverkan på romarriket. Bl.a. möjliggjorde cementens hydrauliska egenskaper anläggning av hamnar utan att behöva ta hänsyn till platsers naturliga lämplighet. (Oleson et al. 2004, ss. 199-200. Delatte 2001, s. 114). Att den hydrauliska cementen fick en sådan stor betydelse i romarriket hänger även samman med romarnas konstruktion av väggar. Dessa väggar var konstruerade likt ett skal med tegel eller sten som sen fylldes med cement, vilket förbättrade hållfastigheten avsevärt då detta material kunde packas i större kvantiteter och ändå härda (Lippiello 2010, s. 87).

I fallet med den romerska cementen är det klart att dess användning var systematisk och att tillverkarna var medvetna om de olika materialens betydelse för brukets egenskaper. När det kommer till användning av keramiska material i kalkbruk är det betydligt svårare att dra generella slutsatser som ovan. Att återanvända material är en röd tråd genom berättelsen om byggnation, och att blanda i trasig keramik i ett kalkbruk behöver alltså inte bero på kunskap om keramikens påverkan på bruket.

Det är klagjort att fenicierna använde sig av krossad keramik som pozzolansk tillsatts i invändig puts för vattencisterner (Ingo et al. 2004, s. 53), vilket tyder på en ändamålsmedveten användning av den hydrauliska tillsatsen. Likaså brukade romarna ofta krossat keramiskt material i sina kalkbruk i de delar av byggnader som var utsatta för fukt, som i golv och väggputs. Romarna benämnde denna typ av bruk för ”cocciopesto”, vilket är ett av de vanligaste namnen för att beskriva bruket i forskningslitteraturen (Lippiello 2010, s. 90). Romarna använde flitigt bränt tegel i sina konstruktioner, vilket även gäller för de Bysantinska och Ottomanska rikena (Stefanidou et al. 2014b s. 2). Detta skapade såklart möjligheter att i stora kvantiteter återanvända tegel i bruk och puts.

Det är viktigt att hålla i minnet att det Bysantinska riket var en direkt fortsättning på romarriket, och således hade många av romarrikets arkitektoniska kunskaper. Åtminstone fram till 600-talet fortsatte byggandet med romerska tekniker (Osterhout, 1999. ss. 29, 43-44), för att därefter minska markant, troligtvis p.g.a. brist på ekonomiska medel och en minskande befolkning (Lewis 2008, s. 375).

Under det Bysantinska riket utvidgades användandet av cocciopesto till att även omfatta fogningar av bärande element i konstruktioner och samtidigt vidgades fogarna. (Baronio et al. 1997, s. 33). Det välbekanta bysantinska byggnadsverket Haga Sophia från 500-talet är det mest kända exemplet på det Bysantinska rikets användning av cocciopesto i bärande strukturer. En av fördelarna med användning av cocciopesto som murbruk är att det bidrar till att göra konstruktionen motståndskraftig mot jordbävningar (Moropoulou et al. 2002, s. 550. Nezerka et al. 2015, s. 127). Att en sådan stor och komplicerad konstruktion som Hagi Sophia fortfarande är intakt efter 1500 år i ett jordbävningens drabbat område är ett levande bevis för skickligheten och kunskapen hos forna konstruktörer.

Det Ottomanska riket gjorde sitt intåg i historieböckerna genom att år 1453 erövra Konstantinopel (nuvarande Istanbul) och begrava den sista resten av det romerska riket. Förfallet av det vidsträckta Bysantinska riket och övertagandet av Ottomanerna var en process som påbörjades långt innan de dramatiska händelserna 1453.

Ottomanska riket har sina rötter i de olika turkiska nomadstammar som bebodde den vidsträckta stäppen mellan Europa och Kina. Under 1000-talet hade de turkiska stammarna etablerat politisk kontroll över stora delar av mellanöstern under vad som kallas det Seldjukiska imperiet. (Stierlin 1998, ss. 7-12). De turkiska stammarnas stadsbyggande präglades av en pragmatism som gjorde att många kulturella, tekniska och byråkratiska aspekter av de erövrade områdena införlivades i den nya statsapparaten (Ousterhout 2004, ss. 167-168. Pamuk 2004, ss. 228).

Födelsen av det Ottomanska riket tillskrivs en av de turkiska stammarnas ledare vid namn Osman Gazi. Osman var herre över en av provinserna i Anatolien och bröt sig loss från det Seldjukiska imperiet under början av 1300-talet. Under mitten av 1300-talet expanderade det lilla riket kraftigt och vid tiden för Konstantinopels fall 1453 var Balkan och Anatolien under Ottomansk kontroll. Denna kraftiga expansion förklaras delvis av att Ottomanerna initialt bevarade lokala maktcentra, vilket visade sig vara en icke helt lyckad politik då den ledde till flera revolter. Ottomanerna svarade genom en kraftig centralisering i både Anatolien och Balkan (Inalicik 1973, ss. 5-22).

För att befästa kontrollen över Balkan skickade den Ottomanska staten kolonisateurer, inte alltid frivilligt, och gav soldater möjligheten att ta ut skatter i de nyligen erövrade kristna områdena. Detta system, liksom många andra administrativa skapelser som krävdes för att hantera ett stort centraliserat rike, hämtades initialt från det Bysantinska riket (Hupchick 2002, ss. 104-105, 126. Inalicik 1973, s. 65). Ytterligare ett exempel på Ottomanernas användning av redan befintliga strukturer var deras hantering av det stora antalet icke muslimska grupperingar i landet. Varje religiöst samfund delas in i så kallade milleter, där varje millet hade egna lagar och domstolar som exempelvis behandlade frågor rörande familjerätt. Liknande uppdelningar fanns både i det Bysantinska och Seldjukiska rikena (Hupchick 2002, ss. 130-135).

Städerna i Balkan genomgick en stor förändring under ottomanerna, här samlades den administrativa och militära organisationen. Då poster till de styrande organen innehades av muslimer infann sig nya arkitektoniska element i städerna, som moskéer, badhus, fontäner och nya byggnadsstilar (Hupchick 2002, s 141). Gjirokaster är ett exempel på en stad som under det Ottomanska riket genomgick både en kraftig demografisk och arkitektonisk förändring. Staden införlivades i riket 1417 och från 1600-talet beboddes staden till stor del av den muslimska styrande eliten (Kiel, 1990, s. 138-139).

Det magra kunskapsläget rörande det historiska Gjirokaster gör det mycket svårt att säga något specifikt om staden, och ännu svårare att stätta in putsproverna i en historisk kontext kopplad direkt till Gjirokaster, men detta skulle kunna låta sig göras genom att undersöka hantverksskråna i staden.

Kvarteren i de Ottomanska städerna delades ofta in i religiösa och/eller hantverksskrå tillhörighet. Medlemskap i hantverksskråna var religiöst oberoende och skrånorna var delvis styrda av den centrala myndigheten (Hupchick 2002, s. 141). Ändringar i skrånans regelverk, som prissättning av arbete, skedde genom samverkan mellan skrånorna och den centrala myndigheten. Statens huvudintresse rörande skrånorna var att säkra skatter, förhindra exploatering och vidhålla stabilitet. Förutom frågorna rörande dessa tre områden var skrånorna självbestämmande (Inalicik 1973, ss. 153-155).

De flesta städerna i det Ottomanska riket var små, och då transportvägarna var dåligt utvecklade skapade detta små lokala marknader. För att motverka konkurrens fick de olika skrånorna i staden ofta monopol på sin verksamhet och för att förhindra konkurrens bland skrånans egna medlemmar skapades väldefinierade regelverk rörande standarder som typer av råmaterial, verktyg, utförande o.s.v. Skråsystemet var starkt konservativt och nymodigheter sågs inte på med blida ögon (Inalicik 1973, ss. 157-158).

Tyvärr har jag inte lyckats hitta någon information som närmare beskriver Gjirokaster under den Ottomanska eran. I staden finns det rikligt med Ottomanska skyltar ovanför husportaler, både med skrift och symboler. Det samma gäller även för vissa av muralmålningarna som återfinns på några av de putsade husfasaderna. Mina kollegor på KuG:s kontor i Gjirokaster påstod att skyltarna innehöll information om bl.a. skråtillhörighet, om detta stämmer, skulle en undersökning av skyltarna kanske utgöra en konkret koppling mellan Gjirokaster och den Ottomanska eran.

1.8 KEMIN BAKOM POZZOLANA

Jag har valt att använda mig av cement nomenklatur, då detta är praxis inom cement och betong lära. Cement nomenklaturen är ett förenklat sätt att skriva ut de vanligaste förekommande kemiska formlerna inom cement. I texten nedanför förekommer CH vars konventionella formel är $\text{Ca}(\text{OH})_2$ och C-S-H vars formel är $(\text{CaO})^* \text{SiO}_2^* (\text{H}_2\text{O})$, förhållandet mellan Si/Ca i C-S-H kan skifta.

Inom historiska bruk skiljs det på mellan två sorter av bruk, hydrauliska och lufthärdande. Denna uppdelning är dock väldigt sällan tydlig, ofta härdar historiska hydrauliska bruk i olika grad både genom hydratisering (genom vatten) och karbonatisering (genom luft). Båda dessa bruk, liksom moderna cement, är framställda genom att bränna kalksten. Skillnaden mellan de två brukens egenskaper är avhängt på hur ren kalkstenen är. De hydrauliska egenskaperna kommer oftast från orenheter i kalkstenen, som lermineraler, alternativt genom

tillsats av material som skänker bruket hydrauliska egenskaper. Under bränningen av oren kalksten övergår lermineralerna till kalciumsilikat som har förmågan att binda in vatten i strukturen och skapa kalcium- och kisel-aluminium-hydrat, dessa hakar i varandra och bildar under härdande ett nätverk genom bruket (Johansson 2004, s. 16-21).

Portland cement (modern cement) tillverkas genom att bränna kalksten med lermineraler under hög temperatur tills det sintrar och bildar klinker. Materialet kyls ned och mals till ett fint pulver, detta klinkerpulver är cement. Till största del består cement av kalciumoxid (från kalkstenen) och silikater samt aluminiumoxid (från lermineralerna). I närvaro av vatten reagerar silikaterna och aluminiumoxiden med vatten genom att binda till sig väte och bilda kalciumsilikathydrat och kalciumaluminiumhydrat. C-S-H (kalciumsilikathydrat) är det ämne som har den största inverkan på cementets egenskaper och brukar beskrivas som en gel, vilket är aningen missvisade då ämnet består av mycket små kristaller (Neville 1995, ss. 2-8 14-15 34-35 42).

Termen pozzolana syftar på de material som i närvaro av kalcium hydroxid (släckt kalk) kan härda i vatten. Pozzolanska material delas in i två grupper, de naturliga och de artificiella. Naturliga pozzolana är material som inte kräver någon behandling för att ge hydraulisk effekt och de artificiella är material som behöver bearbetas för att denna effekt skall uppstå (Massazza 2003, s. 471). När silikaterna reagerar med vatten i modern cement och bildar C-S-H skapas biprodukten CH (kalciumhydroxid). CH har inga cementerande egenskaper i cementen men genom att tillföra pozzolana går det att få en reaktion mellan CH och det pozzolanska materialet för att få ut ytterligare C-H-S (Maheswaran et al. 2013, s. 17).

Tegel är ett exempel på en artificiell pozzolana och det är lermineralerna i teglet som möjliggör hydrauliska reaktioner, dessa innehåller höga halter av aluminiumoxid och silikater. För att lera skall få användbara pozzolanska egenskaper behöver den brännas. Bränningen gör att det kristallina nätverket av lermineralerna bryts ner och lämnar aluminium oxiden och silikaterna i ett oordnat, amorft tillstånd. Bränningstemperaturen för teglet behöver ligga mellan 600-900 grader (Massazza 2003, s. 485. Baronia & Binda 1997, ss. 44-45). Temperaturer över 900 grader gör att leran förglasas och blir då betydligt mindre reaktiv (Massazza 2003, s. 492. Karatasios et al. 2014 s. 278).

Pozzolanareaktionen sker i interaktionen mellan teglet och kalken, karaktäristiskt för denna reaktionszon är att Ca (kalcium) vandrar in mot teglet och att Si (kisel) och Al (aluminium) vandrar ut från teglet i kalken och bildar kalciumsilikathydrat, och/eller kalciumaluminiumhydrat. Hydratgelen inkapslar teglet (Moropoulou et al. 2002, s. 548. Böke et al. 2006, s. 1115. Nezerka et al 2015, s. 124).

Inom betonglära bestående av modern cement kallas denna zon för ITZ, som är en förkortning på Interfacial Transition Zone. ITZ är reaktionszonen mellan cement/aggregat och betraktas som en av de tre huvudfaserna i betong, de två andra är cement och aggregat. Vad ITZ innehåller är avhängigt av cementens

sammansättning och typ av aggregat. Cement består av små partiklar som packas mot aggregatet med de minsta partiklarna innerst, vilket gör att cementen närmast aggregatet har större porositet och det är denna porösa del, närmast aggregatet, som är ITZ. Ofta fylls denna porösa del med hydrationsprodukter från den omkringliggande cementmatrisen och reaktionsprodukter från kemiska reaktioner mellan aggregat och cementmatris. ITZ har oftast ansetts vara den svaga länken i modern betong, då det i denna zon kan uppstå mikrosprickor som minskar betongens hållfasthet. De ingående processerna är komplicerade och inte fullt kartlagda. (Scrivener et al. 2004, ss. 412-421. Medina et al. 2014 ss. 83-84. Kong & Du 2015, s. 121). Det skall dock tilläggas att det i nuläget råder ett visst tvivel i vilken grad ITZ skall betraktas som den svaga länken i cement (Rangaraju et al. 2010, s. 1606).

Användningen av keramiskt avfall från industrin som aggregat och tillsatsmedel i moderna cement har under de senaste åren blivit allt mer populärt p.g.a. en ökad miljömedvetenhet. Att blanda i keramiskt material i moderna cement gör att ITZ blir starkare genom att det keramiska materialet bildar mer C-S-H, sänker porositeten och skapar en starkare och mer homogen ITZ än i cement utan keramiskt avfall (Liu et al. 2015 s. 358-360). Vad som är problematiskt, ur industrins synvinkel, med användandet av keramiskt avfall är att egenskaperna detta har på cementen är avhängigt av vilken typ av keramik som används (Cachim 2009, s. 1296), vilket gör att varje typ av keramiskt avfall måste testas innan det kan appliceras.

ITZ:s egenskaper mellan tegel och kalk är en avgörande parameter för de positiva effekterna i historiska bruk med tegelkross. Kalken penetrerar teglet och transformerar de relativt stora tegelporerna till mindre porer, vilket bidrar till ökad styrka. C-S-H gelen runt teglet ökar brukets elasticitet och därigenom möjliggör för konstruktioner byggda av denna typ av bruk att motstå jordbävningar (Moropoulou et al. 2002, s. 552. Nezerka et al. 2015, ss. 127-128). Att ITZ i teglet har andra mekaniska egenskaper än ITZ i naturliga aggregat, som sand, kan tillskrivas att teglets elasticitet stämmer bättre överens med bindemedlets elasticitet, och därför minskar risken för mikrosprickor (Medina et al. 2014, s. 90).

2. OKULÄR ANALYS, GRAVIMETRISK ANALYS EFTER UPPLÖSNING I SYRA OCH SEM-EDX

2.1 PROVER-OCH METOD

Proverna är hämtade från huset Haderi som ligger på gatan Alqi Kondi i Gjirokaster och är tagna från husets vattencistern. Även om cisternen ligger någorlunda skyddad från väder och vind är fuktnivåerna i väggen hög och putsen har på några ställen börjat lossna.

Jag tog sammanlagt fyra bitar av putsen genom att med hammare och mejsel hugga loss bitarna från två olika platser där putsen börjat lossna.

Analysmetoderna jag använt mig av är optiskmikroskopi, SEM-EDX och gravimetrisk analys efter upplösning i syra. Alla bilder och figurer, utom fig 28, är tagna utav mig.

Det okulära mikroskopet som användes var ett Nikon Optiphot polarisationsmikroskop. Analysen utfördes under normal, icke polariserad, belysning.

SEM-EDX är ett analytiskt verktyg som består av två sammankopplade instrument, ett svepelektronmikroskop och en energi dispersiv röntgenspektroskopi.

Svepelektronmikroskopet använder sig av elektroner för att skapa en bild av föremålet. En stråle av elektroner riktas mot den punkt av materialet som ska undersökas och scannar av punkten. Elektronerna från stålen får elektronerna hos atomerna i materialet att byta position och genererar olika typer av strålning, vilket registreras av instrumentet för att producera en datorbild (Stuart 2007, s. 93).

EDX är en förkortning av energi dispersiv röntgen spektroskopi. Detta instrument kopplas till SEM och mäter energin från röntgenstrålarna som avges när elektroner från SEM träffar atomerna i materialet, på så sätt kan EDX avgöra vilka grundämnen som materialet består av (May & Jones 2006, s. 21). Alla SEM bilder är tagna med back-scattered electrons.

Syftet med den gravimetriska analysen är att ge en indikation på mängden bindemedel i förhållande till aggregat. Detta gjordes genom att väga proverna innan och efter det att bindemedlet lösts upp i Saltsyra (HCl). Metoden används ofta vid analys av kalkputs, Middendorf et al, beskriver i sin artikel *"Investigative methods for the characterisation of historic mortars-Part 2: Chemical characterization"* från 2005a hur HCL kan användas för att lösa upp kalk och möjliggöra en hel rad analyser. Miranda et al. 2012, har utvärderat analysmetoden och de fann att den var väl lämpad för att beräkna förhållandet mellan aggregat och bindemedel

2.2 FÖRBEREDELSE AV PROVER

Två prover förbereddes från två olika putsbitar, ett tvärsnitt och ett vertikalt snitt.

Tvärsnittet togs på sådant sätt att de båda putslagren tydligt gick att undersöka.

Det vertikala snittet är taget så att det yttre putslagret ligger uppåt, för att få fram en representativ och icke miljöpåverkad yta (från exempelvis luftburna kontaminationer och reaktioner med omgivningen) slipades provet ned till ca mitten av det yttre putslagret. Proven slipades maskinellt med aluminiumoxid som slipmedel.

De två provbitarna impregnerades med epoxi i gjutformar i form av låga cylindrar, för att stärka den inre, mycket porösa strukturen. Jag valde att impregnera proverna för att förhindra att de skulle falla sönder under slipning. Epoxin som användes var Epofix från Struers och härdades under 24 timmar. De vakuumimpregnerades inte.



2.3 RESULTAT AV OKULÄR ANALYS OCH SEM-EDX

DET YTTRE PUTSLAGRET analysen är utförd på prov 1.

Den optiska mikroskop (fig. 1) och SEM bilden (fig. 2) visar att det löper en spricka mellan det inre och det yttre putsdraget. Och att det även finns sprickbildning i det yttre putsdraget. Fig 3 visar ett EDX spektra över det yttre draget.

Den optiska mikroskop bilden visar det yttre putsdraget inte består av cocchiopesto, då den vita färgen visar på frånvaro av tegel.



Fig 1. Optiskmikroskopi i förstoring 10x.

Den vänstra, orange delen är det inre putsdraget, och den vita det yttre. En spricka löper längst med de två lagren, samt en spricka i den yttre putsen

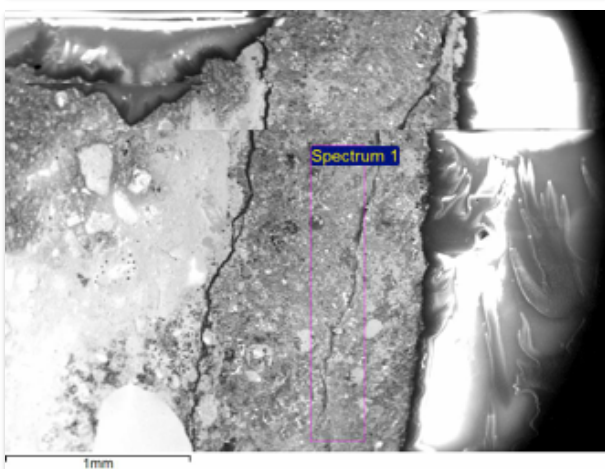


Fig 2. SEM bild.

Visar samma område som fig 1.

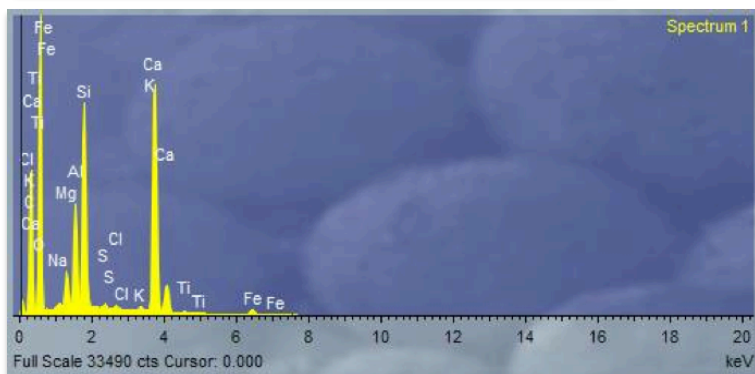


Fig 3. EDX spektra taget över området "spectrum 1" i Fig 2.

SVART AGGREGAT I DEN YTTRE PUTSEN analysen är utförd på prov 2.

Den optiska mikroskop bilden (fig. 4) och SEM bilden (fig. 5) visar ett av de svarta aggregaten i den yttre putsen. Aggregatet ligger i kontakt med det inre putslagret.

EDX spektra (fig. 6) visar på höga halter av kol, vilket tyder på ett bränt material.

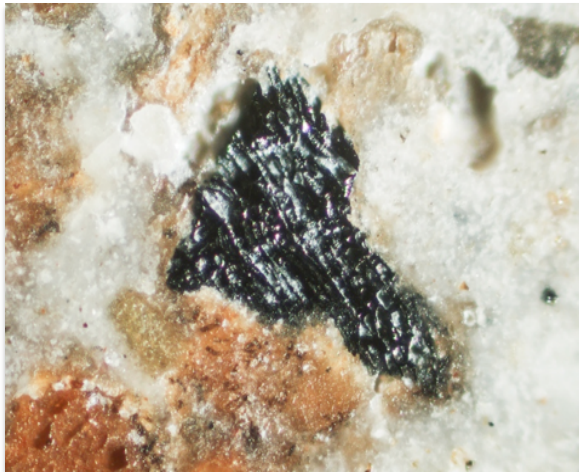


Fig 4. Förstoring 20x.
Visar ett av de svarta aggregaten i den yttre putsen

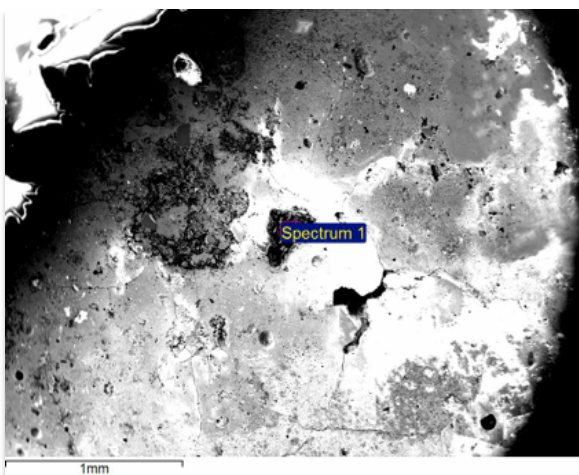


Fig 5. SEM bild.
Visar samma område som fig 4, fast i mindre förstoring.

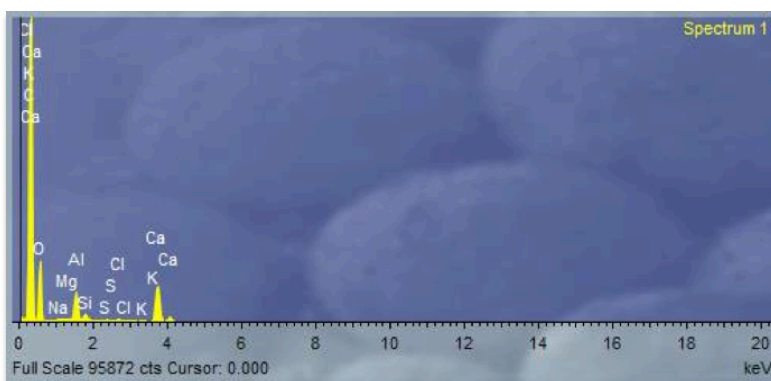


Fig 6. EDX spektra.
Taget över området spectrum 1 i fig 5.
Den höga halten av C visar på ett bränt material.

INTERAKTION MELLAN TEGEL OCH KALK analysen är utförd på prov 1.

Den optiska mikroskop bilden (fig. 7) och SEM bilden (fig. 8) är taget på ett av tegelaggregaten i den inre putsen. Runt kanten på teglet syns en mörkare ring. Bilden visar även att teglet är poröst.

Grafen (fig. 9) är tagen från spektrum 1 ut till spektrum 9 (fig. 10-16) i SEM bilden (fig. 8) och visar procent förhållandet mellan silikater (Al och Si) och kalcium från mitten av teglet ut till kalkmatrisen.

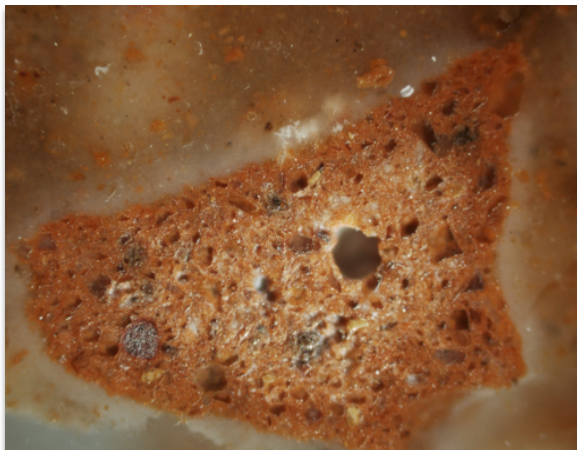


Fig 7. Förstoring 10x.
Bilden visar ett tegelaggregat. Runt kanten på aggregatet syns en mörkare ring. Bilden visar även att teglet är poröst.

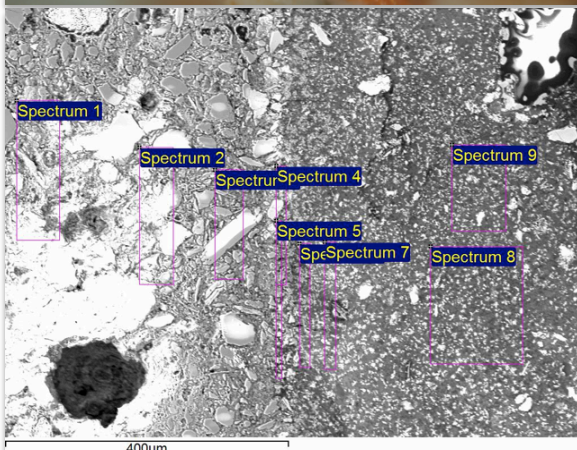


Fig 8. SEM bild.
Visar gränsen mellan tegel och kalk hos tegelaggregatet i fig 7. Gränsen går i mitten av bilden.

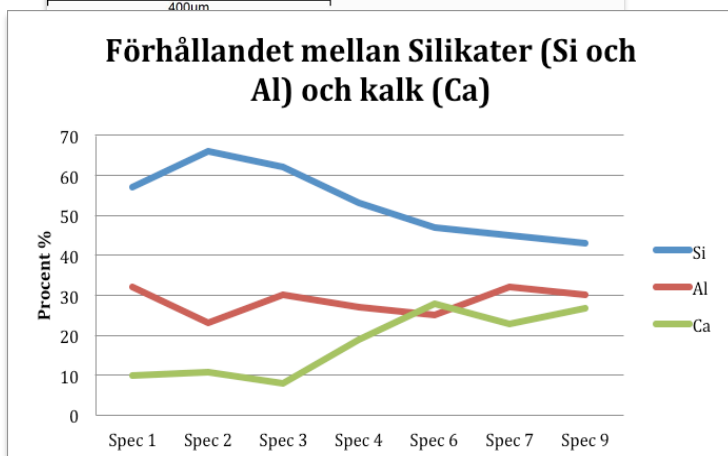


Fig 9. Grafen visar procent förhållandet mellan silikater (Al och Si) och kalcium i fig 8, från mitten av teglet ut till kalkmatrisen ses en minskning av silikater. Spektrumen som använts är 1, 2, 3, 4, 6, 7 och 9.

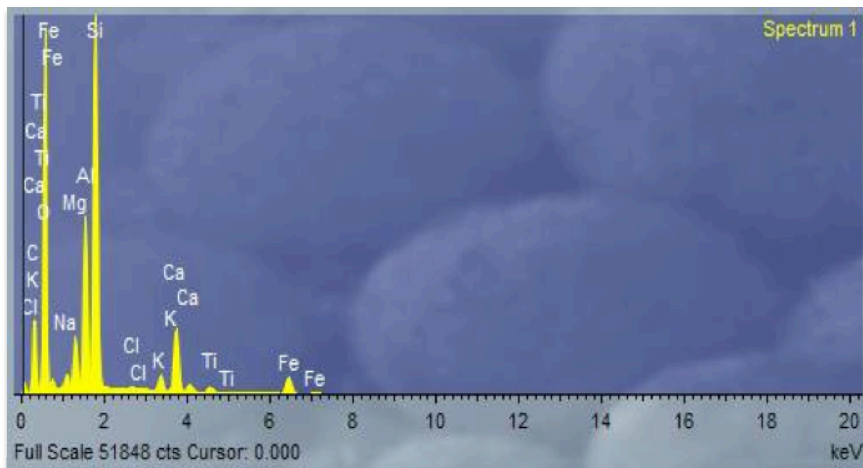


Fig 10. EDX spektra. Taget över området "spectrum 1" i fig 8.

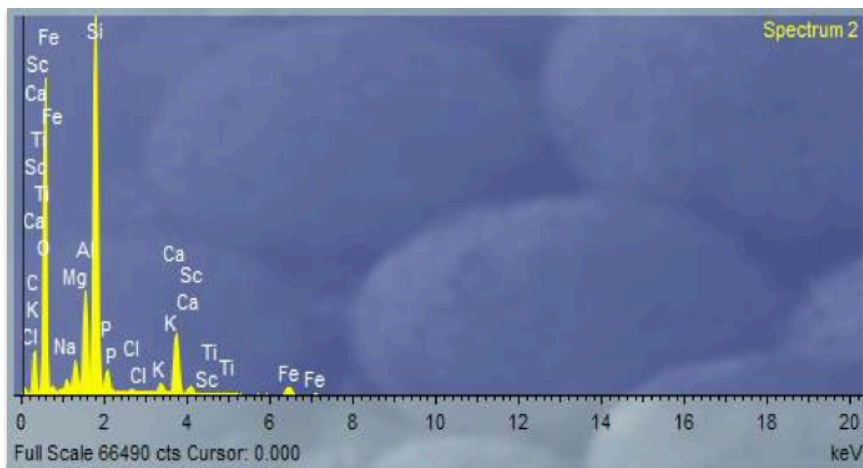


Fig 11. EDX spektra. Taget över området "spectrum 2" i fig 8.

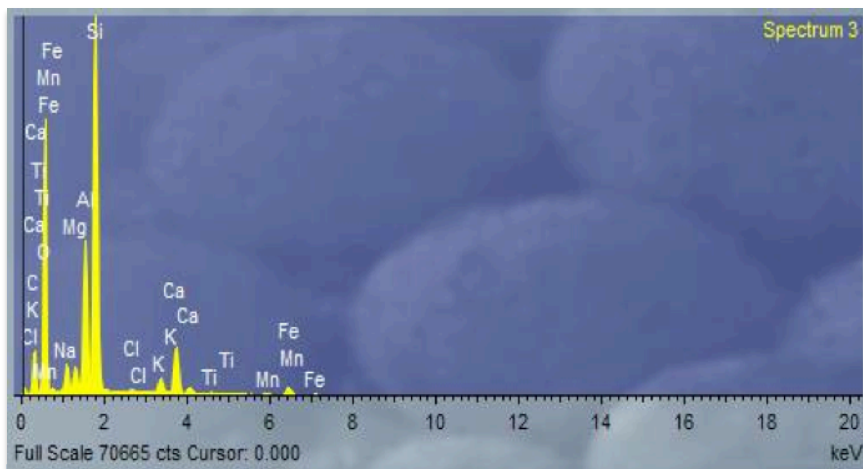


Fig 12. EDX spektra. Taget över området "spectrum 3" i fig 8.

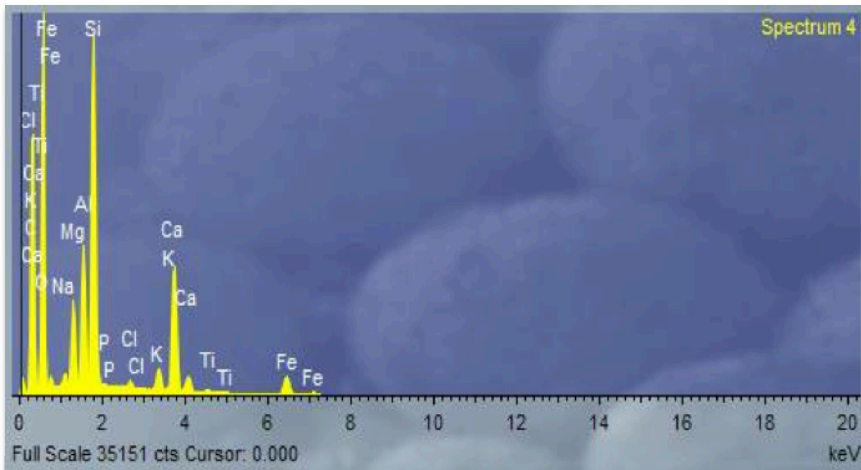


Fig 13. EDX spektra. Taget över området "spectrum 4" i fig 8.

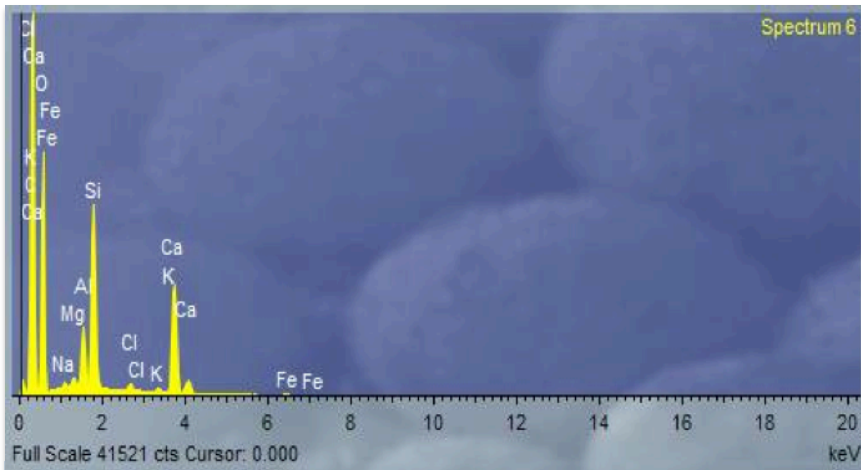


Fig 14. EDX spektra. Taget över området "spectrum 6" i fig 8.

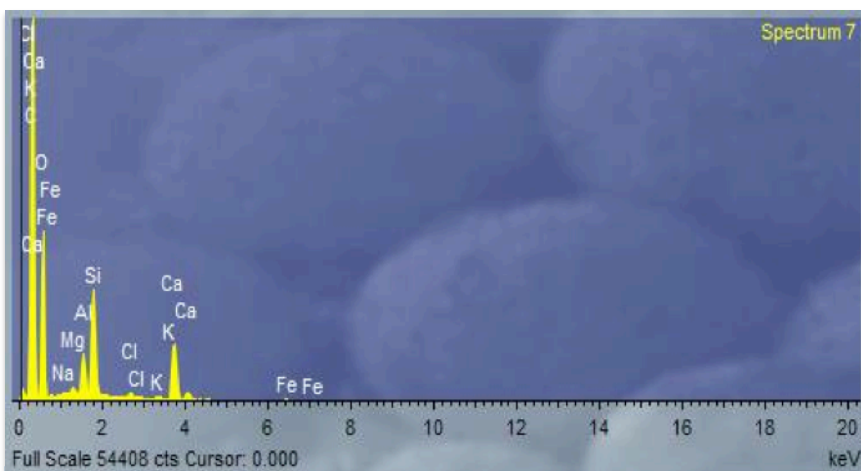


Fig 15. EDX spektra. Taget över området "spectrum 7" i fig 8.

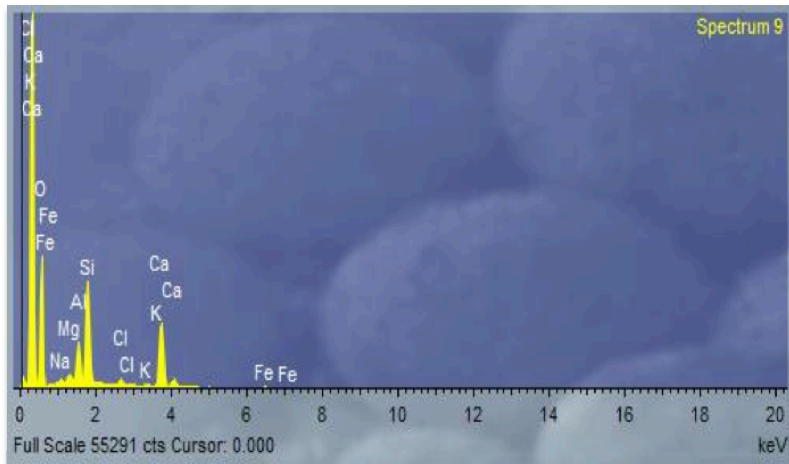


Fig 16. EDX spektra. Taget över området "spectrum 9" i fig 8.

AGGREGAT SOM INTE ÄR TEGEL analysen är utförd på prov 1.

SEM bilderna (fig. 17 och fig. 19) visar två aggregat som innehåller höga halter av kalcium, vilket syns om EDX spektra (fig. 18 och fig. 20).



Fig 17. SEM bild.
Visar ett aggregat som inte är tegel.

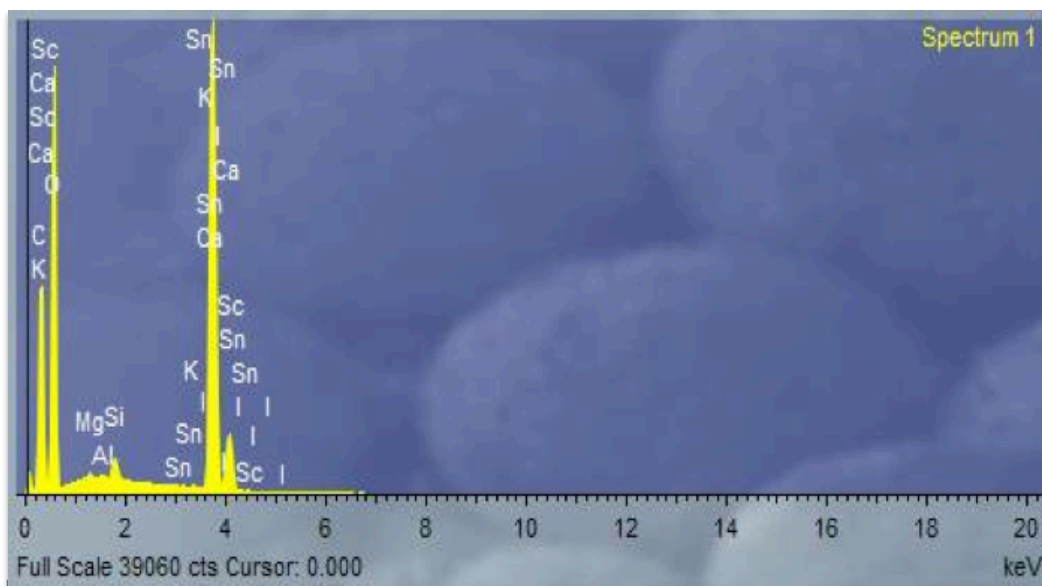


Fig 18. EDX spektra. Taget över området "spectrum 1" i fig 17.

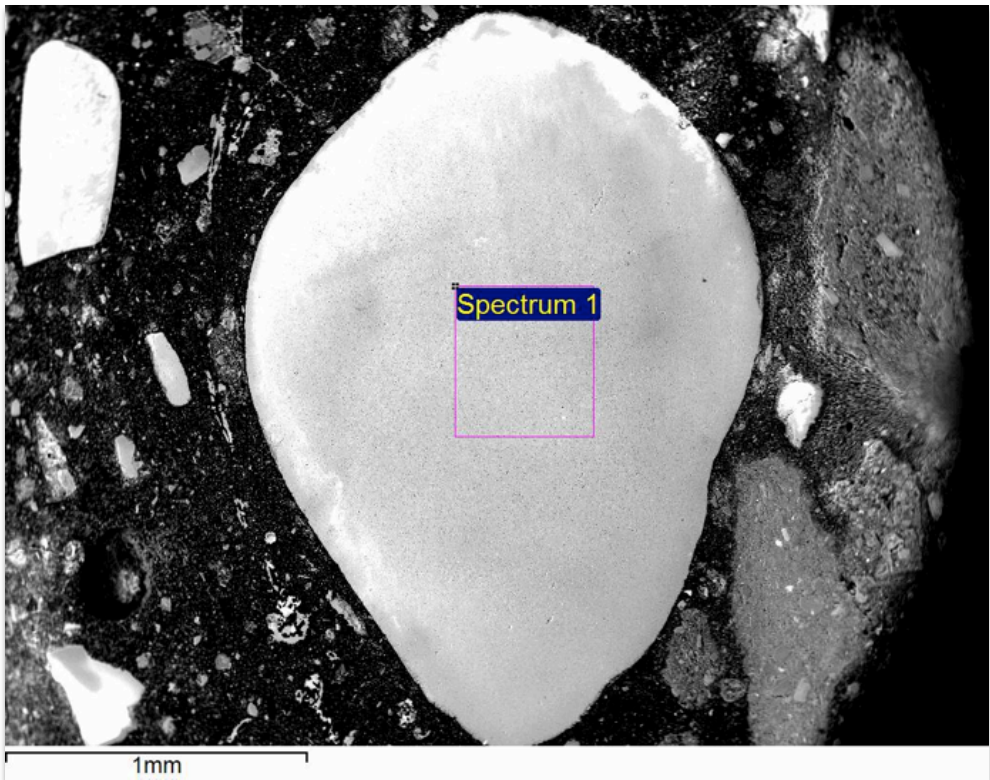


Fig 19. SEM bild.

Visar ett aggregat som inte är tegel.

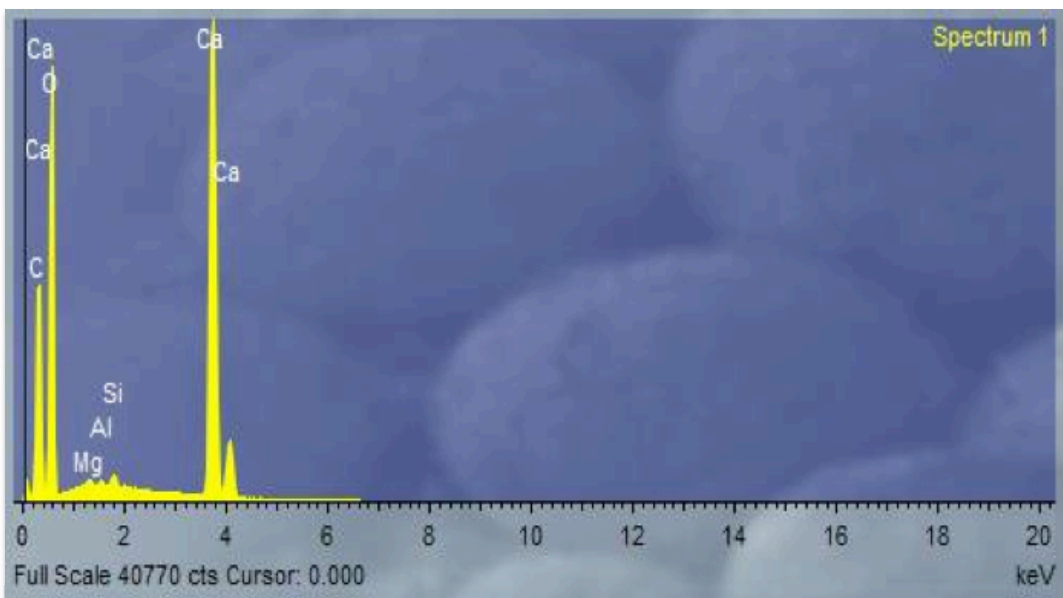


Fig 20. EDX spektra. Taget över området "spectrum 1" i fig 19.

TEGEL AGGREGAT I PUTSEN analysen är utförd på prov 1.

Samtliga tre tegelaggregat på SEM bilden (fig. 21 och fig. 23) innehåller höga halter av silikater, Al och Si (fig. 22, 24, 25).

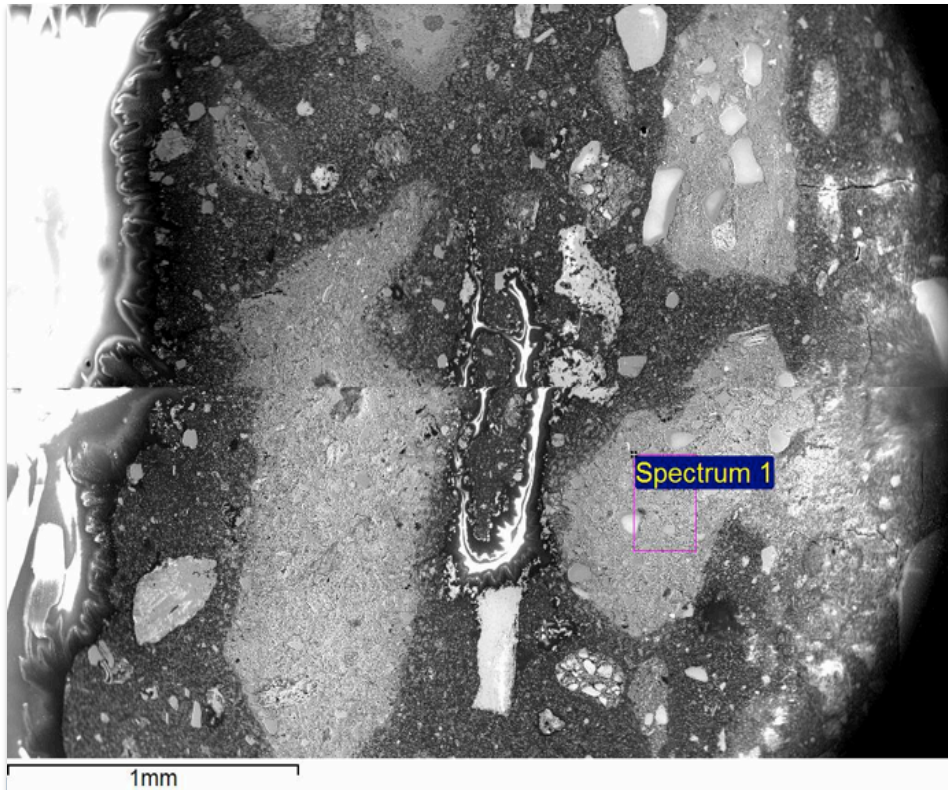


Fig 21. SEM bild.
Visar tre tegel aggregat.

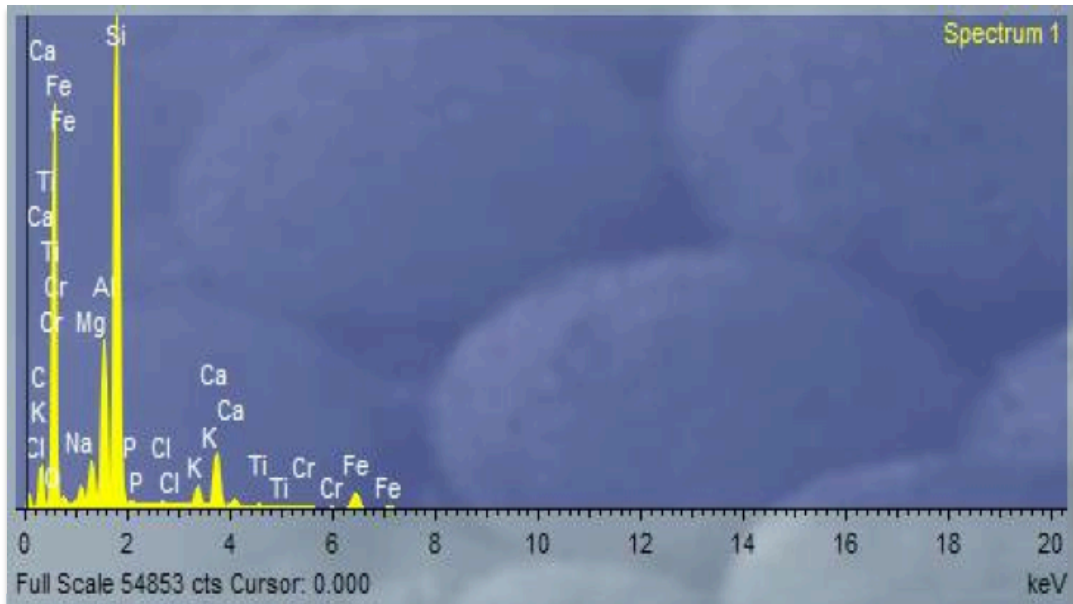


Fig 22. EDX spektra. Taget övet området "spectrum 1" i fig 21.

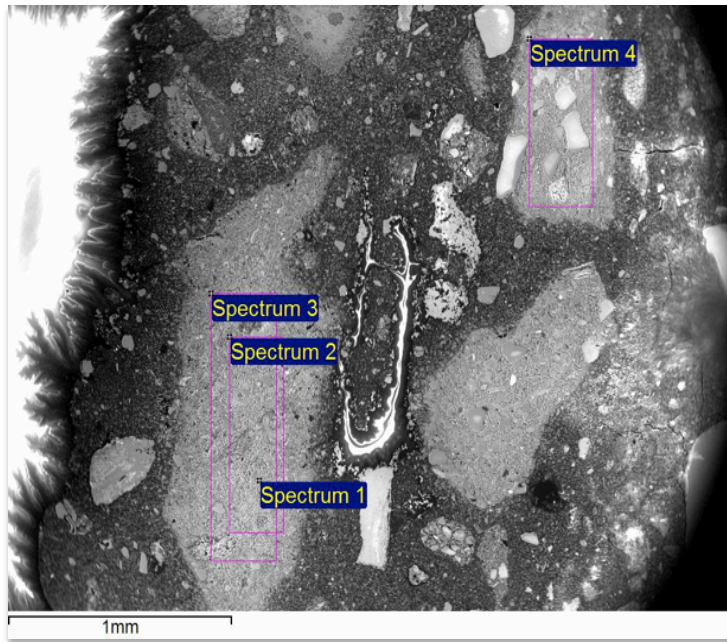


Fig 23. SEM bild.
Visar samma tre tegelaggregat som i fig 21.

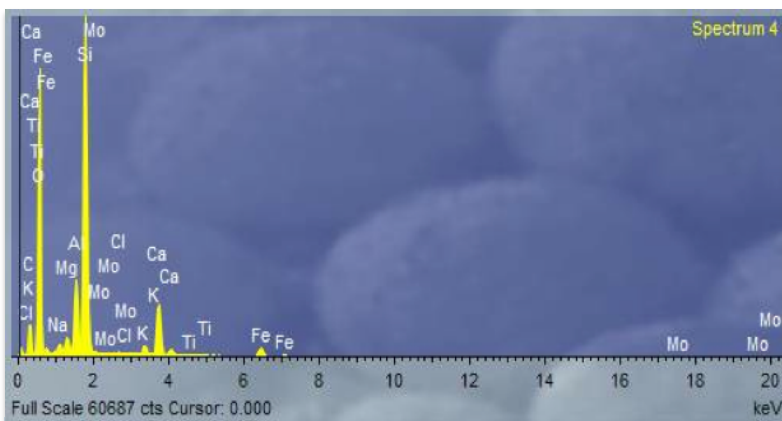


Fig 24. EDX spektra taget över området "spectrum 4" i fig 23.

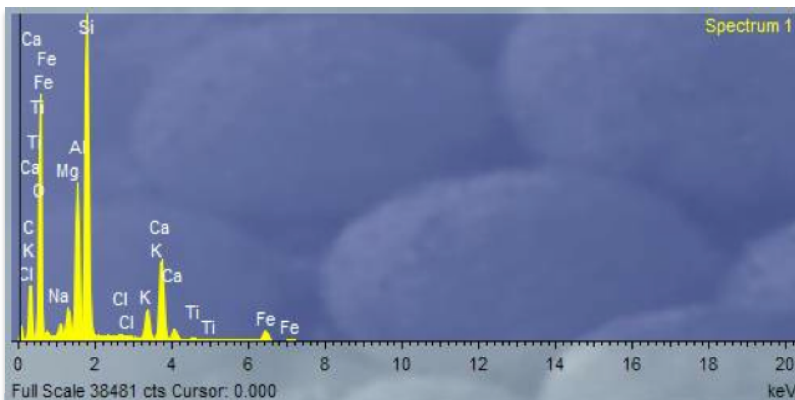


Fig 25. EDX spektra taget över området "spectrum 1" i fig 23.

NÄRVARO AV FIBER analysen är utförd på prov 1.

Den optiska mikroskop bilden (fig. 26) visar att i den inre putsen finns det fiber.



Fig 26. Optiskmikroskop bild. Förstoring 10x.
Visar en hålighet i putsen där det finns fiber.

OLIKA STORLEKAR PÅ TEGEL AGGREGATEN analysen utfördes på prov 1.

Visar två olika storlekar på tegelaggregaten i den inre putsen, dels krossade tegel bitar och pulveriserat tegel som syns som röda prickar på den optiska mikroskop bilden (fig. 27).

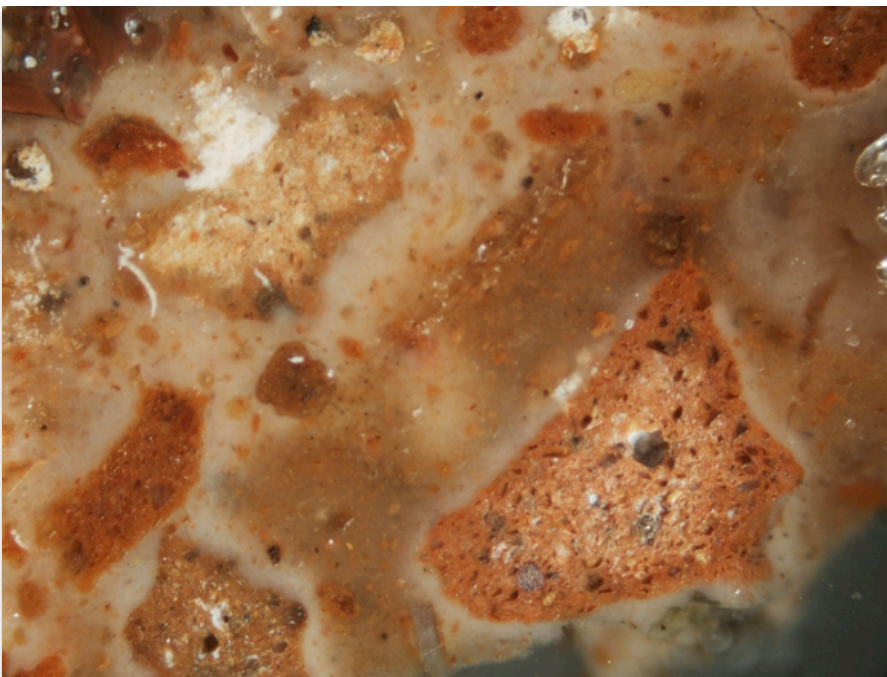


Fig 27
Optiskmikroskop bild. Förstoring 5x.
Visar tegel aggregat och mindre, röd/orange, pulveriserat tegel i kalkmatrisen.

2.4 RESULTAT AV DEN GRAVIMETRISKA ANALYSEN

En provbit togs från det inre puts slagret och torkades i 100 grader tills dess att vikten slutade minska. Slutgiltiga torr vikten var 2,110 gram.

Provet löstes upp i 10 % Saltsyra (HCl) under 24 timmar och sköljdes därefter 5 gånger med avjoniserat vatten.

Det upplösta och sköljda provet torkades i 100 grader. Slutgiltiga torr vikten var 0,994 gram.

Provet bestod av 47 viktsprocent tegel

Resultatet visar därför på ett nära 1-1 vikt förhållande mellan tegel och kalk.

De upplösta proverna visade även att teglet i putsen fanns i pulveriserad och krossad form. Man kan även se ett visst inslag av fibrer.

3. DISKUSSION

3.1 MÖJLIGA FELKÄLLOR I UNDERSÖKNINGSMETODER

Epoxin verkar ha trängt in i stora delar av proverna, vilket är bra ur en slipningssynpunkt men sämre för den okulära undersökningen. Epoxin ligger som ett tunt täcke över proverna och gör att de ser grumliga ut. Detta är extra tydligt på prov 1. Ytan som saknar epoxi är betydligt enklare att se kalkmatrisen och partiklar i matrisen.

Resultatet av det kemiska experimentet kan inte ses som representativt för putsen, för detta skulle det krävas ett större antal prover. Dessutom är äldre puts ett heterogent material där förhållandet mellan kalk och aggregat kan skilja sig åt i den putsade ytan.

Ytterligare en möjlig felkälla är eventuella aggregat som är lösliga i HCl. Dock tror jag inte att detta är något större problem då en övervägande del av aggregaten består av tegel och efter utförandet av experimentet var icke-tegelaggregat fortfarande synliga.

Ett viktigt påpekande är att viktförhållandet mellan tegel och kalk är aningens missvisande, vilket beror på att sandaggregaten inte separerades från teglet. Detta till trots bör inte sandens vikt påverka förhållandet mellan tegel och kalk nämnvärt p.g.a. den ringa mängden sand i putsen enligt mikroskopisk analys.

Min ännu begränsade erfarenhet av SEM-EDX som analysmetod gör att resultaten från SEM-EDX skall tolkas med viss försiktighet. Denna brist på erfarenhet gjorde även att enbart spektra från EDX datan sparades. Relationen mellan Si, Al och Ca räknades genom att mäta de tre olika topparna för ämnena i EDX bilderna. Bilderna är i låg upplösning och uträkningsmetoden är inte exakt.

En möjlig felkälla när det gäller aluminiumbestämningen är att det använda slipmedlet för proverna innehåller aluminium.

Bilderna från SEM är aningens oskarpa.

3.2 VILKA KOMPONENTER INGÅR I PUTSEN?

Den gravimetriska analysen och den optiska analysen (fig. 27) visade att teglet i putsen består av två storlekar, krossat och pulveriserat. Detta ger indikationer på att hantverkarna använt sig av minst två olika tegelkomponenter i putsen, dock skulle det pulveriserade teglet kunna vara ett resultat från blandningen av putsbruket. Liknande viktförhållanden mellan kalk och tegel, 1:1, finns rapporterade inom litteraturen (Böke et al. 2006, s. 1116. Stefanidou et al. 2012a s. 574).

Vid sidan av teglet finns det en mindre mängd andra aggregat (fig 17-20), detta skulle kunna vara flodsand hämtad från den flod som rinner längst med Gjirokaster. Den höga halten av kalcium i EDX spektrat (fig.18 och 20) tagna på aggregaten tyder på att de härstammar från kalksten, vilket är vad bergen runt Gjirokaster består av. I det Ottomanska riket var just flodsand vanligt förekommande i denna typ av konstruktioner (Arioglu & Acun 2006, s. 1224).

Både den okulära (fig. 26) och analysen efter upplösning i syra visade att det finns fiber i putsen.

Det yttre putslagret verkar vara av cement (fig. 1-3), det är homogent och med tydliga sprickor, vilket inte återfinns i den inre putsen. Det yttre puts lagret innehåller inget tegel. Sprickorna visar på ett statiskt, hårt, material, vilket tillsammans med homogeniteten indikerar på cement. Ifall det är ett senare tillägg eller inte går inte att avgöra.

Trots att *cocciopesto* är ett historiskt material, som inte längre används i Gjirokaster, behöver inte detta betyda att de är från två olika appliceringstillfällen. Putsen kan mycket väl vara från en tid då det historiska och moderna samspelade.

Enligt min handledare på plats, Elena Nastro Mamani, har denna typ av puts traditionellt bestått av två lager, där det yttre utgörs av en blandning med olivolja och ägg. I Gjirokaster är det vanligt att det yttersta lagret av de historiska putsen även bestod av aska, som hjälper till att täppa till torksprickor. Närvaro av eventuell aska (fig. 4-6) och att det ligger i kontakt med den inre putsen, skulle kunna vara indikationer på ett putslager mellan cementen och kalkputsen.

3.3 VAD FÖR EGENSKAPER SKÄNKER KOMPONENTERNA PUTSEN?

Den största påverkan på putsens egenskaper, och vad som gör att denna typ av puts skiljer från annan kalkputs, är att aggregaten till största del består av tegel. Som står beskrivet i kapitlet *1.8 Kemin Bakom Pozzolana* bör detta betyda att putsen har förhöjda hydrauliska egenskaper, vilket lämpar sig väl för användning i en vattencistern, förutsättningen är att teglet innehåller silikater, EDX spektrumet från fig. 10-12, fig. 22 och fig. 24-25, visar att så är fallet.

Teglets porositet gör det teoretiskt möjligt för kalken att penetrera teglet och göra bruket starkare. Grafen, fig. 9, ger indikationer på att kalken har vandrat in i teglet och att silikater har vandrat ut från teglet in i kalken, detta skulle i så fall överensstämma med slutsatser som Nezerka et al. 2015 kommit fram till vid analyser på liknande material. Detta innebär även att teglet troligtvis har haft en pozzolansk effekt på putsen.

Möjligtvis skulle även den mörka kanten på tegelaggregatet i, fig. 7, visa på en interaktion mellan kalken och teglet. Men det skulle också kunna förklaras med att epoxin inte trängt in i hela teglet och att den mörka kanten beror på epoxin.

Nezerka et al. 2015 visar en liknande ring runt teglet som förklaras med interaktion mellan kalk och tegel, skillnaden är att deras kant är ljusare i förhållande till teglet och min är mörkare. Nedan ses deras bild jämte min.

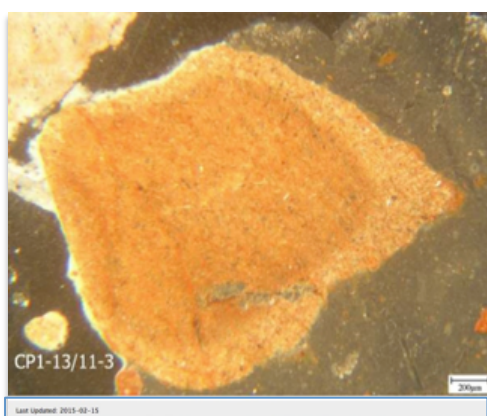


Fig 28. Nezerka et al. 2015



Fig 7.

Mina resultat visade att det finns fiber i putsen, vilket är vanligt förekommande i putsbruk och fungerar likt armering samt hjälper till att förhindra krympsprickor. I Gjirokaster förekommer oftast kraftiga växtfiber i det innersta lagret av kalkputs på putsade husfasader och tunna animaliska fiber i det avslutande putslagret.

3.4 BEHOVET AV KOMPLETTERANDE UNDERSÖKNINGAR

Analyserna som ligger till grund för denna förstudie har några uppenbara brister, som behöver korrigeras innan ytterligare steg i en undersökning av Gjirokasters cocciopesto kan vidtas. Ytterligare analyser behövs göras med EDX för att få reda på i vilken grad teglet har reagerat med kalken. Silikaterna i kalken kan även komma från det pulveriserade teglet och en mer noggrann gradient, likt grafen i

fig 9, som går från kanten mellan tegel/kalk ut i kalkmatrisen skulle ge mer klarhet i om silikater vandrar ut från teglet i kalken.

Storleken på aggregaten behöver säkerställas. Detta kan enkelt göras genom att lösa upp kalken med Saltsyra och sila aggregaten genom silar med olika storlekar på maskorna. En metod för att enkelt separera sand och tegel behöver också tas fram, så att viktförhållandet mellan sand, tegelpulver, krossat tegel och kalk reds ut.

Den föreliggande analysen har enbart nuddat vid möjligheten av ett tredje putslager, ett som ligger mellan den förmodade senare tillsatta cementen och kalkputsen. Detta tredje lager skall enligt Elena Nastro Mamani innehålla ägg och olivolja. En stor och varierande mängd organiska tillsatser har historiskt används i kalkbruk, som oljor, blod, ägg, vin m.m. för att förbättra putsens egenskaper (Rampazzi et al. 2015, s. 2). Därav är det inte osannolikt att det även kan finnas organiska tillsatser i cocchiopesto från Gjirokaster.

Ett första steg i att analysera detta lager är således att ta reda på om det existerar organiska tillsatser i cocchiopestons ursprungliga ytskikt. I sin artikel *The identification of organic additives in traditional lime mortar* från 2014 har Fang & Zhang & Zhang & Zheng utvecklat en rad enkla spottester för identifikation av organiska tillsatser i kalkbruk, dessa spottester är en bra utgångspunkt för att analysera cocchiopestons eventuella organiska tillsatser. Den största fördelen med spottesterna är att de möjliggör tester på plats i Gjirokaster, på så sätt kan en stor mängd cocchiopesto puts provas och de som visar störst utslag undersökas vidare med mer avancerade analysmetoder.

Impregneringsmetoden skulle behöva utvecklas för att göra proverna mer synliga under mikroskop.

Kapitlet *Historiska Kontexten* visar på behovet av en teknikhistorisk undersökning kopplad till samhällsstrukturer rörande Gjirokaster, en undersökning av skråväsendet i staden är en utmärkt startpunkt. Detta skulle förhoppningsvis möjliggöra en bred berättelse om cocchiopesto kopplad till samhällskroppen under det Ottomanska riket i Gjirokaster.

3.5 NÄSTA STEG I UNDERSÖKNING AV COCCIOPESTO

Resultaten som kan fås med valda metoder för denna undersökning ger begränsade svar på frågor rörande den hantverksmässiga sidan av cocchiopesto, vilket är högst relevant för att i framtiden både kunna utföra reparationer och reproduktion av putsen. Frågeställningar rörande, kalkbränning, tillverkning av tegel, torktid, underlag, vattenmängd, tillblandning m.m. skulle behöva behandlas i framtida undersökningar.

För att möjliggöra utforskandet av applicering av cocchiopesto från Gjirokaster är det första steget att veta vilka komponenter som finns i putsen, och viktrelationen mellan dessa, vilket det arbete som redovisas i denna uppsats har gett goda indikationer om. Två viktiga frågor återstår dock att besvara innan experiment kring applicering kan vidtas.

- Vilken kalksten har använts vid framställning av kalken?
- Vad för typ av lera består teglet av?

Den första frågan torde inte vara svår att svara på. I Gjirokaster är det främsta byggmaterialet två olika typer av kalksten och det är ett rimligt antagande att kalkframställningen har skett genom förädling av någon av dessa två kalkstenar. För att ta reda på vilken kalksten som använts till cocchiopeston behöver osläckta kalkklumpar hittas i putsen, dessa kalkklumpar uppstår antingen genom att blandningen av bruket är otillräcklig eller att släckningen av kalken är ofullständig (Bakolas et al. 1995, s. 815). Klumparna bör ha en liknande kemisk sammansättning som den ursprungliga kalkstenen, genom att jämföra kalkklumparnas kemiska sammansättning med de två olika kalkstenarna bör det gå att svara på vilken av de två kalkstenarna som använts (Barba et al. 2009, ss. 527-528).

Frågan om vilket tegel som använts i putsen är mer komplicerad, tegel är ett material som inte är vanligt förekommande i Gjirokaster, och därmed är det inte lika lätt att hitta den ursprungliga leran som att hitta kalkens ursprung. En början är att klassificera vilken lera som använts till teglet genom att ta reda på de ingående mineralerna. Detta låter sig enklast göras med en XRD analys. En XRD analys kan även hjälpa till att bedöma temperaturen under bränningen av teglet då vissa mineraler bildas vid bestämda temperaturer (Özkaya & Böke 2009, ss. 996-997).

När beståndsdelarna i leran är kartlagda går det att se ifall leran är lokal eller importerad, vilket är intressant ur en historisk synvinkel då det kan berätta något om vilken typ av hantverksmässig kompetens som existerade i staden, alternativt ge en ledtråd om handelsförbindelser i regionen.

Elif Ugurlu har i sin mastersuppsats *Characterization of Horasan Plasters from some Ottoman Baths in Izmir* från 2005 jämfört teglet i cocchiopeston från tre olika Ottomanska bad med teglet som använts i konstruktionen. Då teglet i cocchiopeston har en radikalt annan mineraluppsättning än konstruktionsteglet drar Ugurlu slutsatsen att teglet i cocchiopeston har producerats särskilt för cocchiopeston. Samma resultat har rapporterats av Böke et al. 2006. Varken Ugurlu eller Böke ställer frågan om det verkligen är tegel i putsen, en möjlig förklaring till skillnaden mellan konstruktionsteglet och cocchiopeston skulle kunna vara att cocchiopeston består av krossad keramik.

En liknande analys, som även behandlar frågan ang. keramik eller tegel, skulle vara intressant att göra på Gjirokasters Ottomanska bad och kunna ge ytterligare bidrag till förståelsen av tillverkningen av cocchiopesto i staden.

4. AVSLUTANDE SAMMANFATTNING

Putsen från huset i Gjirokaster undersöktes med optiskmikroskopi, SEM-EDX och gravimetrisk analys efter upplösning i syra. Resultaten visar att putsen till största del består av kalk och tegel, därmed är det en cocchiopesto puts.

Viktförhållandet mellan tegel och kalk i den undersökta putsen är 1:1. Det är dock inte säkerställt om detta gäller allmänt i putsen i Gjirokaster och mer prover behövs göras.

Både den mikroskopiska och kemiska analysen visade att putsen även innehåller fiber, vilket är vanligt förekommande i historiskputs från Gjirokaster.

EDX visade indikationer på att silikater vandrat ut i kalken från teglet, vilket gör det sannolikt att teglet har haft en pozzolansk effekt på putsen. Att putsen är tagen från en vattencistern talar också för att putsen skulle ha hydrauliska egenskaper.

För att möjliggöra framtida lagningar och användning av cocchiopesto behöver undersökningar göras som riktar in sig mot applicering och hantverk. Ifall dylika analyser skall kunna göras på cocchiopeston från Gjirokaster behövs det säkerställas vilken kalk som använts och vilka lermineraler teglet består av, samt en mer omfattande undersökning av storleken och viktförhållandet på de ingående aggregaten.

KÄLLFÖRTECKNING

- ARIOGLU, N. & ACUN, S. 2006. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environment*, 41, 1223-1230.
- ARIZZI, A. & CULTRONE, G. 2012. The difference in behaviour between calcitic and dolomitic lime mortars set under dry conditions: The relationship between textural and physical–mechanical properties. *Cement and Concrete Research*, 42, 818-826.
- BAKOLAS, A., BISCONTIN, G., MOROPOULOU, A. & ZENDRI, E. 1995. Characterization of the lumps in the mortars of historic masonry. *Thermochimica Acta*, 269–270, 809-816.
- BARBA, L., BLANCAS, J., MANZANILLA, L. R., ORTIZ, A., BARCA, D., CRISCI, G. M., MIRIELLO, D. & PECCI, A. 2009. PROVENANCE OF THE LIMESTONE USED IN TEOTIHUACAN (MEXICO): A METHODOLOGICAL APPROACH. *Archaeometry*, 51, 525-545.
- BARONIO, G. & BINDA, L. 1997. Study of the pozzolanicity of some bricks and clays. *Construction and Building Materials*, 11, 41-46.
- BARONIO, G., BINDA, L. & LOMBARDINI, N. 1997. The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. *Construction and Building Materials*, 11, 33-40.
- BÖKE, H., AKKURT, S., İPEKOĞLU, B. & UĞURLU, E. 2006. Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36, 1115-1122.
- CACHIM, P. B. 2009. Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23, 1292-1297.
- DELATTE, N. J. 2001. Lessons from Roman Cement and Concrete. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 127, 109-115.
- ELERT, K., RODRIGUEZ-NAVARRO, C., PARDO, E. S., HANSEN, E. & CAZALLA, O. 2002. Lime Mortars for the Conservation of Historic Buildings. *Studies in Conservation*, 47, 62-75.
- ELSEN, J. 2006. Microscopy of historic mortars—a review. *Cement and Concrete Research*, 36, 1416-1424.
- FANG, S. Q., ZHANG, H., ZHANG, B. J. & ZHENG, Y. 2014. The identification of organic additives in traditional lime mortar. *Journal of Cultural Heritage*, 15, 144-150.
- HUPCHICK, D. 2002. *The Balkans, From Constantinople to Communism*, United States of America, PALGRAVE.
- INALICIK, H. 1973. *The Ottoman Empire, The Classical Age 1300-1600*, London, Weidenfeld and Nicolson.
- INGO, G. M., FRAGALÀ, I., BULTRINI, G., DE CARO, T., RICCUCCI, C. & CHIOZZINI, G. 2004. Thermal and microchemical investigation of Phoenician–Punic mortars used for lining cisterns at Tharros (western Sardinia, Italy). *Thermochimica Acta*, 418, 53-60.
- JOHANSSON, S. 2004. *Hydrauliskt kalkbruk: kunskaps- och forskningsläge : tillgången på kalksten med hydrauliska komponenter, naturligt cement och hydrauliska tillsatsmaterial för byggande i Sverige från medeltid till nutid*. Dissertation/Thesis.
- KARATASIOS, I., ALEXIOU, K., MÜLLER, N. S., DAY, P. M. & KILIKOĞLU, V. 2014. *The second life of ceramics: a new home in a lime environment*, Doha, Qatar: Bloomsbury Qatar Foundation.

- KIEL, M. 1990. *Ottoman Architecture in Albania 1385-1912*, Istanbul, The Research Centre for Islamic History Art and Culture.
- KONG, L. & DU, Y. 2015. Interfacial interaction of aggregate-cement paste in concrete. *Journal of Wuban University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 30, 117-121.
- LEWIS, M. J. T. 2008. ANTIQUE ENGINEERING IN THE BYZANTINE WORLD. *Late Antique Archaeology*, 4, 367-378.
- LIPPIELLO, M. 2010. Pozzolanic Cementum of the Ancient Constructions in "Campi Flegrei" Area. *International Journal of Architectural Heritage*, 5, 84-100.
- LIU, F., LIU, J., MA, B., HUANG, J. & LI, H. 2015. Basic properties of concrete incorporating recycled ceramic aggregate and ultra-fine sand. *Journal of Wuban University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 30, 352-360.
- MAHESWARAN, S., BHUVANESHWARI, B., PALANI, G., NAGESH, R. & KALAISELVAM, S. 2013. An Overview on the Influence of Nano Silica in Concrete and a Research Initiative. *Research Journal of Recent Sciences* 2277, 2502.
- MAMANI, E. N. 2014. RE: Deputy head office. *Cultur heritage without borders Albania*.
- MASSAZZA, F. 2003. 10 - Pozzolana and Pozzolanic Cements. In: HEWLETT, P. C. (ed.) *Lea's Chemistry of Cement and Concrete (Fourth Edition)*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- MAY, E. & JONES, M. 2006. *Conservation science: heritage materials*, Cambridge, RSC Publishing.
- MEDINA, C., ZHU, W., HOWIND, T., DE ROJAS, M. I. S. & FRÍAS, M. 2014. Influence of interfacial transition zone on engineering properties of the concrete manufactured with recycled ceramic aggregate. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21, 83-93.
- MIDDENDORF, B., HUGHES, J. J., CALLEBAUT, K., BARONIO, G. & PAPAYIANNI, I. 2005a. Investigative methods for the characterisation of historic mortars—Part 2: Chemical characterisation. *Materials and Structures*, 38, 771-780.
- MIDDENDORF, B., HUGHES, J. J., CALLEBAUT, K., BARONIO, G. & PAPAYIANNI, I. 2005b. Investigative methods for the characterisation of historic mortars. Part 1, Mineralogical characterisation. *Materials and structures. Matériaux et constructions*, 38, 761-769.
- MIRANDA, J., CARVALHO, A. P. & PIRES, J. 2012. ASSESSMENT OF THE BINDER IN HISTORICAL MORTARS BY VARIOUS TECHNIQUES. *Archaeometry*, 54, 267-277.
- MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. & ANAGNOSTOPOULOU, S. 2005. Composite materials in ancient structures. *Cement and Concrete Composites*, 27, 295-300.
- MOROPOULOU, A., CAKMAK, A. S., BISCONTIN, G., BAKOLAS, A. & ZENDRI, E. 2002. Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brick/lime mortars of Justinian's Hagia Sophia. *Construction and Building Materials*, 16, 543-552.
- NEVILLE, A. M. 1995. *Properties of Concrete*, Edinburgh, Pearson Education Limited.
- NEŽERKA, V., NĚMEČEK, J., SLÍŽKOVÁ, Z. & TESÁREK, P. 2015. Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation. *Cement and Concrete Composites*, 55, 122-128.
- OLESON, J. P., BRANDON, C., CRAMER, S. M., CUCITORE, R., GOTTI, E. & HOHLFELDER, R. L. 2004. The ROMACONS Project: a Contribution to the Historical and Engineering Analysis of Hydraulic Concrete in Roman Maritime Structures. *International Journal of Nautical Archaeology*, 33, 199-229.
- OUSTERHOUT, R. 1999. *Master Builders of Byzantium*, Singapore, Princeton University Press.
- OUSTERHOUT, R. 2004. The East, the West, and the Appropriation of the Past in Early Ottoman Architecture. *Gesta*, 43, 165-176.
- PAMUK, Ş. 2004. Institutional Change and the Longevity of the Ottoman Empire, 1500-1800. *The Journal of Interdisciplinary History*, 35, 225-247.
- RAMPAZZI, L., COLOMBINI, M. P., CONTI, C., CORTI, C., LLUVERAS-TENORIO, A., SANSONETTI, A. & ZANABONI, M. 2015. Technology of Medieval Mortars: An Investigation into the Use of Organic Additives. *Archaeometry*, n/a-n/a.

- RANGARAJU, P. R., OLEK, J. & DIAMOND, S. 2010. An investigation into the influence of inter-aggregate spacing and the extent of the ITZ on properties of Portland cement concretes. *Cement and Concrete Research*, 40, 1601-1608.
- SABIR, B. B., WILD, S. & BAI, J. 2001. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, 23, 441-454.
- SCRIVENER, K., CRUMBIE, A. & LAUGESEN, P. 2004. The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete. *Interface Science*, 12, 411-421.
- STEFANIDOU, M., PACHTA, V., KONOPISSI, S., KARKADELIDOU, F. & PAPAYIANNI, I. 2014a. Analysis and characterization of hydraulic mortars from ancient cisterns and baths in Greece. *Materials and Structures*, 47, 571-580.
- STEFANIDOU, M., PAPAYIANNI, I. & PACHTA, V. 2014b. Analysis and characterization of Roman and Byzantine fired bricks from Greece. *Materials and Structures*, 1-10.
- STIERLIN, H. 1998. *Turkey From the Selcuks to the Ottomans*, Taschen.
- STUART, B. 2007a. *Analytical Techniques in Materials Conservation*, England, John Wiley & Sons Ltd.
- TOLEDO FILHO, R. D., GONÇALVES, J. P., AMERICANO, B. B. & FAIRBAIRN, E. M. R. 2007. Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. *Cement and Concrete Research*, 37, 1357-1365.
- UGURLU, E. 2005. *Characterization of horasan plasters from some ottoman baths in izmir*. Master of science in Architectural Restoration, Izmir Institute of Technology.
- ÖZKAYA, Ö. A. & BÖKE, H. 2009. Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis temple in the city of Pergamon. *Materials Characterization*, 60, 995-1000.