

EESTI KUNSTIAKADEEMIA
TALLINNA RESTAUREERIMISKOOL



**KIVI KONSERVEERIMISE METOODIKA UURIMINE
JA SELLE RAKENDAMINE EESTIS**

MAGISTRAND: Merike Limberg

JUHENDAJA: Thorborg von Konow, Ph. D

KONSULTANT: Liidi a Bitjukova, Ph.D

Tallinn 2002

EESTI KUNSTIAKADEEMIA
TALLINNA RESTAUREERIMISKOOL

**KIVI KONSERVEERIMISE METOODIKA UURIMINE
JA SELLE RAKENDAMINE EESTIS**

MAGISTRAND: Merike Limberg

JUHENDAJA: Thorborg von Konow, Ph. D

KONSULTANT: Liidia Bitjukova, Ph. D

Tallinn 2002

SISUKORD	1
I SISSEJUHATUS	4
1. Taust.	5
2. Paekivi lühiiseloostus ja tema ajalooline kasutamine Tallinna vanalinnas.	7
3. Magistritöö eesmärk.	9
4. Magistritöö ülesanded.	9
5. Materjalid ja meetodid.	10
II RESTAUREERIMISEFILOSOOFIA MÕNINGAID KÜSIMUSI	12
1. Üldine kontekst.	12
2. Restaureerimine lähtuvalt materjalist.	15
III PAEKIVI JA TEDA MÕJUTAVAD TEGURID	16
1. Paekivi üldiseloostus.	16
2. Keskkonna toime kivile.	21
3. Eesti ja Tallinna keskkonna seisundi hinnang.	26
IV KIVIPROOVIDE ANALÜÜSID	27
1. Kiviproovide loetelu.	27
2. Analüüside kiviproovide tulemused ja diskussioon.	33
3. Kokkuvõte	41
V TEOSTATUD KONSERVEERIMISTÖÖD	43
1. Sissejuhatus.	43
2. Konserveerimistööde aruanded.	44
2.1. Objekt: Viis aknapalede raidplaati.	45
2.2. Objekt: polükroomsed aknapaled ja sillus.	48
2.3. Objekt: raidplaat Fides.	50
2.4. Objekt: detail etikukivist.	52
2.5. Objekt: polükroomsed aknapaled ja sillus.	53
2.6. Objekt: Hunniuse perekonnale kuuluv marmor-rist.	55
2.7. Objekt: etikukividest ümberkujundatud 5 hauakivi ja hauaplaat.	57
2.8. Objekt: Dominiiklaste kloostri Püha Katariina kiriku portaalid.	62
3. Konserveerimistööde kokkuvõtted	70
VI SUMMARY	76

Tänu	83
VII BIBLIOGRAAFIA	84
LISAD. Tabelid	88
Tabelid 3. Mõningaid andmeid saastegaaside kohta Eestis ja Tallinnas.	88
Tabel 4. Mõningaid andmeid õhusaaste kohta Rootsis 1987 a.	88
Tabel 5. Analüüsitavate proovide asukoha kirjeldused.	89
Tabel 6. Teostatud analüüside proovidele.	91
Tabel 7. Kivi- ja musta kihi proovide keemiliste analüüside tulemused.	92
Tabel 8. Makroelementide statistiline jaotus kivi- ja musta kihi proovides.	93
Tabel 9. Keemilise kompositsiooni jaotus erinevatel objektidel.	94
Tabel 10. Kiviproovi ja musta kihi makroelementide korrelatsioonimaatriks.	95
Tabel 11. Kivi- ja musta kihi proovide mineraloogilise analüüsitulemused.	96
Tabel 12. Kiviproovi ja mustakihi mineraloogiline koostis ja KMA %.	97
Tabel 13. Kiviproovi ja musta kihi mineraalide statist. jaotus erinevatel objekt.	98
Tabel 14. Mineraalide statistiline jaotus kivi- ja mustakihi proovides.	99
Tabel 15. Kivi- ja musta kihi proovides sisalduva mikroelem. analüüs.	100
Tabel 16. Mikroelem. Statistiline jaotus kivi- ja musta kihi proovides.	101
Tabel 17. Mineraalide ja mikroelem. korrelats.maatriks kivi- ja musta kihi proov	102
Tabel 18. Mikro- ja makroelem. korrelats.maatriks kivi- ja musta kihi proov.	103
Tabel 19. Lasnamäe lademe muutumatute kivimite keskm. keemil.koostis.	104
Lubjakivikihi geoloogiline kirjeldus ehitisel, kust proov on võetud.	105
3. Kivimproovide õhikute kirjeldus.	108
FOTOD. Foto 1, 2. Proov PR-1.1-K, M asukohaga Linnamüür.	110
Foto 1,2. Proov PR-1.1-K, M asukohaga Linnamüür.	110
Foto 3. Proov PR-2.1-K, M asukohaga Oleviste kirik.	111
Foto 4. Proov PR-2.2-K asukohaga Oleviste kirik.	111
Foto 5. Proov PR-3.1-K., M asukohaga Masina 22.	112
Foto 6. Proov PR-4.1-K asukohaga Püha Katariina kirik.	112
Foto 7. Proov PR-4.2-K, M asukohaga Püha Katariina kirik.	113
Foto 8. Proov PR-4.3- K,M asukohaga Püha Katariina kirik.	113
Foto 9. Proov PR-4.4-K, M asukohaga Püha Katariina kirik.	114

Foto 10. Proov PR- 4.5-R asukohaga Püha Katariina kirik.	114
Foto 11. Proov PR-5.2-K, M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	115
Foto 12. Proov PR-5.1-M — 5.7-M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	115
Foto 13. Proov PR-5.1- M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	116
Foto 14. Proov PR-5.3- K, M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	116
Foto 15. Proov PR-5.4-K, M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	117
Foto 16. Proov PR-5.4-C asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	117
Foto 17. Proov PR-5.6-K asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	118
Foto 18. Proov PR-5.7- K, M asukohaga Suure Rannavärava eesvall.	118
Foto 19. Proov PR-6.1- K asukohaga Komandandi aed.	119
Foto 20. Proov PR-7.1-K, M asukohaga Toomkirik.	119
Foto 21 – 23. Viis aknapalede raidplaati aadressil Vene 10.	120
Foto 24-27. Viis aknapalede raidplaati aadressil Vene 10.	121
Foto 28 –30. Polükroomsed aknapaled ja sillus aadressil Pikk 51.	122
Foto 31. Detail etikukivist aadressil Uus 29.	123
Foto 32. Raidplaat FIDES aadressil Vene 2/4.	123
Foto 33. Perekond Hunniusele kuuluv carrara marmor-rist.	123
Fotod 34-37. Hauakivid (5) ja hauaplaat asukohaga Püha Katariina kirik.	124
Fotod 38-41. Hauakivid (5) ja hauaplaat asukohaga Püha Katariina kirik.	125
Foto 42. Püha Katariina kiriku lääneseina peaportaal aadressil Vene 12/16.	126
Foto 43. Püha Katariina kiriku lääneseina kõrvalportaal aadressil Vene 12/16.	127
SKEEMID. Skeem 1. Analüüsitavate proovide asukohad skeemil.	128
Skeem 2. Kuue aknapale asetus asukohaga Vene 10 dornse.	129
Skeem 3. Raidplaat FIDES asukohaga Vene 2/4.	130
Skeem 4. Perekond Hunniusele kuuluv carrara marmor-risti skeem.	131
Musta kihi (pigmenti?). Riksantikvariemb, Stockholm, 11.07.2001	132

I SISSEJUHATUS

Üldtuntult on Tallinnas sajandite jooksul kasutatud ehituskivina enamuses kohalikku Lasnamäe lubjakivi. Kivi lagunemine tuleneb õhu saastatusest ja kivi looduslikust murenemisest. Euroopa paljudes riikides (Itaalias, Rootsis, Saksamaal jne.) on ajaloolise kivi lagunemise protsessi ja seda põhjustanud tegureid uurinud mitmed teaduslikud laborid ja instituudid aastakümneid. Teema on tihedalt seotud kohaliku kiviga ja keskkonna toimega kivile. Kui Euroopa arhitektuuris on väga palju kasutatud erinevat liiki kivi, alates liivakivist kuni marmorini, siis Eesti ehituskivi on põhiliselt lubjakivi ja dolokivi. Tallinnas kasutatava kivi eripäraks on erinevate omadustega Lasnamäe lubjakivi kihtide kasutamine ehitistel. Neid kivikihte on kokku loetud 58.

Selle magistritöö teema uurib esimeses osas Tallinna ehituskivi lagunemise protsessi. Tuleb rõhutada, et tegemist on esimese katsega käsitleda antud probleemi. Selleks on võetud seitsmelt erinevalt objektilt kokku 30 proovi peamiselt Tallinna vanalinnast. Analüüsitud on nii kivimit ennast kui ka musta kihti, mis on tekkinud saastegaaside reageerimisel kiviga. Teostatud on ajaloolise kivi kompleksuuringud — makro-, mikroelementide ja mineraloogilised analüüsid lisaks kiviproovide õhikute vaatlused ja ehituskivi kirjeldused, millest proov on võetud. Uuringuid on finantseerinud Tallinna Kultuuriväärtuste Amet eesotsas Agne Trummaliga, kellele siinjuures suur tänu toetuse ja usalduse eest.

Magistritöö teine pool koondab ühtede kaante vahele OÜ Vanas Tallinnas olulisemate teostatud praktiliste kivi konserveerimise tööde aruanded aastast 1997-2001. Aruanded lõpevad tööde analüüsiga materjali kasutuse ja meetodite seisukohalt.

Kivi on Eestis ikka konserveeritud, kuid antud töös on esmakordne, see et tehtud töödele järgneb materjali ja meetodite analüüs.

Täna ka OÜ Vana Tallinn, kes on andnud võimaluse teha erinevaid kivi konserveerimise töid, kolleegide poolt mõistva ning toetava suhtumise eest magistriõppes.

1. Taust.

Eesti arhitektuuris on nii interjööris kui eksterjööris kasutatud palju paekivi [Üprus, 1971, 1987, Kangropool 1994]. Liialdamata võib öelda – ta on Eesti tähtsaim ja enim kasutatud ehitus- ja dekoorkivi. Täna püüakse säilitada varem rajatud elumaju, linna- ja linnusemüüre jt. ehitisi, kivikalmeid ja hauatähiseid mälestamiseks inimesi ja sündmusi. Paest ehitusdetailidele võib märgata nii väljas kui sees. Interjööris on kasutatud paekivi aknasammaste, -palestike, konsoolide, bareljeefide, treppide, skulptuuride, portaalide jt. ajastule iseloomulike detailide väljaraiumisel. Raidkunst väljendus erinevate ajalooliste kunstistiilidena kivil eelkõige XIII sajandist kuni XVII sajandini, iseloomustades muutunud aegade arhitektuuri. Ilmselt vastupidava materjalina on Eesti kontekstis kivi üks vanemaid ajaloolisi dokumente nii arhitektuuris kui plastikas.

Suurem osa ajaloolistest hoonetest (kirikud, raekoda, linnamüürid ja monumendid) on ehitatud dolomiidist ja lubjakivist. Hea kvaliteet, füüsilised omadused ja vastupidavus murenemisele on võimaldanud kasutada kohalikku paekivi mitmesuguste ajalooliste ja kultuuriliste objektide ehitamiseks ja nad on säilinud sajandite vältel [Perens, Kala 2001]. Lubjakivi tähtsust ehitusmaterjalina Eestis on raske üle hinnata. Tallinna vanalinna olulisust Euroopa kultuuris on rõhutanud UNESCO, lülitades vanalinna maailma tähtsate ajalooliste objektide nimekirja.

Varasemal ajal, kui ehitamine oli vaevanõudvam ja kallim, püüti kohalikku ehitusmaterjali kasutada ratsionaalsemalt. Tänapäeval on see nähtav vanades hoonetes. Pärast avamist tuleb krohvi alt müüritisest välja hulk vanu “ajas moest läinud”

ehitusdetalle, mis on ümberehituse käigus taaskasutatud täitematerjalina või siis konstruktiivse ehituselemendina. Näiteks reeglina on ehitusmeistrid sambaid lõhkumata viimaste ümber ladunud hoolikalt tellisteladu, mis võimaldas aknaid klassitsismi tulekuga ümber ehitada väiksemaks. Kuid nagu näha kivi lagunemisest müüritisest, valiti kivi tihti kahjuks hoolimata halvast ehituslikust kvaliteedist, või jäeti kivi otseselt ilmastiku lagundava mõju alla. Samas tuleb tõdeda, et kui kivi oli vastupidav, ei peetud paljaks tuua näiteks Kaarma või Orgita dolomiit Tallinna, et siis seda kohapeal kasutada.

Vaadates pisut ringi saab selgeks, et pae kasutamine on olnud hoogne nii Tallinnas kui väljaspool Tallinna. Paekivi on kasutatud Eesti taludes, kirikutes, mõisates ja lossideski. Paekivi on valitud eelkõige oma lihtsa kättesaadavuse pärast — paljandub ju paekivi Põhja-, Lääne- ja Kesk-Eestis, aga ka Saaremaal. Kuid võrreldes Lõuna-Eestiga, kus pealmistes kihtides on savi ja paekivi leidub sügavamal, on erinevus hoonete puhul silmaga nähtav: Lõuna – Eestis on peamiseks ehitusmaterjaliks punane tellis. Kuigi tuleb märkida, et Põhja-Eestis leidub savi märgatavalt rohkem võrreldes Lõuna-Eestiga. Tuntud savi leiukohad Põhja-Eesti on näiteks Aseris, Kundas, Koplis, Kallaveres ja Kolgakülas [Raudsep jt. 1993]. Siiski pole savi rohkus oluliselt vähendanud pae kasutamist. Võib-olla on lihtsus pae kasutamisel mõjutanud selle rohkema rakendamise suunas, piisas “vaid” kivi murdmisest ja kohale toomisest, kuid savi tuli pärast kaevandamist veel põletada.

Konserveerimine eeldab konkreetse tegevuse eesmärgi mõtestamist ja materjali tundmist. Raidkivi konserveerimiseks on vajalik teada paekivi üldisi omadusi. Üldtuntud on inimkeskkonna toime kivile lisaks kivi looduslikule murenemisele ajas. Kuidas ajalooliste hoonete ehituskivi on pidanud vastu ajale ja ilmastikule, milliseid muutusi on nad ajas läbi teinud? Looduslike ja antropogeensete faktorite kombinatsioon viib ajalooliste objektide ehituskivide struktuuri progresseeruvale hävimisele. Käesoleva hetkeni pole neid mõjusid uuritud ajaloolise ehituskivi osas ega ole tehtud professionaalseid geoloogilisi uurimusi ajalooliste objektide seisundi hindamiseks.

Seetõttu ei ole meil nende olukorra kohta andmebaasi, mis võimaldaks meil kvantitatiivselt diagnoosida ja hinnata nende objektide kivide murenemise intensiivsust. Paljudes Euroopa riikides on viimastel aastakümnetel uuritud ajaloolisi objekte, hinnatud kivimite murenemist ja väljatöötatud soovitusi tähtsate ehitiste kaitsmiseks ja säilitamiseks [Nord et al., 1994; Fassina, 1997; Nord et al. 1999].

Sarnaste kompleksuuringute probleem on väga aktuaalne ka Tallinnas, eriti vanalinnas, kus lubjakivimist ehitatud ajaloolisi hooneid on palju. Vanalinna võib kutsuda ka "paelinnaks".

2. Paekivi lühiiseloostus ja tema ajalooline kasutamine Tallinna vanalinnas.

Paas kui ehituskivi on olnud eestlastele oluline materjal ja kivimeistrid tundsid kohalikku kivi. Nagu H. Üprus on oma raamatus märkinud "*...on vanema raidkivikunsti areng kulgenud otse rahva keskel ja rahva osavõtul. Eestlaste kiviraidurite olemasolu ei vaja enam tõestamist.*" [Üprus, 1987]. Konserveerimine on interdistsiplinaarne ala, mis nõuab laialdasi teadmisi mitmelt alalt. Ka tänapäeval on Eestis kivirestauraatoril kui paega tegeleval käsitöölisel vajadus tunda kohalikku materjali. Paas kui materjal oma keemiliste ja füüsikalise-mehaaniliste omadustega on Eesti geoloogidele kauaaegseks uurimisobjektiks. Järgnev tekst pae omadustest on lühirefereering geoloogide materjalidest.

"Paekivi e. paas on keemiliselt karbonaatsete kivimite – lubjakivi, dolomiidi ja mergli üldnimetus. Tekkelt kuulub paekivi biokeemiliste setendite rühma, moodustades selle esinduslikuma osa. Paekivi kõige levinum vorm on lubjakivi. Keemiliselt puhas lubjakivi sisaldab 56% CaO ja 44% CO₂. Looduses leidub sellist lubjakivi harva. Paele kui materjalile on esitatud järgmised füüsikalise-mehaanilised nõuded: vastupidavus ilmastikule ja kulumisele, hea töödeldavus, survetugevuse nõue jne.

Ehituskivi alaliikidena esindab paas nii viimistlus- kui tehnoloogilist kivi. Viimistluskivi iseloomustab dekoratiivsus ja hea töödeldavus. Näiteks Saaremaal Kaarma dolomiidi leiukohas moodustab kasuliku kihi ülemsiluri Paadla lademe savikas dolomiit. Värvuselt on see hallikas kuni kollakate toonideni, kohati lõheline ja urbane kivim. Veel on kasutatud viimistluskivina Oandu lademe krinoiidlubjakivi, nn. Vasalemma marmorit (Padise leiukoht), Raikküla lademe dolomiidistunud lubjakivi, nn. Kalana marmorit (Kalana leiukoht). Tehnoloogilist kivi kasutatakse peamiselt põletuslubja-, tsemendilubjakivina aga ka klaasidolomiidina.

Vanad kiviraidurid tundsid hästi kivimi omadusi. Nad oskasid kivimurrus eristada kivikihte nende omaduste järgi. Vanas Lasnamäe kivimurrus oli Lasnamäe ja Uhaku lademe piires eraldatud üle 50 erinevate omadustega kivikihi. Igal kivil oli oma nimi, mis iseloomustas ka tema omadusi ja seega kasutusvõimalusi. Hea müürikihina olid tuntud Mapa, Trepp, Tige Seitsmene; astmekivina Seitsmetolline, Lõhkumine, Kirjukord; skulptuurikivina Ristikord jne. Seega ei kõlvanud mitte kõik kihid ehituskiviks.“

[Raudsep jt. 1993].

Erinevate kivikihtide äratundmine nõuab kogunud silma nii ka lubjakivi ja dolomiidi eristamine vajab uurimist ja harjutamist. See on konservatorile oluline, sest keemiliselt on need kivid erinevad.

H. Perens ja E. Kala (RE Eesti Geoloogiakeskus) on uurinud ja värskelt publitseeritud kirjutises avaldanud, millist paekivi on Tallinna vanalinnas ajalooliste hoonete ja nende detailide puhul kasutatud. Sellest tööst selgub, et Tallinnas on põhiliselt tegemist ikka Lasnamäe lademest raiutud halli kiviga, mis on erineva kivimustriga. Lasnamäe kivi on kasutatud Toomkiriku käärkambri raidraamide, Niguliste kiriku Antoniuse kabeli veevalamu, tabernaaklite koori seinte jne, Raekoja peaportaali ja kaaristu, kaaristu otsaseinas oleva Justitia figuuriga kivireljeefi jm puhul. Lasnamäe lubjakivi kõrval esineb ka mitmeid Kaarma (Niguliste kiriku sammastikusega barokne põhjafassaad) ja hulganisti Orgita dolomiidi (mitmed hauamonumendid Toomkirikus) kasutamist [Perens,

Kala 2001]. Need teadmised on olulised ka kunstiajaloolastele, kes saavad teha oma järeldusi sidemetest või nende puudumisest teiste maadega.

3. Magistritöö eesmärk.

Käesolev magistritöö sisaldab kaks eesmärki.

Esimene pool tööst on uurimuslik, mis hindab Tallinna vanalinnas asuvate ehitiste kivi seisundit. Keemiliste meetoditega kirjeldatakse ajalooliste ehituskivide geoloogilisi omadusi, aga ka keskkonna toimet kivi struktuurile ja tema vastupidavust murenemisele. Kivimite füüsikalistel omadustel (tihedus, poorsus) on suur osa kivi vastupanuvõimes keskkonna toimele, kuid selles töös ei ole keskendatud tähelepanu kivi füüsikaliste omaduste hindamisele. Seda uurimust tuleb pidada esimeseks oluliseks sammuks Tallinna ajalooliste objektide seisundi kompleksel hindamisel.

Samuti pole seni uuritud Tallinna keskkonna saastatuse toimet kivile ega võrreldud vastavaid tulemusi teiste maade, näiteks Põhjamaade (eelkõige Rootsi) lubjakividega.

Töö teine pool keskendub magistrandi praktiliste kivi konserveerimistöõde kokkuvõttele kokkupuutes erinevate konserveerimisprobleemidega nii materjali kui konserveerimisfilosoofia seisukohalt. Eesmärgiks on kasutada eelnevaid analüüsitulemusi konserveerimismetoodika ja kasutatud materjalide hindamisel. Kriitiliselt on hinnatud magistrandi varasemaid konserveerimistöid metoodikast ja materjalist lähtuvalt.

4. Magistritöö ülesanded.

Eesmärgiks on uurida keskkonna mõju kivile ja analüüsida keemiliste meetoditega kivi lagunemise protsessi (III peatükk). Keemilised analüüsid aitavad kirjeldada kahjustusi ja

suunavad tähelepanu nende põhjustele. Mõnikord on võimalik määrata ka kahjustuste mehhanisme, püüda leida omavahelisi seoseid erinevate kivikihtide säilivuse ja keskkonna toime vahel. Kuna need küsimused eeldavad küllalt sügavaid teadmisi geoloogias ja keemias, siis eeldab see magistritöö koostööd TTÜ Geoloogia Instituudiga, kus uuritakse Eesti karbonaatkivimite geoloogiat, litoloogiat, omadusi ja keemilist koostist. IV peatükis on kirjeldatud uuritud kiviproove ja analüüsitud tulemusi ning lähtuvalt tulemustest arutletud järelduste üle.

Teiselt poolt püüab see magistritöö koondada senised kogemused kivi konserveerimise alal nii interjööri kui väljas ühiste kaante vahele (peatükis V). Loomulikult eeldab siseruumis asuva kivi konserveerimine erinevat lähenemist võrreldes väljas asuva kiviga. Ka siseruumides on oma spetsiifika, millele tuleb tähelepanu pöörata.

Praktiliselt on katsetatud erinevaid keemilisi meetodeid, mis on juba tuntud ja aktsepteeritud ICCROM-i kivikonserveerimis-spetsialistide poolt. Laiendatud on kiviparandusmaterjalide kasutamist Eestis, mis on nii Rootsi kui Soome kivikonservaatorite poolt läbi katsetatud.

5. Materjalid ja meetodid.

Proovid on võetud peamiselt Tallinna vanalinna piires selleks, et uurida ajalooliste hoonete müüritise olukorda (v.a. ühe proovi osas, mis on võetud hilisemalt ehitiselt endise Tselluloosivabriku hoonelt Masina tänaval). Analüüsimiseks võetud kiviproovid on kahjustatud silmanähtavalt. Kivi on murenenud või kaetud õhema/paksema musta kihiga (linnamüüri välisküljelt ja eesvallilt võetud proovid) või on kivi asunud vihma poolt uhitud alal (Oleviste kiriku põhjakaare kontraforssilt). Proove on võetud tihedama liiklusega teede lähedusest (Masina 22 asub tiheda liiklusega Tartu mnt. vahetus läheduses lisaks tselluloositehase varasemale saastele), et uurida transpordi heitgaaside toimet. Siiani on üldtunnustatud teadmine, et kivi säilivus sõltub ka ilmakaarest. Eriti on

rõhutatud lõunakaares asuva kivi halba seisukorda (proovid on võetud Dominiiklaste kloostris Katariina kiriku lõunaseinast, Suure Rannavärava eesvalliilt ja Toomkiriku lõunakaares asuvalt aknaraamilt). Nende analüüsidega peaks olema võimalik seda faktiliselt ka tõestada.

Seega proovid on võetud Tallinna vanalinnamüürilt, Suure Rannavärava eesväravaga külgnevalt eesvalliilt, Masina tänaval asuvalt hoonelt, Oleviste kiriku erinevatelt kontraforssidelt, Dominiiklaste kloostris Püha Katariina kiriku müürikividelt ja peaportaali palestiku kahjustatud raidkivilt, üks proov Toomkirikust ja Komandandi aia müürikivilt Tallitorni alt.

Kokku on analüüsitud 30 proovi 7. objektilt, sealhulgas nii kivi kui kivi peal olevat musta kihti. Tegemist on olnud Lasnamäe ja Uhaku lademega [Einasto, 2000]. Kõik proovid on võetud 1,5 – 2 m kõrguselt, et keskenduda vaid õhusaastatuse ja ilmastiku toimele ning välistada pinnasest tulenevad mõjud (mikrobioloogiline toime, soolad maapinnalt jne). Ühe proovi osas (Püha Katariina kiriku kahjustatud palestik) on analüüsitulemusi kasutatud konserveerimise otsuste tegemisel. Kivimite keemilise koostise kompleksne analüüs sisaldab sealhulgas:

- 1) makro- ja mikroelementide määramiseks röntgenfluorestsentsanalüüsil (RFA) Vilniuses ja Peterburis.
- 2) kivimite mineraloogilise koostise uurimine pulberröntgendifraktomeetriga DRON 3M (Tartu Ülikooli Geoloogia Instituudis);
- 3) õhikute petrograafiline uurimine mikroskoobiga kuni 100-kordse suurendusega;
- 4) statistiliste meetodite kasutamine saadud andmete interpreteerimiseks.

Praktilistest töödest on kaante vahele koondatud olulisemad kivi konserveerimise/restaureerimise tööd. Igal tööil on oma aspekt konserveerimise seisukohalt — kas materjalist või filosoofiast lähtuvalt. Analüüsitud on erinevaid meetodikaid ja materjali kasutamist. Eelnevates uuringutes leidis kinnitust, et musta kihi näol on tegemist kipsiga. Puhastusmeetodika valiku õigsust on kinnitanud selle

kihi näol on tegemist kipsiga. Puhastusmetoodika valiku õigsust on kinnitanud selle fakti teadmine, näiteks etikukividest ümberkujundatud 5 hauakivi, aga ka Püha Katariina kiriku konserveerimisel kasutatud metoodika puhul. Tööde analüüsil on lähtunud järgnevatest punktidest:

1. uurimine (petrograafiline, kivi kahjustused, viimistluskihtide, materjali uuring)
2. puhastamine
3. konsolideerimine
4. liimimine
5. kiviparandused
6. toneerimine.

II RESTAUREERIMISEFILOSOOFIA MÕNINGAID KÜSIMUSI

1. Üldine kontekst.

Aegade jooksul on ikka vaieldud erinevate suundade üle, kas konserveerida või restaureerida. Seistes vastamisi taastamist vajava mälestisega kerkib üles küsimus – mida tuleks konserveerida selle kunstimälestise puhul? Mis on antud objektis olulist? Mis on selle tegevuse eesmärk? Millisest kontekstist lähtuda- kas laiemast või kitsamast kontekstist? Millist tehnikat ja milliseid kaasaegseid materjale võib kasutada konserveerimisel selleks, et säiliks objekti autentsus?

See sõltub otsustaja subjektiivsest otsusest, valiku teeb inimene omas ajas. Inimene on omakorda mõjutatud inimmõtte arengust, majanduslikest võimalustest, keskkonnast, poliitikast aga ka tellijast. Lisaks on inimesele omane ajaloos eelnenud perioodi ümber hinnata. See on omamoodi enese identifitseerimine läbi eelneva eituse.

Restaureerimises ja konserveerimises on kuulutatud üks "tõde" mingil ajaperioodil ainuõigeks, et siis mõne aja möödudes sellest loobuda. Mõtted on liikunud seinast

seina — stilistilisest restaureerimisest (Eugène E. Viollet-le-Duc) kuni lagunemise aktsepteerimiseni (John Ruskin).

Kui interjööris on eesmärgiks **kunstilise ühtsuse loomine**, tuleb arvestada, et me ei saa ajas liikuda tagasi. Liikuda “tagasi” algupära poole, vanima kui kõige väärtuslikuma kihi suunas. Tegelikult on kõik ajaloolised kihid olnud mingil hetkel algupärased ja omavad oma väärtust. Nende väärtus sisaldub informatsioonis tollest ajast ja inimestest. Muidugi on neil väärtustel erinev tähendus kaasajale. Arhitektuuri restaureerimisel tuleks kriitiliselt otsustada, mida säilitada, mida mitte. Kõike pole võimalik ja mõtet eksponeerida. Kuid ka need leiud tuleb dokumenteerida tulevastele põlvetele. Kultuuripärandi konserveerimine ja restaureerimine on mõjutatud väärtustest. Väärtused on need, mis muutuvad vastavalt ajale ja kontekstile. Väärtused erinevad ka kultuuriti. See erinevus on täheldatav eriti Ida ja Lääne kultuuriruumis. Väärtushinnangud on paiksed ja vaid läbi kohalike inimeste püsivad need väärtused elavana, kuigi nende vorm võib ajas muutuda. Näiteks isegi Lääne kontekstis, kus originaal on oluline mõiste, rekonstrueeritakse hooneid, mis on hävitatud II Maailmasõja käigus (Varssavi vanalinn ja Riia Mustpeade maja). Kuigi see ei ole Lääne restaureerimise peasuund, on see konteksti arvestades aktsepteeritav ja mõistetav.

Cesare Brandi on kirjutanud kunstiteose ja tema olemuse analüüsis restaureerimise protsessis. Essee “Teoria del Restauro’s I-III” toob Brandi esile kunstiteose **kunstilise ja ajaloolise väärtuse**. Brandi arvates tuleb kunstiteostel säilitada ka ajaloolised väärtused — “*aja kulgemisest jäetud jäljed kunstiteosele*” [Brandi, 1996].

Kunstiteos on kunstniku loomeprotsessi tulemusena “kujundi” materialiseerunud vorm kui lõpetatud protsess. Pärast seda saab alguse kunstiteose iseseisev elu. Materjali kadu aja jooksul tähendab ka informatsiooni kadu. Seeläbi kahjustub ka kunstiteose terviklikkus. Restaureerimine on Brandi arvates kunstiteose potentsiaalse terviku taasloomine, kuid kunstilise või ajaloolise võltsinguta. Brandi rõhutab restaureerimise I aksioomis : “Ainult kunstiteose materiaalne vorm on restaureeritav.” [Brandi, 1996].

Materjal üksi ei tee kunstiteost. “Kui kunstiteos on juba materialiseerunud füüsilises vormis /---/ on ta ajaloolistatud kui inimese töö resultaat. Võttes sama tüüpi marmorit samast kivimurrust kahel erineval ajahetkel, ükskord originaali loomise ajal ja teine kord restaureerimise momendil, on küll võimalik hankida keemiliselt sama materjali, aga ajaloolisest ja realiseerimise aspektist on tal erinev tähendus.”[Brandi, 1996]. Koopiat saab tõlgendada võltsinguna, kui sellele pole eraldi viidatud. Koopia saab Brandi jaoks olla vaid “didaktiline või mälestav objekt, kuid mitte kunagi õigustatud asendus kunstiteosele.” [Brandi, 1996].

Kunstiteost aitab paremini mõista tema asumine kontekstis. See, et **mälestise tähendus väljendub kontekstis**, on leidnud kajastamist ka Veneetsia hartas § 6: “Mälestise konserveerimisel tuleb arvestada tema ümbrust. Kui ümbrus on mälestistega traditsiooniliselt seotud, tuleb teda säilitada ning vältida igasuguseid uuendusi, lammutusi jms., mis võiksid mälestise üldlahendust ja proportsioone muuta.”[Veneetsia harta, 1964].

Kaasaegne konserveerimine ja restaureerimine hindab **autentsust** kui kunstniku idee unikaalset väljendust materiaalses vormis nii ajaloolises kui kaasaegses kontekstis. Seega nii koopia kui ka rekonstruktsioon ei saa olla autentsed. Me saaksime taastada seeläbi vaid välise vormi, kuid see oleks imitatsioon. Koopia on õigustatud juhul, kui ta omab väärtust kaasaegses ühiskonnas elavatele inimestele. Iga olukord on unikaalne ja vajab individuaalset lähenemist. Kaasaegne konserveerimine püüab tegeleda autentsusega nii füüsilisel kui ka metafüüsilisel tasandil, haarates mälestise hulka mitte ainult konkreetse detaili, vaid vaadeldes arhitektuuri laiemalt sotsiaalses keskkonnas. “Pilk libiseb mööda tänavaid nagu täiskirjutatud lehekülgi: linn ütleb ette kõik, mida sa pead mõtlema, ta paneb sind kordama oma kõnet; ning kui sa enda arvates külastad Tamarat, ei tee sa tegelikult muud, kui võtad teadmiseks nimed, millega Tamara tähistab ennast ja kõiki oma osasid. Missugune on linn tõeliselt tolle tiheda märkide katte all, mida ta sisaldab või varjab, see jääb Tamarast lahkujale saladuseks.” [Calvino, 26]. Täites mingit tühikut

tuleks meeles pidada autentsuse põhimõtet kas siis füüsilise või metafüüsilise vormi tasandil, selleks et mitte muutuda kunstlikuks või ebasiiraks.

2. Restaureerimine lähtuvalt materjalist.

John Ruskinist alates on restaureerimises pöördutud ehitise autentsuse küsimuse poole, mis puudutab materjali ja vormi. Oma "Tõe lambis" tõdeb Ruskin, et "kivi on loodud käsitsi töötlemiseks; niisamuti ei tohi me kasutada mingisse vormi valatavat kunstlikku kivimit, /.../ ei midagi, mis püüaks imiteerida kivi" [Ruskin, 1996].

Cesare Brandi analüüsis kunstiteose materiaalsust, toob välja kaks mõistet - struktuuri ja välise kuju: struktuur, mis arhitektuuri puhul on ehitusblokid, ja väline kuju, milleks on ehitusblokkide väline kiht ning see peab säiluma tervikuna [Brandi, 1996].

Kaasajal on Ove Hidemark, Rootsi arhitektuuris konserveerimise mõtestaja, tegelenud materjali ja vormiga. Restaureerimise põhimõtted on sõltunud ühiskonnast ja vastava aja perioodist. Sarnaselt Ruskinile, Brandile ja teistele on ta püüdnud kaitsta paatinaga materjali, säilitada materjali komplekselt võrdväärse väliste vormiga. Materiaal-eetiline või materiaal-ökoloogiline tarvidus nõuab meilt säästlikku ümberehitust ja eemaldatud materjali asendamist originaalile lähedase materjaliga. Hidemark toob näite hooldustöödest Skokloster lossis, kus oli eesmärgiks eksponeerida läbi materia ehituse vanust ja vananemist, ja kasutades originaalile sarnaseid materjale, planeerida seeläbi materia jätkuvat vananemist. "Materia vananemisprotsess on seega võti aja kogemiseks. Kogemus, mida peab kaitsma isegi hooldus- ja remonditööde käigus." [Hidemark, 1995].

Süntees aja ja ruumi suhtes on olnud alati keeruline. See on hoone identiteedi küsimus, mida ja kui palju eksponeerida. Konserveerimine ja ümberehitus nõuavad laialdasi teadmisi ajaloost, head silma detaili suhtes, aga ka töövõtete ja materjali tundmist. Kuid

rekonstruktsioon nõuab ülimalt pieteeditunnet objekti suhtes ja töökogemusi vanade materjalidega ning, kuigi tulemuseks on interpretatsioon, jääb siin alles küsimus “kuidas pakkuda spetsiifilisi vananemisprotsesse, et tulemus oleks usutav” [Hidemark, 1995].

Restaureerimises on tähtis objekti terviklikkus, mis samas arvestab rohkem mateeria ja töövõtetega, kui varasemad põlvkonnad on seda teinud.

III PAEKIVI JA TEDA MÕJUTAVAD TEGURID

1. Paekivi üldiseloostus.

Kivi praktiliselt konserveerides on vaja tunda materjali nii keemilisi kui füüsikalismehhaanilisi omadusi. Selles alalõigus on plaanis anda üldine taust paekivile mõistmaks hilisemaid tulemusi ja laiendades sissejuhatuses alustatud paekivi lühiseloostust. Siintoodu on referatiivne materjal Rein Einasto käsikirjalisest materjalist [Einasto, 2001], aga ka mõningatest teistest artiklitest [Einasto, Matve 1993, Einasto, Saadre 1994]. Eestis algas paekivi füüsikaliste omaduste testimine juba 19. sajandil, kuid lubjakivi ja dolomiidi maardlate süstemaatilised uuringud on toimunud alles pärast teist maailmasõda.

Keemiliselt on paas erinevate karbonaatsete kivimite üldnimetus. Nende hulka kuuluvad **lubjakivi**, dolomiit, mergel. Ka marmor on karbonaatne kivim, kuid Eestis teda ei leidu ja nn. Vasalemma ja Kalana marmor on sealse lubjakivi rahvalikum nimetus. Nagu sissejuhatuses märgitud, on keemiliselt puhtas lubjakivimis 56% CaO ja 44% CO₂. Lasnamäe lubjakivi muutumatute kivimite poorsus on keskmiselt 3,56% ja tihedus 2,64 g/cm³. Väike poorsus annabki nendele lubjakividele hea vastupidavuse murenemisele. Võrdluses erinevate kivide füüsikaliste omadustega on Lasnamäe lubjakivi lähedane graniidile (vt. tabel 1).

Üldiselt võib lubjakivimis esineda dolomiiti, savi, raudhüdroksiide jt. Lisandite sisaldus määrab kivi värvuse - valge, kollaka või halli.

Dolokivi sisaldab kuni 21,7 % MgO, 30 % CaO, 48 % CO₂. Lisanditena esineb samas ka räni- ja savimineraale, raudhüdrosiide jm. Kuna suurem osa dolokivist on tekkinud lubjakivi dolomiidistumisel, siis esineb looduses lubjakivi ja dolokivi vahel pidevaid üleminekuid.

Mergel asub oma koostiselt lubjakivi ja savi vahel, sisaldades 25-50 % savi, mis muudab mergli hallikaks, rohekaks või kirjuks [Raudsep jt. 1993].

Lasnamäe ehituskivi kuulub keskordoviitsiumi aega ja on iseloomustatav kolme geoloogilise tunnusjoone kaudu. Tuleb märkida, et merglikelmete esinemine paes muudab kivi vähe ilmastikukindlaks. Puhas merglikelmeteta lubjakivi on kõva ja ilmastikukindel. Looduses esineb selline ilmastikukindel lubjakivi ebakorrapäraselt vaheldumisi lainjate merglikelmetega, vähese ilmastikukindluse lubjakiviga. Kihtide lasundist lahti murdmine toimub seega merglikelmeid mööda ja kõva kihti nimetatakse rahvapäraselt "südameteks". Kivisüdamete paksus on kihiti muutlik 2-3 cm kuni 10-12 cm (esineb ka 15 cm kihi paksust).

Teine geoloogiline tunnus on fosfaatsed katkestuspinnad, mis annavad kivile dekoratiivse iseloomu ja iseloomustavad kihti.

Kolmas geoloogiline iseloomulik tunnus on kahe eelneva seaduspärasuse kombineerumine mitut järku tsüklilisuseks. Profiili ülemised, savikamad, sagedaste katkendlike merglikelmete tõttu kergesti murenevad kihid (5m) kuuluvad Uhaku lademe Kõrgekalda kihistusse; valdava osa (8,7m) moodustavad täispaksuses paljanduvad Lasnamäe lademe helehallid keskmisekihilised mudalis-detriitsed, suhteliselt savivaesed ja seetõttu kõvad lubjakivid. Ehituskiviks on eriti sobivad Lasnamäe lademe ülemised, dolomiidikihist (põhjapunasest) kõrgemale jäävad kihid [Einasto, 2001]. Tabelis 2 on toodud Lasnamäe lubjakivikihtide nimetused ja ehituslikud omadused.

Üle 1000 Eesti lubjakivi proovi füüsikalisi ja mehhanilisi omadusi ning keemilist koostist on määranud A. Teedumäe. Dolomiitide ja lubjakivide omaduste, koostise, struktuuri ja geneesi alusel on tööstuslikult perspektiivsetes karbonaatsetes kivimites eristatud seitse

gruppi [Teedumäe, 1986]. On iseloomustatud nende omadusi ja ruumilist levikut [Teedumäe et al. 1999]. Nelja erimi (krüpto-, mikro-, peen- ja jämedakristallilised) omaduste ja koostise korrelatsiooni uurimine [Teedumäe, 1988] näitas nende korrapärasust.

Viimastel aastatel on detailselt uuritud Eesti paekivide mitmesuguseid tüüpe. Nende litoloogiat, keemilist koostist ja füüsikalisi omadusi on detailselt uuritud mitmete kohalike ja rahvusvaheliste projektide raames. Ordoviitsiumi kivimproovide kollektsioon sisaldab üle 600 proovi Eesti peamistest stratigraafilistest ühikutest, paljanditest ja puuraukudest. Keemilist koostist (13 parameetrit) on uuritud röntgenfluorestsentsmeetodil ja märgsilikaatanalüüsi viisil. On tehtud keemilise koostise võrdlev analüüs keemiliste protsesside erineva iseloomu ja intensiivsusega sekundaarsete muutuste vööndites. On tuvastatud ordoviitsiumi kivimite füüsikaliste omaduste muutlikkus sõltuvalt keemilisest koostisest [Bityukova et al., 1997; Bityukova, 1998; Bityukova et al., 1998].

Tabel. 1 Kivide füüsikaliste omaduste võrdlus.[Mesimäki et al, 1984]

	Tihedus t/m³	Poorsus mahu-%	Veeimavus kaalu%
Graniit	2,5-2,7	0-5	0,2-0,5
Marmor, tihe	2,5-2,7	2-7	0,2-0,6
Lubjakivi, poorne	2,3-2,5	5-10	1,0-10,0
Liivakivi	2,4-2,9	3-20	0,1-1,0

Tabel. 2 LASNAMÄE PAEKIHTIDE ISELOOMUSTUS.[G. Vilbaste 1954,
Einasto et al, 1999]

KIHI NIMETUS	KIHI NR	KIHI ISELOOMUSTUS MURRUTÖÖLISTE ANDMETEL
Huumus		
Õhukesed bituumsed lubjakivi kihid		
Nutu	1	
Makantkirju	2	
Topeltkirju	3	
Kollane lõug	4	Nõrgad, osalt purunenud, merglirikkad müürikivid
Ratsatäkk	5	
Papa	6	
Mamma	7	Pehme, külmaga lõheneb, astmekivi siseehituses
Mapa	8	Müürikivi
Tõusandus	9	Pehme, külmaga lõheneb kaheks, sisemisteks astmeteks.
Karvakord	10	Pehme, viiruline müürikivi.
Reinukord	11	Pehme astmekivi.
Seitsme tolline	12	Astmekivid
Laksupealmine	13	Astmekivid
Laksu	14	Kõva astmekivi, külmaga lõheneb
(Nahakord)	15	Poolpehme, all rabe nahakord, kihi südamik väga kõva ja raskesti tahutav, sellepärast tarvitata müürikiviks
Tulikord	16	
(Nahakord)	17	
Mädakord	18	Merglirikas, väga rabe müürikivi
Nõtku	19	Rabe müürikivi, lõhkudes ei anna siledat serva.
Rabandus	20	Kõva astmekivi (nõtku alumine osa jääb sageli külge nahakorrana)
Lõhkumine	21	Kõva astmekivi.
Paks hall	22	Kalkkõva astmekivi, peal ja all pehmed astmekivid
Kirjukord	23	Kõva astmekivi.
Trepp	24	Eelmise kihi alumine pehme nakk müürikivi

Viiene	Viiene- jane	25	Kõva müürikivi
Neljane		26	Kõva müürikivi pehme nahk all
Alumine nahakord arssin		27	
Tige seitsmene		28	Süda väga kõva , peal ja all pehmed nahad
Alumine nahakord (arssin)		29	
Pealmine muldvalge		30	Klaaskõva
Alumine muldvalge		31	Kõva kivi pehme nahk all
Kassikord		32	Kõva astmekivi, kergesti tahutav
Lutt		33	Pehme kivi tahumiseks liiga rabe
Laksu punane		34	Kõva astmekivi
nahakord Kirju kärn		35	Pealmine osa on kõva ja sisaldab 2X püstak-katkestuspinna all pehme nahk
Trepp-kalk		36	Lõheneb kaheks, trepp- kõva kivi, kalk- kalkkõva
Saukord		37	Savirikas pehme kivi, külmaga puruneb
Hall arssin		38	Hea kulumiskindlus, hea põrandaplaat siseruumides
Valge arssin		39	Kõva kõnnitee ja müürikivi
Nahakord		40	Lõheneb kaheks; pealmine osa rabe, alumine osa väga kõva
Tulikord		41	Alumine osa väga kõva, lõhkudes annab sädemeid
Poriarssin		42	Rabe, merglirikas kõnniteekivi, sisaldab palju püriiti.
Poriarssinaalune		43	Rabe, merglirikas, sisaldab palju püriiti
Ristikord		44	Kõva, hea tahumiskivi, sobib ristikivideks
Nahakord		45	Pehme nahakord
Üheksane		46	Väga kõva ja sitke kivi suure paindetugevusega, püriiti sisaldab vähe
Kuuetolline		47	Kõva tahumiskivi
Seitsmetolline		48	Pehme tahumiskivi sisaldab palju merglit
Neljane	Nelja- viiene	49	Kõva kivi
Viiene		50	
Pealmine põhjavalge		51	Kõva müürikivi
Alumine põhjavalge		52	Kõva, püriidirikas müürikivi
Põhjatrepp		53	Kõva, püriidirikas müürikivi

Pealmine põhjapunane	54	Kõva müürikivi
Alumine põhjapunane	55	
Pukisarv	56	

2. Keskkonna toime kivile.

Kivi lagunemine väliskeskkonna toimel on tuntud nähtus. Kivi loomulik vananemine ajas on alati toimunud, kuid eriti viimase 50 aastaga on see protsess “tänu” keskkonna suuremale saastatusele oluliselt kiirenenud. **Saastatuse** mõiste hõlmab peaaegu kõiki loomulikke või kunstlikke päritoluga osakesi, mis on võimelised õhus heljuma, aga ka gaase. Enamik komponente, mida peetakse saastatuseks, sisalduvad ka juba puhtas õhus. Küsimus on nende ainete kontsentratsioonis, mis suureneb inimtegevuse tagajärjel ja mõjub kivile lagundavalt [Amoroso, Fassina 1983]. Kuna kivi on keemiliselt ja mineraloogiliselt keeruline, siis on raske eristada kivi murenemise põhjusi loomulikust vananemisest või keskkonna toimest tulenevalt.

Kivi murenemise põhjused võib jagada laias laastus kolme rühma: **keemilised, füüsikalis-mehhaanilised, bioloogilised** [Nord 1991, Löfvendahl 1996].

2.1 Füüsikalis-mehhaanilised mõjud on näiteks vihma, külma, lume, temperatuuride kõikumis-tsükli, tuule, vibratsiooni jne toime.

Meie kliimavöötmes on temperatuuride kõikumis-tsükli toime koos veega sama oluline kui keemilistest põhjustest lähtuvad kahjustused. Eelkõige on see ohtlik kevadel ja sügisel öökülmade tulekuga, aga ka soojemal talvel. Kivi pooridesse tungides jääb vesi “kinni” sisemuses olevatesse kanalitesse. Külma tulekuga öisel ajal vesi jäätub ja tema maht suureneb. Mahu muutus põhjustab mehaanilist stressi ja lõhub kivi seest poolt. See kahjustus sõltub ka pooride suuruselt. Suuremate pooridega kivis liigub vesi kergelt sisse ja välja. Väikeste pooridega kivis ei pääse vesi esialgu nii kergelt sisse, aga kui ta kord juba siseneb, ei saa ta enam nii kergelt välja, põhjustades külmade ööde tulekul

kahjustusi. Lasnamäe lubjakivil on väike poorsus, mis tekitab mehaanilist stressi kivile (vt. III ptk. 1 osa).

Kondenseerunud veest tekkinud jääkristallid kivi pinnal põhjustavad sarnaseid mehaanilisi kahjustusi.

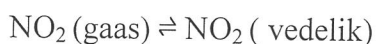
Lisaks hoiab must kiht, kui ta on piisavalt paks, vett kivi pinnal kinni ja põhjustab kahjustusi kivile. Pärast seda, kui kipsi kiht tuleb kivist lahti, jäävad poorid avatuks ilmastiku suuremale mõjule.

2.2 Bioloogilised mikroorganismid vetikad, samblad, samblikud, aga ka umbrohi, puud põhjustavad mitmel erineval moel kivide lagunemist.

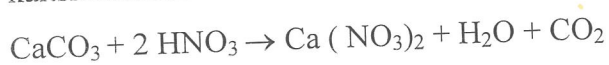
2.3 Õhusaastastusest tulenevad mõjud võib asetada **keemiliste** põhjuste alla lisaks sooladest põhjustatud tagajärgedele. Nimetamisväärselt kahjulikud gaasid kultuuriväärtustele on väävli- ja lämmastikühendid. Eriti kõrgelt arenenud tööstuslikes piirkondades on lisaks nimetatud keemilistele ühenditele veel teisi kahjustavaid ühendeid (süsinikdioksiid, vesinikfluoriid, vesinikkloriidhape, vesiniksulfiid, osoon, tahked aineosakesed) [Amoroso, Fassina 1983, Lindborg 1996].

2.3.1 Lämmastikoksiid omab oksüdeerivat toimet vääveldioksiidile. Lämmastikoksiid osaleb kivi lagunemisprotsessis, kuna ta transformeerub lämmastikhappeks ja järgnevalt kaltsiumnitraadiks.

Lämmastikushappe (HNO_2) ja lämmastikhappe (HNO_3) teke looduses toimub NO ja NO_2 gaaside absorptsiooni tulemusel atmosfääris. Järgnevad reaktsioonid kirjeldavad protsesse:



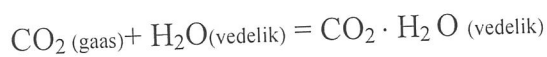
Lämmastikhape (HNO_3) muutub lubjakiviga reageerides kergemini lahustuvaks kaltsiumnitraadiks.



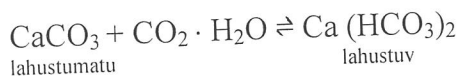
Kahjuks on nitraadisoolasid raske analüüsida, kuna nitraadisoolade lahustuvus on kõrge ja nad uhutakse vihma poolt ära [Amoroso, Fassina 1983].

2.3.2 Ammoniaak on üks peamisi saastatud õhu komponente, mis kahjustab kivi. Ehkki ta pole otseselt kivile väga kahjulik, osaleb ta väävelhappe moodustamisel. Teiselt poolt põhjustab ta ammooniumsoolade tekke õhus. Kõrge lahustuvusega ammooniumsoolad põhjustavad soolade kristalliseerumisprotsessis kahjustusi kivil, tungides mikropragude kaudu kivisse.

2.3.3 Süsinikdioksiid muutub vihmavees lahustudes nõrgaks kahealuseliseks süsihappeks ning transformeerub lubjakivi ja dolomiidiga reageerides vesinikkarbonaadiks, mis on palju lahustavam kui lubjakivi.



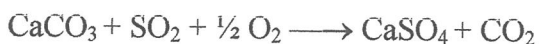
Tasakaalureaktsioonis toimub kaheosaline dissotsiatsioon I $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
II $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$



Kuid selle reaktsiooni tulemusel moodustub uus kaltsiit, millel on suuremad kristallid ja suurem poorsus. Hiljem muutub selliselt ümberkristalliseerunud kivi enam vastuvõtlikuks keskkonna toimele [Fassina 1988].

2.3.4 Vääveldioksiid on tähtsaim õhusaastatuse komponent, mis põhjustab kivi lagunemist. SO₂ gaasi lahustumisel sademetes moodustub hape, mis on agressiivne lubjakivile.

Mitmete autorite arvamusel [Amoroso, Fassina 1983, Lindborg 1996] ei reageeri SO₂ lubjakiviga järgneva lihtsa reaktsiooni tulemusel:



Reaktsiooni lähte- ja lõpp-produktid on teada, kuid lähtudes konserveerimise eesmärgist on tähtis mõista neid erinevaid mehhanisme ja keskkonna tingimusi, mis tingivad kivi lagunemise. Tegelikult võib SO₂ reaktsioon lubjakiviga toimuda keskkonnast olenevalt kolmel erineval viisil. 1. gaasi oksüdatsioon heterogeenses vedeliku faasis

2. gaasi oksüdatsioon homogeenses gaasilises faasis

3. kuiv ladestumine kivipinnale.

2.3.4.1 SO₂ gaasi oksüdeerumine heterogeenses vedeliku faasis

See on tähtsaim sulfaadi tekke protsess ja kõige enam kivi kahjustav mehhanism.

2.3.4.1.1 SO₂ oksüdeerumine atmosfääris

SO₂ lahustumine vedelikus (pilvedes või udus) toimub kiiresti. Edasine protsess SO₂ · H₂O → H₂SO₄ on aeglasem ja toimub raua ning magneesiumi katalüütilisel osalemisel. Edaspidi happe moodustumine aeglustub pH ≈ 2 juures, SO₂ ei lahustu rohkem. Aluseline komponent NH₃ tõstab pH taset, lastes SO₂ lahustuda veelgi, oksüdeerudes katalüütiliselt H₂SO₄-ks. Hape reageerib juba tuntult CaCO₃-ga.

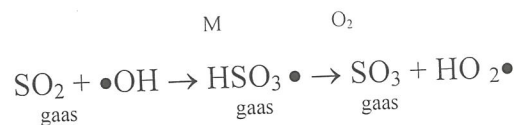
2.3.4.1.2. SO₂ oksüdeerumine pinnal

Niiskuse gradient ja keskkond sisaldab SO₂ gaasi, siis SO₂ gaas ümbritseb kivipinda lähedalt. Lõpuks SO₂ koguneb udutilkadesse ja ladestub kivile. Kuna vett on vähe, siis SO₂ kontsentratsioon on kõrge. SO₂ liikumine lahusesse toimub kiirelt, edasi

väävelhappe teke toimub katalüütiliselt vajaliku hulga tahma juuresolekul. See happeline lahus tungib kivi pooridesse ja aluseline kivi hakkab hapet neutraliseerima.

2.3.4.2 SO₂ gaasi oksüdatsioon homogeenes gaasilises faasis.

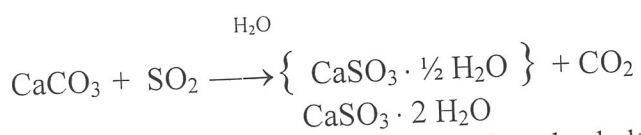
SO₂ oksüdatsioon atmosfääris homogeenes gaasilises faasis toimub reaktiivse keskkonna, st. aatomite, vabade radikaalide, ergastatud molekulide toimetel, mis on tekkinud fotokeemiliselt.



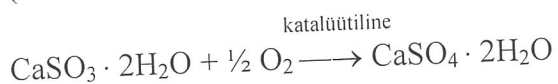
Õhus on alati mingil määral niiskust, mis absorbeerib sulfaadigaasi vedelikku moodustades väävelhappe. Edasi reageerib karbonaatne kivi happega. Talvel külmaga toimuvad need reaktsioonid aeglasemalt kui suvel.

2.3.5 Kuiv ladestumine kivipinnale.

Gaasiline SO₂ reageerib kivipinnale jõudes väikese hulga vee juuresolekul.



Edasi, järgmises astmes, oksüdeerub kaltsiumsulfit hapniku ja katalüsaatorite (metallioksiidide ja C osakeste) juuresolekul sulfaadiks.



2.4 Kokkuvõtteks.

Kaks viimast reaktsioonimehhanismi on vähem olulised võrreldes esimesega. Juba kliima tingimused tingivad selle, jahedamates tingimustes on reaktsioonid aeglasemad. Kuna suvi on Eestis üldiselt suhteliselt lühike ja jahe, siis fotokeemilised protsessid on samuti aeglasemad. Olulisemaks saab pidada esimest mehhanismi arvestades asjaolu, et linnaõhk on alati mingil määral saastatud. Muidugi, mida vähem saastunud on õhk, seda aeglasemalt need protsessid toimuvad.

3. Eesti ja Tallinna keskkonna seisundi hinnang.

Suurimad väevli ja lämmastiku saasteallikad on energia tootmine ja tööstus, kuigi enamus lämmastikoksiididest pärineb transpordist ja enamus ammooniumist põllumajandusest. Keskkonnaministeeriumi statistilistel andmetel vähenesid Eestis ajavahemikul 1980-1998 SO₂ heitkogused paiksetest saasteallikatest 61,7% ja ajavahemikul 1987-1998 NO_x heitkogused 43% [Kohv jt 2000].

Vaatamata sellele, et SO₂ ja NO_x heitkogused vähenesid märgatavalt, on nende gaaside toime tagajärjed nähtavad kauemgi. Kõige enam mõjuvad paikse saasteallika gaasid, siis tuleb arvestada ka naaberriikidest kaugülekandega saabuva saastatusega. Tänapäeval on kogu maailmas viimastel aastakümnetel rohkem tähelepanu pööratud keskkonna probleemidele, on tihenunud koostöö ja saaste andmetevahetus. On tekkinud mõistmine, et keskkonna regionaalprobleeme on võimalik lahendada globaaltasandil.

Hetkel on keskkonna olukord — Eestis laiemalt ja Tallinnas — tunduvalt paranenud võrreldes 80-aastatega. Tallinnas suleti 80 aastate lõpul rida ettevõtteid, mis paiskasid õhku väeveldioksiidi. Osa ettevõtteid on rekonstrueeritud.

Viimastel aastatel on Tallinna transpordipark suurenenud 180% võrra. Peamised heitgaasid (NO_x, CO ja raskemetallid) tulevad Tallinnas transpordist. Statistika andmetel

oli Tallinnas 1999. a.õhusaaste allikate jaotus järgmine: 91% autotranspordist, 9% paiksetest saasteallikatest [Pauklin, Kõrvits 2000]. Avaldatud statistilised andmed on pisut juhuslikud, kuid sellegipoolest iseloomustavad tendentse ja olukorda keskkonna seisundi hindamisel varem ja hetkel tabel 3. Tallinna kesklinna Viru mõõtejaamas on aastate jooksul toimunud atmosfääriõhu seire. Eesti Keskkonnauuringute Keskuse mõõtmiste tulemusel esineb saastegaaside ja raskmetallide kontsentratsiooni vahel suhteliselt tugev korrelatsioon Pb ja Cd ning saastegaaside vahel. Tallinn on paljude raskmetallide osas enam saastunud kui Helsinki ja saastetase on võrreldav Oslo 80 aastate saastetasemega vt tabel 4. [Otsa jt 1999] .

Vääveldioksiidi heitkoguste vähenemine toimus peamiselt suurtes elektrijaamades koormuse langemisest ja samuti katlamajades põletatava raske kütteõli koguste vähendamisest [Kohv jt 2000].

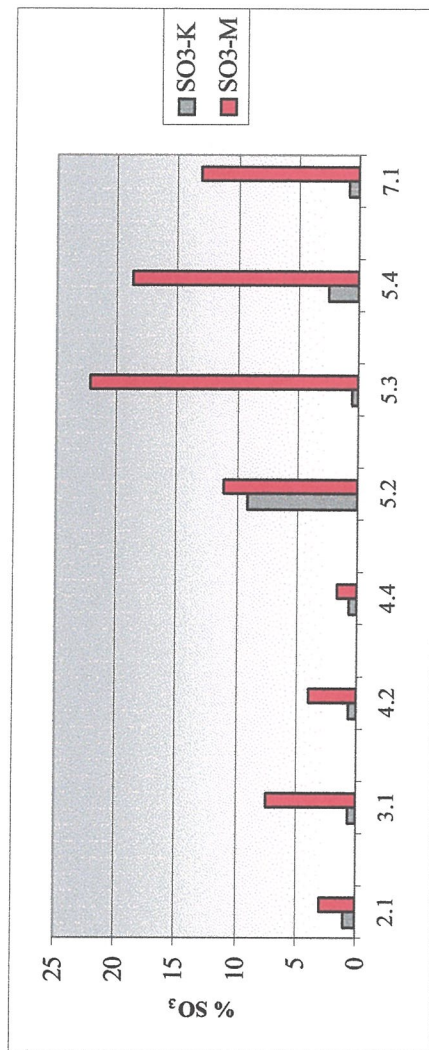
Kuna käesolevas töös on plaanis võrrelda Rootsis tehtud vastavate uuringute tulemusi siintehtuga, siis tuleks ka võrrelda keskkonna seisundit. Tulenevalt Eesti ja Rootsi suuruse erinevusest on raske võrrelda saastegaaside heitkoguseid. 12 aastase hilinemisega on kontsentratsioonitase saastegaaside osas võrreldav. Seega võime pidada Tallinna õhku rahuldavaks ja kivi suhtes säästvaks.

IV KIVIPROOVIDE ANALÜÜSID

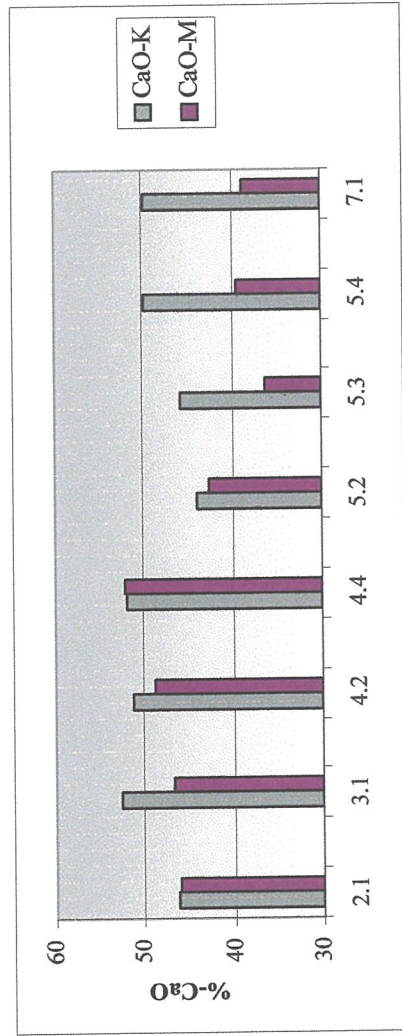
1. Kiviproovide loetelu.

Tabelis 5 on kirjeldatud proovide võtmise täpsed kohad. Kergemaks jälgimiseks on nad esitatud vanalinna plaanil (skeem 1) ja lisatud juurde fotod, millisest kivist proov on võetud. Kiviproovid ja mustad kihid on saanud vastava tunnusmärgistuse

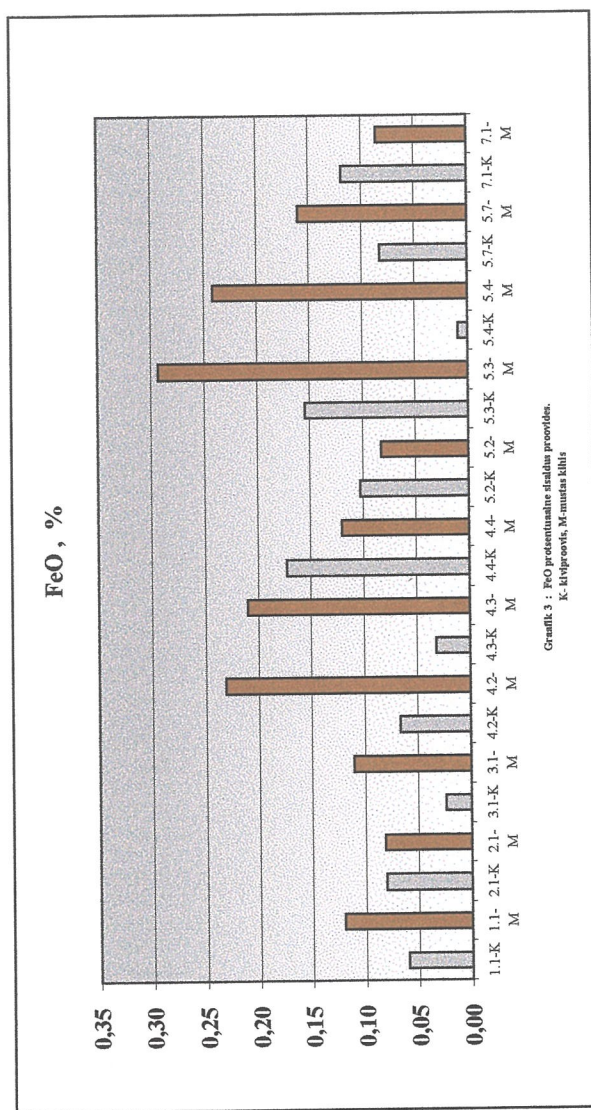
(K-kiviproov, M-must kiht, C-looduslikult moodustunud kips). Järgnevates tabelites ja graafikutes märgistus säilib. Tabelisse 6 on kantud erinevad teostatud analüüsid kõikide proovide kohta. Edasi jätkub kivikihi geoloogilise kirjeldusega, millest proov on võetud. Seejärel 9 proovi õhikute mikroskoopilise kirjeldusega. Tabelites 7-19 ja graafikutel 1-4 on esitatud analüüside tulemused. Kõik nimetatud tabelid ja kivikihi geoloogilised kirjeldused, millest proov on võetud ning õhikute mikroskoopilised kirjeldused on esitatud lisas.



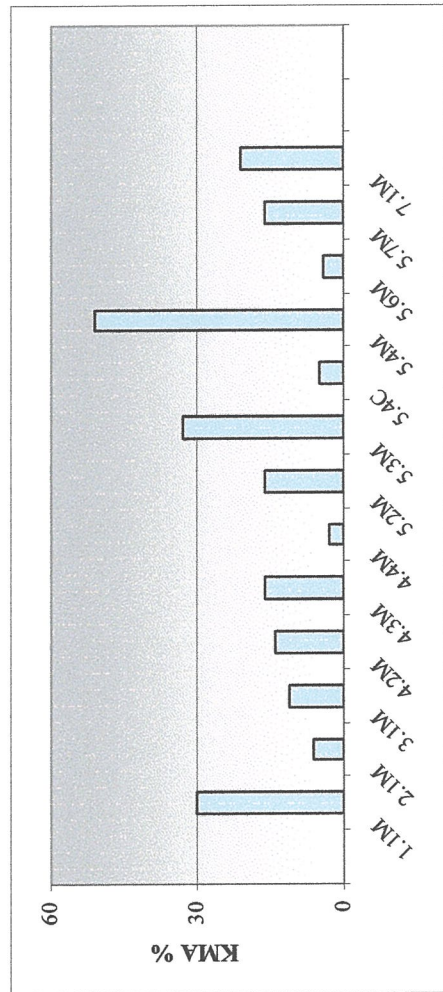
Graafik 1. Kips (arvutatud SO₃-na) kiviproovis ja mustas kihis erinevatel objektidel.
 2.1- Oleviste kirik, 3.1-Masina 22, 4.2-4.4 – Püha Katarina kirik, 5.2-5.4 – Suure Rannavärava eesvall, 7.1-Toomkirik.



Graafik 2. CaCO_3 (arvutatud CaO -na) kiviproovis ja mustas kihis erinevatel objektidel.
 2.1-Oleviste kirik, 3.1-Masina 22, 4.2,4.4-Püha Katarina kirik, 5.2-5.4 – Suure Rannavärava eesvall, 7.1-Toomkirik.



Graafik 3 : FeO protsentuaalne sisaldus proovides.
K- kiiviproovis, M-mustas kihis



Graafik 4. KMA (kipsi moodustamise aste) mustas kihis erinevatel objektidel. 1.1M-linnamüüris 2.1M-Oleviste kirik, 3.1M-Masina tn 22, 4.2-4.4M- Püha Katariina kirik, 5.2-5.7M- Suure Rannavärava eesvall, 7.1M-Toomkirik

2. Kiviproovide analüüsitulemused ja diskussioon.

Meie uurimus on esimene kogemus Eesti ehituskivide muutumisprotsesside uurimisel. McGee ja Mosotti (1992) osutasid kolmele ehituskive kahjustavate protsesside uurimise viisile: 1) laboratoorsed eksperimendid, 2) välitööd paljandites ja 3) ehituskivide analüüsid. Me alustasime Tallinna ehituskivide lagunemise uurimist mitmesuguste analüütiliste meetoditega. Uurimise algstaadiumis püüdsime saada kvantitatiivset informatsiooni ehituskivide keemilise ja mineraloogilise koostise muutuste kohta, mis on toimunud degradatsiooniprotsesside mõjul.

Käesolevas töös on esitatud Tallinna keskosa (Tallinna vanalinn ja endine Tselluloosivabrik) seitsmest ajaloolisest objektist kogutud lubjakivi ehituskivide uurimise tulemused. Keskajast tänapäevani on paasi palju kasutatud mitmesuguste objektide ehitamisel Eestis. Enamus ajaloolistest ehitistest Tallinnas (kirikud, raekoda, linnamüür ja monumendid) on ehitatud lubjakivist aga ka dolokivist. Suurepärased füüsikalised omadused ja vastupidavus murenemisele võimaldasid kasutada karbonaatseid kivimeid hoonete ehitamisel, mis on püsinud sajandeid.

Uuritud ehituskivid on karbonaatsed kivimid keskordoviitsiumi Lasnamäe ja Uhaku lademest. Proovide asukoha lühikirjeldus on toodud tabelis 5. Proove on võetud ajaloolistest ehituskividest ja kollektiooni on püütud lisada ka nn. musta kihi proove. Selleks on võetud proove kahjustatud hoonete ehituskivide õhukesest (kuni 2 mm) pealmisest kihist. Tabelites on proovid tähistatud märkidega K – kahjustatud kivi, M – must kiht ja C – kivid, milles on sekundaarselt moodustunud looduslik kips.

Kasutades mitmesuguseid analüüsimeetodeid nagu **optiline emissioonspektrograafia, röntgenfluorestsentspektrometria ja pulberröntgendifraktomeetria**. Me lootsime hinnata Tallinna vanalinna ajalooliste ja mälestisehitiste karbonaatsete ehituskivide murenemise ja lagunemise intensiivsust ning neid protsesse põhjustavaid tingimusi. Keemiliste meetodite tulemuste usaldatavust kontrolliti standardite abil. Me kasutasime ka **traditsioonilisi litoloogilisi uurimismeetodeid** (proovide makroskoopiline iaeloomustus, 9 õhiku uurimine mikroskoobi abil). Õhikute kirjeldamise eesmärgiks oli kivimite primaarsete mineraalide muutumise intensiivsuse hindamine.

Uuritud ehituskivide **keemilise analüüsi** tulemused on toodud tabelis 7. Tabel 8 annab ülevaate peamiste keemiliste elementide ülem- ja alampiirväärtusest, keskvärtusest, mediaanist ja standardhälbest. Nagu nähtub tabelist 8, on uuritud ehituskivide keemiline koostis suhteliselt püsiv ja need kivid on tüüpilised lubjakivid, vaid proovi 5.4-C puhul oli tegemist anomaaliaga. Kivi võib olla maagistunud, sellisele võimalusele viitavad raskmetallide tulemused (tabel 14). Ba sisaldus proovis on 7000 ppm, Ni 35,0 ppm. Pb 210,0 ppm, Co 4,50 ppm, Mo 7,5 ppm ja samas on Fe_2O_3 sisaldus (tabel 7) samuti kõrgem teistest proovidest 7,88%.

Proovides kõigub MgO sisaldus 0,16 kuni 2,21%-ni; mineraal dolomiidi sisaldus on tavaliselt ühe protsendi piires ja ei ületa 10%. Uuritud kivimid sisaldavad mõningal määral savisuurusega osakesi (kvarts, silikaadid ja savimineraalid). Nende hulk on muutuv. SiO_2 sisaldus kõigub suhteliselt suures vahemikus 3,04-17,30%. Samas kui Al_2O_3 (0,23-3,72%), K_2O (0,41-0,97%) ja Na_2O (0,1-1,13%) sisaldus on vähe muutlikud.

Ehituskivide proovide keemilise koostise võrdlus erinevatel objektidel on toodud tabelis 9. Nagu näeme, on neile iseloomulik erinev savisisaldus. Savi kõrge sisaldus mõjutab negatiivselt kivi vastupidavust murenemisele. Savi on seostatav järgnevate mineraalidega

— illiidi, ortoklaasi ja kvartsiga. Keemiliselt koostiselt on savi seotud järgnevate oksiididega TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O . Kõige suurem on see ehituskivide proovides PR-1.1, 2.1-2.2, PR-5.1-5.7 ja mingil määral proovides PR-4.1, 4.2, 4.4, 7.1. Need proovid on võetud linnamüüri välisküljest, Oleviste kiriku ja Suure Rannavärava eesväravaga külgnevalt eesvallilt ning ka Püha Katariina ja Toomkirikult. Al_2O_3 sisaldus ulatub seal 3%-ni, antud proovides on SiO_2 sisaldus kõrgem kui muutumatutes Lasnamäe kiviproovide analüüsi tulemustes (tabel 19). Need kivimid on ka pisut rauarikkamad kui teiste objektide proovid. Teiste objektide ehituskivid on ühtlasema koostisega. Nad on esindatud halli lubjakiviga, vaid harva on nad kollaka tooniga. L. Bitjukova publitseerimata andmetel on uuritud proovide koostis lähedane Lasnamäe lademe muutumatute kivimite 156 proovi keskmisele koostisele (tabel 19), vaid uuritud ehituskivide savisisaldus on väiksem. Muutumatute kivimite poorsus on keskmiselt 3,56% ja tihedus $2,64 \text{ g/cm}^3$. Väike poorsus annabki nendele lubjakividele hea vastupidavuse murenemisele.

Teatavasti paekivi muutumise protsessis moodustub kips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Kips tekib karbonaatse kivimi pinnal vääveldioksiidi mõjul, mis mängib tähtsat osa kivi keemilisel lagunemisel. Lubjakivi suhtes väga agressiivse väävelhappe teke on eriti intensiivne suurtes tööstuslinnades. Lasnamäe lademe muutumatutes kivimites väävli hulk ei ületa 0.5%. Uuritud kahjustatud kivides on see 1-9%, musta kooriku proovides aga 7-22%. Kõige intensiivsem kipsi teke oli Suure Rannavärava külgneval eesvallil ja Toomkiriku kivide pinnal. Suurim väävlisisaldus oli proovides PR-5.3 ja PR-5.4. Väävlisisaldus mustas kihis on lähedane sisaldusele proovides, mis on võetud Rannavärava eesvallilt, kus võib märgata silmaga nähtavat kipsi teket (5.4C). Iseloomulik on CaO sisalduse vähenemine kõikide proovide mustas kihis võrreldes kiviprooviga (tabel 9).

Suurimale väävlisisaldusele kahjustatud lubjakivide pinnal on osutanud Nord ja Holenyi [1999]. Uurimised on näidanud väävli hulga järsku suurenemist lubjakivide pinnalt sissepoole. Nad oletasid, et vihmavesi võis osaliselt lahustada kipsi pinnalt ja kanda väävli lahustunult edasi rohkem kivi sisemusse [Nord et al. 1999]. Rootsis tehtud keemilised analüüsid kinnitasid positiivse korrelatsiooni esinemist õhusaastatuse ja kivil esineva depostiidi vahel, aga ka liikluse intensiivsuse ja kahjustatud kivi vahel [Nord, 1991].

Fosfor on uuritud kivides väikese kontsentratsiooniga (0,059-0,225%). See on keskmiselt 1,5 korda väiksem kui lubjakivide proovides Stokholmis ja Norras [Nord et al. 1994]. P_2O_5 hulk on suur (1,03%) vaid ühes proovis Püha Katariina kiriku lääneseina kahe portaali vahelise niši kohalt (4.4K ja 4.4M). P_2O_5 kõrge kontsentratsioon võib-olla tingitud asjaolust, et proov on võetud fosfaatse katkestuspinna lähedusest, või on ehituskivi murtud sügavamalt.

Fe_2O_3 sisaldus uuritud kivides on väike ja sarnane rauasisaldusele muutumatutes kivimites. Raud esineb uuritud kivides peamiselt kolmevalentsena.

Mineraloogilise analüüsi tulemused (tabel 11) näitavad, et rauamineraalide hulk Tallinna ehituskivides on väga väike. Vaid mõnedes proovides leiti märkimisväärset hulgal püriiti (kuni 3,4%) ja hematiiti (kuni 3,7%). Hematiit esines musta kihi ja kipsi kihi proovides linnamüüris (tabel 12). Hematiidisisalduse keskmine tase mustas kihis on 1-2%. Suurim hematiidisisaldus (3,7%) oli proovis, mis võeti linnamüüri välisküljelt Paksust Margareeta vahetust lähedusest vasakul pool, Püha Katariina kiriku (2,3) ja Suure Rannavärava eesvärava külgnevalt eesvallilt (1,9%). Rauda võib leida uuritud kivides peamiselt teistes mineraalides isomorfse lisandina. Keemiliste elementide võrdlus

(tabel 9) näitab, et Fe_2O_3 ei ole märkimisväärses korrelatsioonis selliste elementidega, mis on silikaatsete mineraalide peamised koostisosad, ja omab negatiivset korrelatsiooni CaO-ga. Silikaatsetes mineraalides võib olla vaid väga vähe rauda. Hematiidi moodustumine mustas kihis soodustab mikroelementide adsorptsiooni.

Raua kogusumma, Fe_2O_3 ja FeO sisaldus on positiivses korrelatsioonis SO_3 -ga. Nagu nähtub graafikutest 2 ja 3, kontsentreeruvad FeO ja SO_3 intensiivselt musta kihti. FeO hulk on mustas kihis keskmiselt kaks korda suurem ja SO_3 hulk kolm kuni kümme korda suurem kui kahjustatud kivide muudes osades, CaO sisaldus (graafik 3) mustas kihis on aga väiksem kui mujal. Tõenäoliselt on see tingitud kipsi osalisest lagunemisest ja lahustumisest kahjustatud kivide pinnal. MnO-l on ilmikas positiivne korrelatsioon rauasisaldusega ja vähemal määral MgO-ga.

Rootsi uurijad Nord ja Tronner on leidnud seaduspärasuse, et kivi must toon tuleneb Fe sisaldusest kivis. Mitmed kvarts-tsement liivakivid, mis on rikkamad Fe poolest, tumenevad rohkem kui vähema Fe sisaldusega kivid. Fe esineb ka lagunemisprotsessi katalüsaatorina, kuigi see mehhanism pole veel selge [Nord, Tronner, 1991].

Must värvus tuleneb peamiselt tahmast ja kipsist [Fassina, 1994]. Et KMA (kipsi moodustamise aste) pole samuti eriti suur (tabel 12), siis ilmselt Eestis võib kivi must kiht olla põhjustatud mitte FeO-st, vaid kipsist. Muidugi ei olene musta kihi moodustumine ainult Fe sisaldusest.

Uuritud kivimite peamised mineraalid on kaltsiit, dolomiit, kvarts, ortoklass, illiit ja kips. Mineraalide jagunemise peamised parameetrid on toodud tabelis 11 ja mineraloogilise koostise statistiline jaotus objektidel tabelis 13. Ilmnes savimineraalide lisandi ja ortoklasi sisalduse suur varieeruvus.

On võimalik eristada **kaht tüüpi ehituskive**. Esimeses savimineraalide hulk kõigub 2-st kuni 11%-ni. Siia gruppi kuuluvad linnamüürist Paksust Margareetast vasakul pool. Oleviste kiriku idapoolselt kontraforsilt, Masina tänavalt ja Püha Katariina kiriku portaalidevaheliselt müüritiselt võetud proovid. Teise grupi moodustavad ülejäänud ehituskivid, mis on väga väikese savimineraalide sisaldusega (>0,5%). Ortoklasi sisaldus ei ületa 4,4%, aga suhteliselt suur on ortoklasi sisaldus Püha Katariina kiriku, Suure Rannavärava eesväravaga külgnevalt eesvallilt (PR-5.5 ja PR-5.7) ehituskivides.

Me usume, et savi sisaldus mõjutab kivi kvaliteeti ja vastupidavust murenemisele. Kuid väita seda kindlalt me ei saa, selleks on analüüsitud liialt vähe proove. Veelgi raskem on eristada looduslike või antropogeensete faktorite toimet kivile tulenevalt vajadusest jätkata proovide analüüse suuremate üldistuste tegemiseks. Kuid kivi lagunemine on eriti nähtav Oleviste kiriku, Suure Rannavärava eesväravaga külgnevalt eesvalli ehituskivis. Kas Suure Rannavärava eesvallilt võetud kiviproovi mõjutab ka lõunakaar on raske öelda?

Uuritud kivide muutumise intensiivsuse hindamiseks arvutati **KMA — kipsi moodustumise aste** (kirjanduses *DGF- degree of gypsum formation*) erinevate objektide mustas kihis valemiga:

$$DGF (\%) = \frac{100 \times (\text{kipsi } \%) }{(\text{kipsi } \% + \text{kaltsiidi } \%)}$$

Tulemused on toodud tabelis 6 ja nähtav graafikust 4. KMA kõigub 3-st 51-ni (keskmine 17). Suurimad väärtused on omased proovidele Suure Rannavärava eesvärava eevallilt

(PR-5.4-st) 51% ja linnamüürist — 30%. Meie KMA väärtused on lähedased Rootsi linnade ja maakohtades saastunud aladel määratud KMA väärtustele [Nord et al. 1994]

Antropogeense faktori kahjustavat mõju väljendab kivide mikroelementidega saastatuse aste. **Mikroelementide** hulka suurendab nende emissioon liiklusest, taimedest jne. Nad akumulatsioonid ehituskivide kahjustatud pinnale. Rauaoksiidide suur sisaldus on mikroelementide intensiivset adsorptsiooni soodustav tegur. Teatavasti on keskkonna saastamine viimasel aastasajal suurenenud läbi tööstuse ja eriti viimastel aastatel läbi liikluse. Märgatavat negatiivset mõju ehituskividele on avaldanud mitmesugused antropogeensed saasteallikad. Raskmetallid (V, Cr, Ni, Sn jne.) katalüüsivad samuti SO₂ oksüdatsiooni [Nord ja Tronner, 1991]. Tabelis 15 on toodud mikroelementide kontsentratsiooni koondandmed. Nagu näha on kõige muutlikum Cu, Pb, Ag ja B levik. Eriti suurel määral on mikroelemente nagu Ba, Co, Ga, Pb, Ni ja Zn leitud ehituskivides, kus on silmnähtavalt kipsi. Nagu ilmneb korrelatsioonimaatriksilt (tabel 18), ei ole Pb, Zn, Ag ja Sn olulises korrelatsioonis ehituskivide peamiste keemiliste komponentidega. See lubab oletada, et nende akumulatsioon on tingitud peamiselt liiklusest pärit saastest. Cu, B ja Ga on positiivses korrelatsioonis SiO₂, TiO₂ ja Al₂O₃-ga. Nende levikut mõjutab savilisandi hulk ehituskivides. Cr ja V korreleeruvad nii savilisandite kui ka rauasisaldusega. Cu on positiivses korrelatsioonis savimineraalidega (tabel 17).

Mikroelementide akumulatsioon Tallinnas on eriti ilmekas Oleviste kiriku, Püha Katariina kiriku ja Toomkiriku ehituskivides. Suurim on nende kontsentratsioon Oleviste kiriku proovides. Cu väga kõrge kontsentratsioon kivil võib olla tingitud kiriku vaskkatusest. Zn, Cu ja Pb hulk on seal kaks kuni kümme korda suurem kui Tallinna ehituskivides keskmiselt. Zn, Pb ja Cu hulk Oleviste kiriku, Püha Katariina kiriku ja

Toomkiriku ehituskivides on sarnane nende elementide kontsentratsioonile Veneetsia monumentides [Fassina et al. 1976].

Keemilise ja mineraloogilise koostise uurimine võimaldas kindlaks teha Tallinna vanalinna ajalooliste objektide mõningad tunnusjooned:

1. Kõige intensiivsemalt on lagunenud ehituskivid Suure Rannavärava eesvärava eesvallil ja linnamüüri välisküljel Paksu Margareeta läheduses.
2. Tallinna karbonaatsed ehituskivid on suhteliselt väikese KMA väärtusega võrreldes peamiste ehituskivi tüüpidega Euroopa teistes linnades ja Rootsis.
3. Mikroelementidest on intensiivsemalt akumulunud Zn, Pb ja Cu. Nende elementide suurim kontsentratsioon on täheldatav Oleviste kiriku, Püha Katariina kiriku ja Toomkiriku pinnal mustas kihis.

Proovide piiratud hulk võimaldas hinnata vaid vanalinna ehituskivide koostise variatsiooni mõningaid suundumusi. Me loodame, et saadud andmeid kasutatakse baasina tulevasteks Tallinna ehituskivide uuringuteks ja et edaspidine uurimine on Eestis jätkuv, samuti nagu teistes Euroopa maades.

8. Kindlasti tuleks jätkata kivide uuringuid, et leida suuremaid seoseid kivi loodusliku koostise ja lagunemist põhjustavate faktorite vahel, neid üldistada ning teha praktilisi järeldusi.

V TEOSTATUD KONSERVEERIMISTÖÖD

1. Sissejuhatus.

Kõikjal püütakse kehtestada standardeid, mis annaksid võimaluse säilitada kunstiväärtuslikke objekte ka tulevastele põlvkondadele. Väljas oleva kivi seisund on tunduvalt rohkem ohustatud kui interjööris, kuigi ohud on sarnased (temperatuur, niiskus, õhusaastatusest tulenevad mitmesugused gaasid, suits, otsene päikesevalgus jne). Õhusaastatusest tulenevaid ohte kivile on eelnevas osas (6. peatükk) juba kirjeldatud. Interjööris on kunstiteoste säilimiseks vajalike tingimuste hoidmine kergem. Samas on museaalne keskkond pisut erinev avalikest kohtadest, kus on tunduvalt raskem hoida ruumi kliima soodsana kunstiteosele. Ruum on tihti avatud tõmbetuulele, tugevale temperatuuride kõikumisele, tihti on ka kunstiväärtuslikes interjöörides lubatud suitsetada ja kaminas võib põleda lahtine tuli. Lõpuks mõjub see polükroomsele kividetailile samaväärselt halvasti kui väljas intensiivse liikluse läheduses olevale kivile. Ühel juhul kannatab polükroomia – pigmendid mustuvad ja tuhmuvad ning happeliste osakestest saab alguse lagunemine, teiselt poolt temperatuuri kõikumine mõjutab pigmendi sideaine säilimist. Tähtis on hoida ruumi kliima stabiilsena, võimalikult tolmuvabana [Thomson 1986]. Võimalusel tuleks hoiduda otsesest päikesevalgusest eelistades hajuvat valgust. Valgustamisel on oluline vältida objekti soojendamist.

Väljas on kivi kaitsetumas olukorras kui sees. Temperatuuri kõikumised on suuremad, esineb sademete otsene mõju, õhusaastatusest tulenevad kahjustused on ulatuslikumad jne. Õhuke must kiht sulgeb poorid ja kaitseb kivi mingi aeg erineva keskkonna toime eest. Aja jooksul kasvab CaSO_4 -e hulk suuremaks, põhjustades kivi pealmise kihi lagunemise. Igale objektile tuleb läheneda individuaalselt otsustamiseks, millal on õige aeg konserveerida. Vale oleks väita, et alati ja igal juhul on vajalik kivi konserveerida. Enne konserveerimist tuleb tuvastada kahjustused ja põhjused, mis tingivad kivi lagunemise. Kui on võimalik, püüda kõrvaldada need põhjused. Kahjustused tuleb

fikseerida fotograafiliselt ja skemaatiliselt. Tuleks leida kõige vähem kahjustav konserveerimismetoodika.

2. Konserveerimistööde aruanded.

Järgnevalt on esitatud mõned konkreetset näited kivi konserveerimistöödest erinevatelt arenguperioodidelt lähtudes materjalist ja metoodikast. Töid võib perioditseerida kolme järku:

1. enne ICROM-i/UNESCO kivitööde konserveerimise kursust Veneetsias 1997 aastal

2.1 objekt: viis aknapaalede raidplaati: esimeses töös on kasutatud kivitööde konserveerimisel sel ajal kasutusel olnud materjale. See töö jätkus alles 1999 aastal.

2. pärast nimetatud kursuse läbimist

2.2 objekt: polükroomsed aknapaale ja sillus: selles töös tuli kokkupuutuda interjööri järsu kliima muutusest tekkinud soolade probleemiga.

2.3 objekt: raidplaat Fides: käesolevas töös oli uus suhtumine varasemasse restaureerimisse.

2.4 objekt: detail etikukivist: kivi esmakordne konsolideerimine küllastunud lubjaveega.

3. pärast kontaktide tekkimist Rootsi kivitööde konserveerimisega 2000 aastal.

2.5 objekt: viis aknapaalede raidplaati (2.1 töö lõpetamine): kiviparandamine lubi baasil mördiga ja polüestri kasutusele võtt.

2.6 objekt: perekond Hunniusele kuuluva marmor-risti restaureerimine: lubjapasta kompressid vetikatest ja samblikest puhastamiseks.

2.7 objekt: etikukividest ümberkujundatud viis hauakivi ja hauaplaat: kahe hauakivi tagumise poole kipsi pehmendamine $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ja triloon B kompressiga.

2.8 objekt: Dominiiklaste kloostri Püha Katariina kiriku portaalid: kivi peal oleva mustuse pehmenemine $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ kompressidega, uute kiviparanduse materjalide praktikasse rakendamine.

Esimene objekt oli viie aknapaleplaadi konserveerimine Vene 10 1996 aasta novembris enne ICRAM-i/UNESCO kivikonserveerimise kursust 1997 aastal.

2.1 Objekt: viis aknapalede raidplaati (fotod 21-27).

Objekti asukoht: Vene 10 tornse.

Dateering: 1525

Tehnika: Polükroomne raidkivi.

Mõõdud: 67x200, 45x190, 67x 207, 28x190

Töö teostamise aeg: 1996, november.

Esiolgne seisund. Aknapalede asetus on esitatud skeemil 2. Õuepoolses akendega seinas asus kolm aknapõsekivi. Kangialuse - poolses seinas asus kaks aknapalekivi.

Õuepoolse akna vasakpoolne pale 1 (skeem 2, foto 21, 22) kujutas sugupuud perekonnavapiga, mille kohal ornamentaamistuses naeratav mehepea. Tegemist oli Lasnamäe lubjakiviga. Plaat oli polükroomne. Sondaž erinevatest monokroomsetest (4) viimistuskihist oli säilitatud plaadi serval. Plaat oli aja jooksul asendist välja vajunud. Viimistluskihte ei olnud säilinud terviklikult üheski kihis. Viimistluskihid olid pudedad ja vajasisid kinnitamist.

Keskmine aknapale 2 (skeem 2, foto 23) koosnes kahest ühesugusest poolest, mis oli kokku pandud eri aegadest pärit seitsmest raidkivist. Raidkiivid olid Orgita dolomiidist.

Konstruksiooni keskset, vastu akent asuvat kitsast plaati kattis kummaltki poolt kõrgreljeefne gooti ornament-raamistus, mille südamikus asus vapipind. Viimistluskihid järjestusid siin nii nagu vasakpoolsel aknapalekivil. Plaadil säilitati erinevad monokroomsed viimistluskihid.

Reljeefiga kaetud kivi ette oli postina asetatud kahest tükist koosnev raidkivi, et toetada aknasilluse raskuse all murdunud konsoolikivi. Võib-olla toestas konsooli varem

aknapalekonstruktsiooni kuulunud sammas. Tugikivi kattis kinni ornameenteeritud kiviplaadi esikülje reljeefi. Tugikivi ja kiviplaadi vaheline pragu oli täidetud krohviga. Reljeefse kiviplaadi pikendamiseks oli lisatud kaks väiksemat raidkivi. Kivi oli keskelt murdunud ja ära murdnud konsooli kaunistanud tilgakujulise ripatsi. Kogu konstruktsioon toetus kitsale baaskivile, mis oli samuti katki murdunud.

Samas reas parempoolse aknapalekivi 3 (skeem 2, foto 24) seisund oli hea: plaat oli säilinud tervena, vaid nurgast oli kivi pisut murdunud. Tegemist oli taas Lasnamäe lubjakiviga. Plaadile oli raiutud sugupuud kujutav seenepuu, mille oksaharud lõpevad seenemügerikega. Selle ladvale toetus vapp, mille kohal oli vanikute tagant piiluv tõsise ilmega mehepea. Viimistluskihid langesid kokku sondaažiga vasakpoolsel palekivil. Ka selle kivi vapipinnal oli säilinud kolm maalingukihti. Vanikutel polnud viimistluskihid säilinud tervikuna ja pigmendid vajasis kinnitamist.

Tänavat ja õue ühendava kangialuse poole jäi niši ja aknaga sein. Ka sellel aknal oli kaks aknapalet 4, 5 Lasnamäe lubjakivist (skeem 2).

Vasakpoolsel Lasnamäe lubjakivist aknapalel 4 (skeem 2, foto 25) oli kesksel kohal stiliseeritud roos, selle kohal ja all vapid, plaadipinna allääres lindil aastaarv 1727, kusjuures number 7 võis olla loetud ka nagu 5. Pale pealmised monokroomsed viimistluskihid olid samasugused kui eelnevatel kividel. Need olid irdunud ja eemaldati puhastamise käigus koos tolmu- ja lubjakihtidega. Alumise kihi polükroomiat säilitati vapipindadel. Kivi alumises osas kõrvaloleva pale nurgas oli plaadil kivitükk lahti, mis vajas tagasiliimimist.

Parempoolne Lasnamäe lubjakivist aknapale 5 (skeem 2, foto 26) erines teistest, kuna oli liidetud järgneva seinaniši konstruktsiooniga.

Reljeef kujutas viinamarja väänornamenti, mis plaadi laiemas osas lõppes kahe vapiga. Vappide vahel rippus raidraamistuse ilustus. Pealmised viimistluskihid olid pudedad, aluspinnast irdunud. Alumises maalikihis olid säilinud polükroomiat. Kivi allosa oli mustunud ja maalikiht hävinud.

Lisaks akende konstruktsiooni raidkividele oli säilinud osa seinaniši võlvikaart toestavast raidkonsoolist. Konsooli lõpetas väike ümar inimpeakujutis. Seinapinnast eendunud konsooli välisserv oli niši kinnimüürimisel ühtlase seinapinna saamiseks maha taotud. Sama oli juhtunud ka kõrvalasuva aknapõsekivi ülemise osaga. Paled olid tolmuks ja kaetud lubjakihiga, maalitud pind vajab kinnitamist.

Konserveerimistööd:

Konserveerimistööde eesmärk ja programm. Konserveerimiseks otsustati:

1. puhastada maalingud tolmust, lubjakihtidest;
2. pealmised viimistluskihid (monokroomne helehall, tumehall, must) eemaldada;
3. erinevatest aegadest polükroomiakihtide kinnitamine;
4. kiviparandused teha mastiksiga (tsemendi ja lubja segu);
5. parandada pale ja aknasilluse vaheline pragu lubjakrohviga;
6. parandused toneerida;

Teostatud tööd:

Puhastamine. Lahtine tolm ja lubjakiht eemaldati pintsliga. Pealmisi viimistluskihte niisutati eelnevalt piirituselahusega ja eemaldati skalpelliga. Täiesti paakunud kohtadel kasutati KMZ-pastat. Kõik aknapalekiivid rulliti lõpuks nõrga piirituselahuse tampoonega.

Konsolideerimine. Aknapalede maalikihtide kinnitamiseks kasutati 2,5%-list Primal AC 33 lahust. Irdunud maalikihti injekeeriti eelnevalt piirituselahust, et akrülaat imbuks kergemini maalikihti.

Kiviparandused. Olulisi kivivigastusi esines õuepoolsetel aknapaledel. Vasakpoolset plaati (plaat 1) läbiv pragu täideti mastiksiga. Mastiksiga parandati ja täiendati keskmise plaadi (plaat 2) murdunud ääri ja nurki, konsooli ja baasi praod. Reljeefse plaadi ja tugikivi vahelist pragu täideti klaasvatiga ja kaeti lubimördiga. Lubimördiga täideti praod kummalgi pool vasakpoolset aknapalekivi kangialusepoolses seinas, ühtlasi kinnitati seal säilinud vana krohv. Pale ja aknasilluse vahelist pragu parandati lubimördiga(1:3).

Toneerimine. Parandused toneeriti akvarellidega.

Kommentaar. Esimese töö ajal kasutati omas ajas kasutatavaid materjale näiteks mastiksit. Tööd peatusid OÜ Vana Tallinnast mitteolenevatel põhjustel aastani 1999. Murdunud konsooli kaunistanud tilgakujuline ripats jäi restaureerimata, ja lahtitunud kivitükid tagasiliimimata.

Teine võimalus kivi konserveerida tekkis pärast kivikonserveerimiskursuse läbimist 1997 aasta novembris. Teise objekti puhul oli tegemist taas polükroomse aknapalega, kus peale polükroomia kinnitamise tuli kokkupuutuda interjööri järsu kliima muutusest tekkinud soolade probleemiga.

2.2. Objekt: polükroomsed aknapaled ja sillus (fotod 28-30).

Objekti asukoht: Pikk 51 dornse

Dateering: 1543

Tehnika: raidkivi

Mõõdud: 53x194x6, 49x191x6

Töö teostamise aeg: 1997 november- detsember

Esialgne seisund: Korterit ümberehituse käigus leiti kinnimüritud aknal raidkivist maalitud sillus ja polükroomse reljeefiga aknapaled. Aknapaled olid maalitud õlivärviga. Parempoolne aknapõsk oli avamisel suhteliselt heas korras. Reljeefil oli kujutatud viinamarjaväate, kahte lindu ja meest (ilmselt jahimeest). Maaling oli mustunud, tolmune ja kaetud kohati vana lubimördiga ning kohati oli maaling irdunud raidkivist. Raidplaadi alumises kaheksandikus polnud maalingut säilinud ja kivi oli murenenud.

Alumisest maalingust puhastati välja maalingufragment. Sondaažid erinevatest viimistluskihtidest olid nähtavad samas piirkonnas. Puhastamise käigus ilmnnes, et vanima maalingu all oli kivipind kohati pihustunud pulbriks ümmarguste täppidena. Põhjust, mis kiviga oli juhtunud, ei õnnestunud täpselt selgitada. Mikroskoobi all oli näha, et tegemist ei olnud soolakristallidega.

Vasakpoolsel aknapösel oli kujutatud viinamarjavääti. Ülemises osas olid lehtede ja viinamarjade varjus kahe mehe pead, mis vaatasid vastassuunda. Reljeefi keskel oli lind ja linnu all raamis aastaarv 1543. Maalingu ja kivi seisund oli halvem võrreldes parempoolse aknapalega. Maaling oli pudendam ja plaadi ülemises kolmandikus olid väljakristalliseerunud soolad. Raidkivi oli maalitud õlivärvidega kolmel korral.

Aknasillusel olid säilinud kõik viimistluskihid. Viimistluskihid kordasid plaatide viimistluskihtide värvitoone.

Säilitati kõik kihid, erinevatest kihtidest avati sondaažid.

Konserveerimistööd:

Konserveerimistööde eesmärk ja programm. Antud conserveerimistöös otsustati:

1. säilitada erinevad viimistluskihid ja teha mõned sondaažid alumistest kihtidest;
2. teha soolade eemaldamiseks kompresse;
3. vajadusel kinnitada maaling;
4. liimida tagasi lahtitulnud kivitükke.

Teostatud tööd:

Puhastamine. Pehmete pintslitega eemaldati lahtine tolm ja skalpelliga vana mördikiht. Maalingu hoolikam puhastus tehti vatitampooni ja veega, millele oli lisatud piiritus. Probleemaatiliseks osutusid soolakristallid vasakpoolse aknapale ülemisel kolmandikul. Uurimisel selgus, et tegemist ei olnud sulfaatide või kloriididega. Kristallide väljakristalliseerumine kivipinnale võis põhjustada ruumi kliima järsk muutus kütte petioodi alguses. Korter oli eravalduses ja ruumi temperatuuri ei saanud oluliselt alandada. Soolakristallide eemaldamiseks tehti ligniinikompresse destilleeritud veega. Kompresse korrati kuni kristalle polnud enam näha. Kivi pinnal olev kergelt pulbristunud kivikiht eemaldati mehaaniliselt tugevama pintsliga.

Liimimised. Lahtitulnud kivitükid liimiti tol ajal kasutatava epoksüvaiguga värvi lisandita, mis oli laboratoorsel teel kontrollitud.

Konsolideerimine. Olemasolevat maalingut kinnitati 8%-lise Primal AC-33-ga.

Kommentaar: Probleemiks oli kivikonserveerimiskursusel tundma õpitud materjalide kättesaamatus Eestis. Selle objekti puhul oli uus, et materjali (epoksüvaik) mida liimimisel kasutati, oli kontrollitud. Enam ei kasutatud kaubandusvõrgust ostetud tumedat epoksüvaiku, kuigi sisuliselt oli tegemist sama tüüpi sünteetilise vaiguga. Soolade eemaldamiseks kasutati märga meetodit. Interjööris sellises olukorras tuleks kompresside asemel eelistada kuiva meetodit.

2.3. Objekt: raidplaat Fides (foto 32).

Objekti asukoht: Vene 2/4, vestibüül

Dateering: 19. sajandi lõpp

Tehnika: raidkivi

Mõõdud: 67x183

Töö teostamise aeg: 1998, august

Esialgne seisund. Algselt asus raidplaat maja teises trepikojas. Kuna ta oleks jäänud hilisema korteri kööki, siis otsustati ta teisaldada ja eksponeerida avalikus kohas.

Seinast välja raiumisel selgus, et kivi ei olnud terviklik (vt. skeem 3). Ilmselt oli ta teisaldatud juba varem ja oli selle käigus purunenud. Kivi erinevad osad olid omavahel seotud kipsiga. Kivi alumist parempoolset puuduvat osa kirjaga oli jäljendatud kipsis ja ülemisel kolmandikul oli modelleeritud õigusjumalanna nägu, õlg, rist ja osaliselt käelaba. Raidplaat oli mitmeid kordi üle värvitud monokroomsete õli- ja temperavärvidega pealmisest kihist alates: 1. elevandiluuvalge õlivärv; 2. roheline tempera(?); 3. umbra tempera(?); 4. musta ja tumenenud kuldookri (?) marmoreering.

Restaureerimistööd:

Restaureerimistööde eesmärk ja programm. Restaureerimistööde eesmärgiks oli raidplaat eksponeerida uues kohas tervikuna.

1. Kivi alumises parempoolses osas lagunenud kipsi eemaldamine ja mitte taastamine. Plaadi ülemises osas näo piirkonnas lagunenud kipsi uuesti modelleerimine.
1. Raidplaadi väljapuhastamine ja viimistluskihtide säilitamine.
2. Plaadi kokku liimimine ja seina müürimine.
3. Toneerimine.

Teostatud tööd:

Puhastamine. Plaadi puhastamine hilisematest viimistluskihtidest mehaaniliselt skalpelliga.

Liimimised. Plaadi restaureerimisel liimiti eelnevalt kokku väiksemad kivitükid. Selleks kasutati kahe-komponentset epoksüvaiku. Seejärel müüriti plaat viies osas seina mitme päeva jooksul, kivi sama liimiga omavahel kokku liimides (vt. skeem 3). Kuna plaat müüriti seina, mis oli piisav plaatide fikseerimiseks, siis ei kasutatud tüübeldamist.

Kiviparandused. Kiviparandused tehti kipsi-lubja-kivitolmu seguga. Plaadi alumist osa otsustati mitte taastada, kuna varem tehtu ei olnud samuti algupärane. Vana parandus näo piirkonnas liimiti osaliselt tagasi ja puudavas osas modelleeriti uuesti eelmainitud seguga.

Toneerimine. Parandused toneeriti akvarellidega.

Kommentaar: Selle töö puhul ilmnes uus suhtumine varasemasse jäljendusse: plaadi alumises osas, kus kahjustatud parandust ei asunud restaureerima, kuna tegemist oli kipsiga kui hilisema lisandusega. Näo ja ülakeha piirkonnas oleks see, aga seganud õigusjumalanna vaatlemist ja ühtlasi säilis parandus suuremas osas. Samuti olid uued parandused väiksemad, kui oleks tulnud teha allpool.

Teiselt poolt oli küsimus monokroomses viimistluskihis. Üldjuhul on Eestis varem olnud väheväärtustav suhtumine 19. sajandi monokroomsesse viimistluskihti. Nii ka sellel puhul, kuigi selle töö puhul oli küsimus raidplaadi esteetilises väljundis. Paatina väljendub nähtavates pragudes kiviplaadil. Aegade jooksul lisatud viimistluskihid on säilitatud serval. Nii on meil võimalus kogeda aja kulgu.

2.4. Objekt: detail etikukivist (foto 31).

Objekti asukoht: Uus 29 õuel linnamüüris

Dateering: 1501

Tehnika: raidkivi

Mõõdud: 50x56

Töö teostamiseaeg: 1999, juuli.

Esialgne seisund. Kivist oli säilinud ülemine osa e. pea, mille lahti tulnud tükid olid kokku liimitud ja müüritud tsemendiga linnamüüri. Reljeef oli hästi säilinud. Kivile oli pealeehitatud väike varikatus.

Kivi oli ilmastikust looduslikud kahjustatud. Kivi oli lagunenu kihistunult, uuretesse oli kogunenud orgaanika (tõenäoliselt vetikas). Vetika liigi määramiseks oleks tulnud teha analüüsid. Kivi pinnal olid sambliku jäljed.

Konserveerimistööd:

Konserveerimistööde eesmärk ja programm. Säilinud kivi seisund oli suhteliselt hea. Eesmärgiks oli kivi konserveerimine.

1. puhastamine;
2. lubjapasta kompressid orgaanika vastu;
3. irdunud kivikihi toestamine;
4. kivi konserveerimine lubjaveega.

Teostatud tööd:

Puhastamine. Kivi puhastati esialgu kuivalt harjates, et eemaldada üldine mustus ja tolm. Kivi pesti veega. Lisaks pesti lubjaveega uurdeid, kuhu oli sissekasvanud orgaanika. Selliselt ettevalmistatud kivile pandi peale kustutatud lubjapasta – kompress. Seda hoiti peal 3 ööpäeva kile all. Iga päev kontrolliti kivi seisundit kompressi all ja niisutati vajadusel. Pärast 3-ndat päeva lubjapastakompress eemaldati. Pind puhastati kuivalt ja seejärel konsolideeriti.

Liimimised. Kuna tegemist oli Lasnamäe settektivimiga, siis oli kivi irdunud kihiti. Pragu toestati alt poolt vastava seguga. Selleks kasutati dr. Thorborg von Konowi soovitusel tema poolt katseliselt väljatöötatud retsepti: 1 osa lubjapastat, 1 osa peene fraktsioonilist

fraktsioonilist kvartsi, 1 osa peene fraktsioonilist liiva, 1 osa marmorit. Käesolevas töös asendati marmor lubjakivitolmuga, et muuta see lähedaseks kohalikule kivile. Segul lasti kuivada ja järgmisel päeval injekeeriti prakku epoksüvaiku. Pärast liimi polümeriseerumist kaeti pragu kinni sama seguga.

Kiviparandused. Suuremad uurred ja praod täideti kivis eelpool nimetatud seguga.

Konsolideerimine. Kivi struktuuri tugevdamiseks kasutati küllastunud lubjavett 20 korda.

Toneerimine. Kiviparanduste toneerimine ei omanud tähtsust, kuna kivi toon oli lähedane kiviparandustega.

Kommentaar: Küllastunud lubjaveega konsolideerimine on küll kivi struktuuri tugevdav, kuid seda tuleks korrata aastas vähemalt korra uduse ilmaga. Aja jooksul uhutakse ilmastiku toimel kivi pooridest ja pragudest CaCO_3 kristallid välja ja sellega kaob küllastunud lubjavee kaitsekiht kivipinnalt.

Kuna väga oluline on kasutada kivile sobivaid kiviparandusmaterjale st. võimaluse korral lubja baasil, teiselt poolt juba eelnevalt meie kliima võõndis katsetatud ja kontrollitud materjali, siis osutus sobivaks rakendada dr. Thorborg von Konowi poolt välja pakutud kivimördiresept.

2.5. 1999 aasta suvel jätkusid tööd **Vene 10 raidplaatidega** (fotod 21-27). Vahepealsetel aastatel oli töid tehtud salaja mingi ehitusfirma. Ka plaatide juures oli tehtud “isetegevuslikke lisatöid”.

1. Aknalauaplaadi asetamisega lõhuti 3-nda raidplaadi alumine osa.
2. Raidplaatide vahelise prao vana krohvimört ja aknasillus oli kaetud “uue ja ilusama” materjaliga vetonit.
3. 4. raidplaadi aastaarv oli vahatatud tumedamaks.
4. Äramurdunud konsooli tilgakujuline ripats oli tagasiliimimata veel aastast 1996.
5. Lisaks restaureeriti kangialusepoolse akna raidraam (imposti rekonstruktsioon ja kiviparandused).

6. Kangialuse-poolse seina nišši oli asetatud Kalamaja kalmistult 1960-ndate aastatel leitud Orgita dolomiidist sarnase reljeefiga raidplaat (foto 27) nagu õuepoolse seina keskmine raidplaat. Raidkivi oli hoitud välitingimustes seega polükroomiat polnud säilinud. Plaadi ülemisele osale oli valgunud bituumenit, mis oli uuristanud dolomiiti süvendi.

Konserveerimistööd.

1. Kuna äramurdunud ripats oli väikeste mõõtmetega, siis augu puurimine tüübli jaoks oleks võinud põhjustada kividetaili purunemise. Otsustati kasutada mitte tavapärast torukujulist tüübli, vaid plaadikujulist lisatugevdust, mis järgis rohkem kividetaili vormi. Liimina kasutati esmakordselt polüestervaiku, mis asendas varem kasutatud epoksüvaiku. Interjööris poleks see olnud nii oluline, kuid väljas on epoksüvaigul tendents kollaneda ja muutuda hapramaks päikese toimetel. Teiseks, ka mitte vähem oluliseks eeliseks on polüestervaiku mugavam käsitlemine võrreldes epoksüvaiguga. Kolmandaks eeliseks on polüestervaigu lahustuvus atsetoonis veel polümeriseerumata olekus. Need väärtuslikud näpunäited tulid Rootsi restauraatoritelt, kellega olid tekkinud esimesed kontaktid Tallinna Rootsi-Mihkli kiriku projekti kaudu.
2. Väikeste kivitükkide tagasiliimimine toimus polüestervaiguga.
3. Vanad krohviparandused ja viimistletud raidsillus oli kaetud kaasaegse materjaliga vetonit. Tulemus oli ebaesteetiline ja teiselt poolt oleks nende paranduste puhul aja küsimus mil nad oleksid lahtitunud ruumi kliima muutudes. Kahe plaadivahelise prao vana krohvimõrde parandus kraabiti skalpelliga uuesti välja kohati kahjustades vanu parandusi. Kahjuks ei õnnestunud Vetoniti kui tugevama materjali eemaldamine raidsilluselt viimistluskihte kahjustamata. Siin oli selgelt nähtav Vetoniti kui uue materjali sobimatus nii materjali kui esteetiliselt seisukohalt.
4. 4. raidplaadi aastaarvu oli keegi ehitustööline "isetegevuslikult" vahatanud. Selle vaha eemaldamine mehaaniliselt (eelnevalt kivi kompressitades sooja vee tampooniga ja skalpelliga ettevaatlik kraapimine) ja keemiliselt (*white spiritiga*) andis osaliselt

soovitud tulemust. Vahatatud koht jäi ikka pisut tumedamaks. Puhastamist raskendas ka asjaolu, et aastaarvul oli säilinud roheline pigmendi jälgi.

5. Tänavat ja õue ühendava kangialuse poole jääv akna raidraam oli pikipragude tõttu küllaltki halvas seisus ja vajab nii interjööri kui õue poolt parandamist. Eesmärk oli kasutada kivile sobivat ja looduslikku materjali. Selleks kasutati eelneva töö puhul rakendatud dr. Thorborg von Konowi segu (1 osa lubjapastat, 1 osa peenefraktsioonilist liiva, 1 osa peenefraktsioonilist kvartsi, 1 osa kivitolmu). Õuepoolse aknaraami keskposti pikiprao täiteks kasutati sama retsepti pisut modifitseerituna, lisades 10% tellisetolmu, et aeglustada karboniseerumist.
6. Bituumeni täielik eemaldamine erinevate orgaaniliste lahustitega (white spirit, tärpentiin) ei andnud soovitud tulemusi kuna bituumen oli tunginud liialt sügavale kivi pooridesse. Pealne paksem kiht eemaldus skalpelli ja lahustiga (*white spirit*). Kivi kontaktpind bituumeniga jäi tumedamaks kiviga võrreldes.

2.6. Objekt: perekond Hunniusele kuuluv carrara marmorist rist (foto 33).

Objekti asukoht: Haapsalu vana kalmistu

Dateering: 1852

Tehnika: poleeritud raid carrara marmor

Mõõdud: 233 x 82

Töö teostamise aeg: 2000, juuni

Esialgne seisund: Perekond Hunniusele kuuluv carrara marmorist rist oli vandaalide tegutsemise tulemusena lõhutatud kahest kohast (skeem 4). Risti kivipind oli poorne ja mustunud, kohati poorses pinnas kasvas rohevetikat ja samblikku. Marmorit oli eelnevalt puhastatud terasharjadega, mis oli nähtav kriipimisjälgede järgi, ja lisaks oli kivipinna puhastamiseks kasutatud oletatavasti mingit hapet sisaldavat vahendit, sest marmor oli poorne. Poleeritud pind oli külgedel osaliselt säilinud.

Restaureerimistööd:

Restaureerimistööde eesmärk ja programm. Eesmärgiks oli risti taastamine ja

marmori puhastamine pealekasvanud orgaanikast:

1. lõhutud marmor–risti tüübeldamine ja tervikuks taastamine.
2. rohevetika ja sambliku pehmenamine lubjapastakompressiga.
3. kivi konserveerimine küllastunud lubjaveega.

Teostatud tööd:

Puhastamine. Sammaldunud ja mustunud pindu niisutati veega ja harjati puhtamaks. Orgaanikat pehmendati eelnevalt pulveriseeritud veega ja pandi peale lubjapastakompress. Kompressi hoiti peal 3 ööpäeva, iga päev kontrollides marmori olukorda kompressi all. Pärast kompresside eemaldamist harjati pinda erinevate pehmete harjadega, pihustades peale vett.

Liimimised, tüübeldamised. Risti ristlõikesse puuriti teemantpuuriga augud. Risti kaks eri osa tüübeldati roostevabade metallvarrastega. Murdepinnad liimiti polüesterliimi ja marmortolmu seguga.

Konsolideerimine. Väljapoole kompressi jäänud pinda pesti pihustatud veega ja pintseldata 15-20 korda küllastunud lubjaveega. Ka kompressi alust pinda konsolideeriti 5-7 korda küllastunud lubjaveega.

Kommentaari. Hauamonumendi puhastamiseks orgaanikast kasutati lubjapasta kompressi. Kirjanduse põhjal tulnuks kompressi hoida peal 2 nädalat, kuid siin polnud vetikas ega samblik kuigi sügavale juurduda. Kustutatud lubjapasta kompressi hoiti peal 3 ööpäeva. Poorset pinda konsolideeriti lubjaveega.

Siin olid nähtavad eelneva mõtlematu restaureerimise tagajärjed. Poleeritud pind, mis oleks kaitsenud marmorit oli muudetud poorseks ja urbseks traatharjade ja oletatavasti hapet sisaldava puhastusvahendiga.

2.7. Objekt: etikukividest ümberkujundatud 5 hauakivi ja hauaplaat (fotod 34-41).

Objekti asukoht: Vene 14, Püha Katariina kirik

Tehnika: raidkivi

Töö teostamise aeg: 2000, august.

I Hauakivi (foto 34)

Anonüümse Tallinna meistri töö, 16.- 17. sajandist pärit etikukivi.

Mõõtmed:

Üldkõrgus 206 cm

Jala laius 69 cm

Rist 26 X 27 cm

Paksus 15 cm

Pea Ø 69 cm

Kirjeldus. Piklik lame kiviplaat, mille ülaosa (pro pea) oli konfiguratsioonilt ümmargune. Kettakujulise pea külgede alaosas olid kolmknäsad. Kettakujuline ülaosa oli tasapinnaline, ringi keskel oli välja süvendatud võrdhaarne rist. Jalg oli alumises osas ühetaoliselt sirge, mis lõppes ülaosas kolmknäsadega. Umbes 1 m kõrgusel alläärest ja 10 cm kaugusel servast oli kokku neli kinnitusauku. Peal ja jalal sekundaarne saksakeelne tekst.

II Hauakivi (foto

Anonüümse Tallinna meistri töö, 16. – 17. sajandist pärit etikukivi.

Mõõtmed: Üldkõrgus 163 cm

Pea Ø 98 cm

Jala laius 80 cm

Paksus 14 cm

Kirjeldus. Piklik lame kiviplaat, mille ülaosa (pro pea) oli kaheksakandiline. Tipud olid liigendatud kolmknäsadega. Peal oli säilinud seitse näsa, parempoolne alumine näsa oli hävinud. Peast väljalaienev jalg omas ülaosas ühe paari kolmknäsaid. Jalg jätkus sirgena. Jala alumine osa oli hävinud. Pealispind oli ühtlaselt tasapinnaline.

Peal oli sekundaarne saksakeelne tekst.

III Hauakivi (foto 36-37).

Anonüümse Tallinna meistri töö, 16. – 17. sajandist pärit etikukivi.

Mõõtmed: Üldkõrgus 206 cm

Peas max Ø 82,5 cm

Sõõri Ø 57,5 cm

Jala laius 72

Paksus 14 cm

Kirjeldus. Piklik lame kiviplaat, mille ülaosa (pro pea) oli ümmargune. Külgedel oli väljaulatuvad kolmknäsad, vasakpoolne näsa oli irdunud. Pea ülaosas oli ilmselt samuti olnud väljaulatuvad kolmknäsad, kuid need polnud säilinud. Võib oletada, et tegemist oli olnud tüüpilise kaheksakandipealise kujulise etikukiviga. Ülaosa kolmikvöödist sisemisse sõõri oli välja raiutud taustast kõrgem võrdhaarne rist. Etikukivi ülaosa kitsenes allapoole selleks, et laieneda taas jalaks. Üleminekuosa külgedel oli paar kolmknäsaid. Edasi oli jalg sirge. Jalapinnal oli sekundaarne saksakeelne tekst. Selle all uuristatud lilleõied ja pealuu säärekontidega.

IV Hauakivi (foto 38-39).

Anonüümse Tallinna meistri töö, 16. – 17. sajand.

Mõõtmed: Üldkõrgus 197 cm

Peas max Ø 87 cm

Sõõri Ø 59 cm

Jala laius 72 cm

Paksus 13 cm

Kirjeldus: Piklik lame kiviplaat, mille ülaosa (pro pea) oli liigendatud kaheksakandilise kujuna. Nurkades oli seitse kolmknäsa. Kivi pealiskiht koos ülemiste näsadega oli murdunud. Kivi pea alumine osa kitsenes jalaks. Kitseneva osa külgedel oli paar väljaulatuvaid kolmknäsaid. Edasi oli jalg sirge. Jala parempoolne alumine nurk

oli irdunud. Kivi ülaosas oli sõõr, mille pealispind oli siledaks lihvitud. Sõõris oli sekundaarne tekst. Jalale on uuristatud pealuu, sääreluud ja vikat.

V Hauakivi (foto 39-40) .

Anonüümse Tallinna meistri töö, 16. – 17. sajandist pärit etikukivi.

Mõõtmed: Üldkõrgus 248 cm

Pea max Ø 84 cm

Jala laius 67 cm

Paksus 14 cm

Kirjeldus: Piklik lame kiviplaat. Kivi ülaosa (pro pea) oli kolmknäsadega liigendatud kaheksakandiliseks tahukaks. Alumises osas kitsenes etikukivi pea jalaks, mille ülaosa külgedel oli paar väljaulatuvaid kolmknäsaid. Kivi pea oli jalast lahti murdunud. Kivi ülaosal oli sekundaarne saksakeelne tekst. Jalal on väljaraiutud pealuu ja risti asetsevad sääreluud.

VI Dr. med. P. J. Karelli vanemate hauaplaat (foto 41).

Anonüümse Tallinna meistri töö, 19. sajand.

Mõõtmed: Kõrgus 182 cm

Laius 102 cm

Paksus 10 cm

Kirjeldus. Plaadile oli uuristatud saksakeelne tekst.

Dr. med. Philipp Jakob Karell (1806 – 1886) – üks esimesi eesti soost arste - oli Peterburis sõjaväearst ja 1849–79 tsaari ihuarst, leiutas piimravi (nn. Karelli dieet) ja võttis luumurru ravis kasutusele tõrklisemähise; kuulus Peterburi eesti haritlaste nn. Peterburi patriootide rühma (1850 – 78).

Esialgne seisund. Nimetatud kividest viis olid ajalooliselt etikukivid ja kivil näidatud isiku surma järel olid nad muudetud hauakivideks (kuues kivi oli juba algupäraselt hauakivi). Tookordse Tallinna Muinsuskaitse poolt otsustati eksponeerida neid kive koos

Püha Katariina kirikus. Seega tuli neid vaadelda ansamblina. Hauakividena kasutatud etikukividel ei olnud säilinud võimalikke varasemaid reljeefe. Arvatavasti need olid eemaldatud ja asendatud tekstidega ajast, mil nad kujundati ümber hauakivideks. Kahele kivile (I ja III) oli sisse raiutud rist, kusjuures I kivil oli hiljem raiutud maha ka kolmiknäsad ja kummagi kivi ülaosa oli raiutud ümaraks nagu suurem osa mälestuskive Saksamaal (Rostockis, Stralsundis jm.) XV ja XVI sajandil. Kolmiknäsad olid osaliselt murdunud III ja IV kivil. Hauakividel oli nähtavalt murtud jalgade allosa, seega puudus neil õige kõrgus. V kivi jalg ja pea oli murdunud kaheks. Kuna etikukivide puhul oli tegemist oli Lasnamäe settekivimiga siis olid neil osaliselt kihid murenenud ja kohati üksteisest irdunud. Kõik kivid olid kaetud kergelt lahtituleva mustusega, III-nda ja IV-nda hauakivi tagaküljel oli raskesti eemalduv must deposiit. Kuna kivid olid seisnud aastast 1960-ndatest Oleviste kiriku õuel räästa all, siis oli vesi kividelt kohati maha pesnud nii mustuse kui paatina.

Kõige paremas seisus oli dr. med. Karelli vanemate hauaplaat, millel plaadil puudusid kahjustused.

Konserveerimistööd:

Konserveerimistööde eesmärk ja programm. Peaprintsiip oli konserveeriv ja erinevate kivipindade puhtuseastme ühtlustamine, vaid V hauakivi restaureeriti.

1. Hauakivide kuivpuhastus pehmete harjadega.
2. Musta deposiidi pehmendamine kas kustutatud lubjapastaga või $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ + triloon-B kompressiga.
3. V hauakivi kokkuliimimine polüesterliimiga kasutades 2 roostevaba tüüblit.
4. Kiviparanduste tegemine lubimördiga.
5. Kirja toneerimine loetavamaks.

Teostatud tööd:

Proovipuhastamine.

1. Kivide puhastamine kuivalt erinevate pehmete harjadega andis soovitud tulemuse. Mustus eemaldus suhteliselt kergelt.
2. Musta kipsi puhul otsustati konserveerimise käigus, millist meetodit kasutada.

Puhastamine. Kerge mustus eemadati erinevat tüüpi pehmete harjadega, kivipinnadade värvitoon ühtlustus.

Musta kipsi pehmendamiseks peale pandud lubjapastakompress oli peal neli ööpäeva, kuid tulemusi ei andnud. Edaspidi tehti kompress järgmiste keemiliste ainetega:

150 g (NH₄)₂CO₃

50 g triloon – B (EDTA-happe Na- sool).

1 l H₂O

Nimetatud kompress oli peal 10 ööpäeva. Selle tagajärjel must kiht, mis on kips nagu kinnitasid eelnevad uuringud, pehmenes ja kipsi eemaldamine osutus kergemaks ning kivipind muutus palju heledamaks, kuid see polnud piisav. Tegelikult oleks pidanud kompressi kordama. Seda kompressi katsetati esmakordsed. Kuna lepinguaeg lõppes, siis peatus ka edaspidine kompresside tegemine. EDTA (etüleendiamiintertahape) asendati Triloon –B ga kui vastava happe Na-soolaga.

Liimimised, tüübdamised. Pooleks murdunud V-nda kivi poolte kokku ühendamisel kasutati kahte roostevabast 15 mm läbimõõduga ja 20 cm pikkusega tüüblit. Liimimiseks kasutati nii tüüblite kui kivide puhul polüesterliimi.

Kiviparandused. Praod täideti peene lubimördiga:

1 osa Saaremaa lubjapastat

1 osa peenikese fraktsiooniga kvartslüüva

1 osa peenikese fraktsiooniga liiva

1 osa lubjakivitolmu

Toneerimine. Kuna kivid on eksponeeritud kirikus toneeriti kiviparandused akvarellidega. Selleks, et kiri oleks paremini loetav, toneeriti ka kirja.

Kommentaar: Antud kivide puhul respektseeriti kivide funktsiooni muutust etikukivist hauakiviks. Restaureerimises esineb olukordi, kus tahetakse ajalugu nõ. tagasi pöörata, selle asemel et respektseerida juhtunud. Kahel kivil püüti pehmenada õhusaastatuse toimet kivipinnale tekkinud musta kihti keemiliste meetoditega selleks, et see eemaldada kivi kahjustamata. Eestis, aga ka mujal, on saavutanud küllaltki ulatusliku rakenduse survepesu või liivapritsi kasutamine. Kuid tihti kasutatakse tugevat survet, mis põhjustab kivile teist liiki kahjustusi. Eemaldades küll aja jooksul kasvanud musta kihi, avatakse survepesuga kivi poorid õhusaastatusele ja suuremale ilmastiku toimele. ICCROM-i poolt väljastatud dokumendis [NORMAL DOCUMENT 20/85] on määratud atmosfäärirõhu arvuline väärtus, mis ei põhjusta kivile lisakahjustusi: madalsurve ülempiir on 2,5-3 atm, liivapritsi või veesurve-liivapritsi ülempiir on 5 atm koos liivatera suurusega <0,15 mm. Surve tugevusega peab arvestama konkreetse kivi omadusi. Hauakivid olid kohati välitingimustes vee toimel heledaks uhitud, seega kiri polnud nähtav. Kasutades Rootsi restauraatorite varasemaid kogemusi ja toneeriti uuristatud kiri akvarellidega nähtavamaks.

2.8. Objekt: : Dominiiklaste kloostri Katariina kiriku portaalid (foto 4243).

Objekti asukoht: Vene 14

Dateering: Erinevatel andmetel XIV sajandi I või II pool

Tehnika: Raidkivi, Lasnamäe lubjakivi

Mõõdud: Peaportaali 26,2 m² ja kõrvalportaali kivipindala 12,5 m²

Töö teostamiseaeg: 11.06-20.07.2001

Konservaatorid: H.-E. Hansson (Rootsi Muinsuskaitse-RAÄ), M. Limberg (OÜ Vana Tallinn), S. Nilsson (Prolithos, Rootsi), S. Volmer (OÜ Vana Tallinn)

Esialgne seisund. Pärast viimast, 1955. aasta restaureerimist oli kivi seisund tunduvalt halvenenud. Kivi oli mustunud, tumenenud, porsunud enam-vähem terve portaali ulatuses. Kui aja jooksul tekkinud paatina oli kohati kaitsev, siis ilmastiku halvad olud olid põhjustanud kivi lagunemise.

Peaportaali vasakpoolsel palestikul seinapoolses servas oli vihm osaliselt maha pesnud õhukese musta kihi. Palestike sammaste tüvedel oli kihtirdumise tulemusel paljandunud kivi alumine kiht, mille poorid olid avatud keskkonna halvale mõjule. Palestike süvarihvades oli kivil paksem deposiitne kiht.

Parempoolsel palestikul uksepoolset tüvel oli kivi alumine kiht samuti vihma toimetel paljandunud. Palestike sammastikel oli kivi ilmselt korrodeerunud. See pruun paks kiht oli kohati koherentne kiviga, kohati oli ta irdunud ning kohati oli alumine kiht paljandunud, olles avatud keskkonna toimele. Samas kohas oli kivi pealispind pruuni kihi all pulbristunud. Peaportaali parempoolset talumi figuure oli rekonstrueeritud.

Vasakpoolsel talumil oli figuraalkompositsioon kivi murenemise tõttu praktiliselt olematuks muutunud. Talumi alumist ja pealmist osa oli parandatud kunstkiviseguga. Arhivoltide ja baasi osas oli kivi osaliselt murenenud ja tükke oli puudu. Talumi kohal oli kivi parandatud kunstkiviseguga. Kohati olid paranduste servad kivipinnast lahti. Palestikel olid kivipinnale kristalliseerunud soolad, mis olid kahjustanud kivipinda. Peaportaali erinevates osades olid ilmselt hävinud detailid asendatud uute raid-detailidega, mis eristusid tahumisjälgede poolest.

Kõrvalportaali seisund oli parem. Kivi oli palestikel samuti mustunud ja aja jooksul tumenenud.

Vasakpoolset palestikult oli mustus vihma poolt osaliselt maha uhutud. Kuigi kivipind oli ühtlaselt vähem mustunud ja kompaktsem. Uksepoolne profiil oli asendatud 1954/55 aastal uue raidkiviga.

Talum oli mustunud ja kohati parandatud kunstkiviseguga.

Arhivoldil olid profiilid osaliselt purunenud ja mõnes kohas olid tehtud kunstkiviseguga rekonstruktsioonid.

Uuringud.

Materjali määramine:

1. Valge pulbristunud kiht kivi pinnal, paksu pruuni kooriku all peaportaali parempoolsel palestikul.

Tulemus. Tegemist oli pulbristunud loodusliku lubjakiviga, ilmselt ümberkristalliseerunud kaltsiidiga. Sisaldas üksikuid punakaid siledapinnalisi rauarikkaid terakesi, mikrokristalse püriidi kogumikke, üksikuid kvartsi ja päevakivi teri.

1. paks tugevalt pruunistunud koorik peaportaali parempoolsel palestikul.

Tulemus. Lisauuring näitas, et koorik koosnes kaltsiidist ja kristalseid Fe mineraale ei esinenud. Proovis esines Fe lisandina ja oli sekundaarset päritolu. Peale selle oli suhteliselt kõrge kvartsi sisaldus - 19%, proovi 4.5-R analüüs näitas (tabel 10) kvartsi teistkordsel määramisel sisalduseks $26,6 \pm 0,4$ % ja tabelist 6 oli näha trivalentse Fe suhteliselt kõrge protsent (1,22%), samas kui püriit puudus või seda esines nii vähe, et ei õnnestunud määrata.

Järeldused: Katariina kiriku ruumes asus "Tallinnfilmi" mehhaanika töökoda aastatel 1940-50, kus teostati mitmesuguseid metallilõiketöid. Ilmselt toimus metallikonstruktsioonide lõikamine portaali ees nii, et metalliosakesed tungisid lõikehetkel kivisse, moodustades kihi, mis hiljem roostetas. Ka varasematel 1953 aasta fotodel polnud tumenenud laik palestikul nähtav.

3. Must kiht portaalidel. Konserveerimise käigus tekkis küsimus: kas must kiht on viimistlusjälg kivil (näiteks mustaks maalitud kividetaile esineb interjööris) ja sellele viitas ka selge kontuurjoon peaportaalil või on must kiht õhusaastatusest tekkinud kiht kivil? Peaportaali arhivoltidel olid nähtavad mitmed viimistlusjäljed. Bordoopunane viimistlus on ilmselt vanim. Seda pigmenti oli vaid kahes kohas kivil säilinud. Peaportaali oli viimistletud veel beeži lubivärvi ja rohekas-pruuni õlivärviga. Must kiht oli kivi peal ja varasemal ajal oli seda kihti püütud kraapimise teel eemaldada. Kraapimisejälgi võis täheldada ka kõrvalportaali kivipinnal.

Järeldused: Rootsis tehtud pigmendianalüüsid näitasid, et tegemist oli pigem kipsiga kui viimistlusjäljega. Seda kinnitas Lasnamäe lubjakivile mitte iseloomulik S suhteliselt kõrge protsentuaalne sisaldus: 8,12%, 16,86%, 9,62 %.

4. Proovikompressid sobivaima puhastusmeetodi valimiseks.

1. Küllastunud $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahus segatuna spetsiaalse savi ja paberimassi
2. 50 g $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ + 25 g TRILOON-B + 0,5 l H_2O segatuna savi ja paberimassiga
3. Vesi ja savi segatuna paberimassiga.
4. Värskest kustutatud lubja kompress. Pärast kompressi tulnuks kivi konsolideerida küllastunud lubjaveega 40 korda. Metoodika järgi oli ettenähtud ka kiviparandused ja kivi kaitsev kate.

Tulemused: Proovikompresside tulemused keemilised kompressid eemaldati 73 h pärast. Peaportaali palestikule pandud kompressid eemaldasid mustuse kivipinnalt täielikult. Mustuse eemaldumine toimus kergelt. Kõrvalportaalilt eemaldus mustus samuti kergelt, kuid proovide kivipinnad jäid kirjud nii küllastunud- kui triloon-B lahusega tehtud kompresside puhul. Kivipinnal oli õhuke must kiht, mille päritolu on teadmata, kuid mis oli raskesti eemalduv. Must kiht eemaldus vaid skalpelliga mehhaaniliselt sealjuures kahjustades kivipinda. Veekompressid toimisid tunduvalt aeglasemalt, kompressid olid peal 193 h. Peaportaalil olev proov jäi osaliselt mustunuks, kõrvaloleva portaali puhastusproovi pind sai puhtaks. Proovikompresside ajal püsis ilm väga kaua külm (päevaajal on 15° sooja, öösiti öökülmad). Kahjuks jäi värskest kustutatud lubja meetod proovimata kuna Saaremaal lükkus lubja põletamine konserveerimistöõde lõpustaadiumi ajaks.

Konserveerimistöõd:

Konserveerimistöõde eesmärk ja programm. Konserveerimisprogramm nägi ette:

1. peaportaali palestikul oleva tumenenud pruuni kihi uurimise;
1. portaalide puhastamise ja konserveerimise;

2. lisapuhastamise vajadusel kasutada mikro-liivapritsi Al_2O_3 -ga (2 bar 100 mesh);
3. soolade eemaldamise kompressid;
4. eelnevate paranduste säilitamise nende eemaldamise vaid juhul, kui need on servadest lahti;
5. kivi kaitseks uute paranduste tegemise;
6. vajadusel paranduste toneerimise;
7. vajadusel kivipinna konsolideerimise;
8. vuukide uuesti täitmise;
9. paranduste toneerimise.

Teostatud tööd:

Proovipuhastamised. Seda alajõhku on käsitletud eelnevates uuringutes.

Portaalide puhastamine. Otsustati portaale puhastada 8 %-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressiga. Kirjanduse põhjal kahjustab kompressimeetod kivipinda kõige vähem. Kivil olev mustus allus ka nõrgemale kontsentratsioonile, kui eelnevalt sai proovitud. Kuna Tallinna vanalinnas on juba kasutatud survepesu ja liivapritsi puhastusmeetodeid, siis tulevikus on võimalik jälgida erinevate meetodite mõju kivi säilivusele.

Kõrvalportaali talumitel ja palestikel olid 8%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressid peal 48 h, arhivoltidel oli 8%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressid peal 27 h. Kompresside toimimiseaeg peaportaali vasakpoolisel talumil ja palestikul ning parempoolisel palestikul ei olnud piisav, tulemus jäi ebaühtlane.

Peaportaalide arhivoltidel olid 1%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressid peal 144 h.

Peaportaalide talumitel ja palestikel olid 1%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressid peal 192 h. Otsustati nimetatud osadele panna teine kord 8%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega kompressid, mida hoiti peal 54 h. Peaportaali parempoolisel palestikul olev pruun paks kiht ei allunud kompresside toimele. Kõrvalportaali parempoolne talum vajab lisakompresses, kuna reljeefsed näod olid kaetud musta kihiga ja seetõttu raskesti

vaadeldavad. Uueks kompressiks tehti 25 g triloon-B'ga ja 50 g $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ga kompress 0,5 l vees, mida hoiti peal 264 h. Näod muutusid heledamaks, kuid mitte täielikult puhtaks.

Pärast puhastamist tulid paremini nähtavale kivis olevad praod, lõhed jt. parandamist vajavad olukorrad. Jäljed erinevatest viimistluskihtidest säilusid.

Soolade eemaldamine.

Peaportaali palestikel olid välja kristalliseerunud soolad. Portatiivse konduktomeetriga teostatud mõõtmised näitasid kohati palestikel keskmisest kõrgemat soolade taset. Võeti kuus proovi portaalide erinevatest kohtadest.

Enne palestike puhastamist pandi peale soolade eemaldamise kompressid. I kompress teostati destilleeritud veega. Järgnevad kompressid teostati majapidamispaberi ja tavalise kraaniveega, millele oli lisatud nakkumise suurendamiseks karboksümetüülselluloosi. Ka kaks puhastamiskompressi toimisid soolade eemaldamise kompressina. Neljas soolade eemaldamise kompress pandi peale veel enne kivi paranduste tegemist ja vuukide täitmist.

Pärast esimest kompressi ilmnis selgelt kivi pealispinna kahjustatuse aste. Võeti vastu vaheotsuse kahjustatud kivide konsolideerimise kohta kohta Steinfestiger 100-ga. Pärast kahte ülimalt nõrga $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega savi ja paberimassi kompressi ning majapidamispaberiga lisakompressi õnnestus eemaldada suurem osa väljakristalliseerunud sooladest, nii et lõpuks kadus vajadus kivi lisaks konsolideerida.

Konsolideerimine.

Kahjustatud talumikivi eelkonsolideerimine ja liimimine.

Portaali seisundi lähem vaatlus tõi esile vajaduse eelkonsolideerida peaportaali vasakpoolset talumit enne kompresse. Eelkonsolideerimine teostati 3 %-lise Paraloid B-72 lahusega atsetoonis kolm korda. Samas kohas liimiti 2 kivitükki polüesterliimiga. Samuti oli mujalgi portaalidel murenenud kivitükke tagasi liimitud.

Talumite konsolideerimine.

Pärast peaportaali kivi puhastamist konsolideeriti peaportaali talumeid 10 %-lise Paraloid B-72 lahusega.

Kiviparandused. Sügavad praod täideti kahe erineva injekeerimismördiga. Suuremate lõhede puhul kasutati kaht erinevat mörti, et vaadelda, kuidas need erinevad materjalid peavad vastu ajale. Lihtsustamaks tulevikus vaatlusi jaotati portaalid kesktelje järgi kaheks - vasakuks ja paremaks pooleks.

Portaalide vasaku poole puhul kasutati I injekeerimismörti:

1 osa hüdraulilist Ölandi lupja
3 osa Gotlandi liivakivitolmu
vesi

ja I mörti (*Stenteknik* valmisseg, Rootsi):

1 osa tsementi
(70 % valget tsementi + 30% *mur*-tsementi)
6 osa dolomiidipulbrit
12,5% Plextol 500

Portaalide parema poole puhul kasutati II injekeerimismörti:

2 osa põletatud valget savi ja Gotlandi liivakivitolmu segu (2:5)
1 osa Gotlandi lupja

ja II mörti (Thorborg von Konowi retsept): 1 osa Saaremaa lubjapastat

1 osa kvartsi
1 osa liiva
1 osa lubjakivipulbrit

Liimimised.

Kõrvalportaali vasakpoolse baasi väline nurk oli lagunenu. Mördi injekeerimine polnud piisav, sellepärast võeti nurk lahti. Lahtised kivitükid liimiti kokku polüesterpastaga, veel koospüsivate kivitükikeste kontakti suurendamiseks kasutati pragudesse injekeeritavat polüesterliimi ja II injekeerimismörti. Suuremad praod täideti II mördiga. Kõrvalportaali

Talumite konsolideerimine.

Pärast peaportaali kivi puhastamist konsolideeriti peaportaali talumeid 10 %-lise Paraloid B-72 lahusega.

Kiviparandused. Sügavad praod täideti kahe erineva injekeerimismördiga. Suuremate lõhede puhul kasutati kaht erinevat mörtil, et vaadelda, kuidas need erinevad materjalid peavad vastu ajale. Lihtsustamaks tulevikus vaatlusi jaotati portaalid kesktelje järgi kaheks - vasakuks ja paremaks pooleks.

Portaalide vasaku poole puhul kasutati I injekeerimismörtil:

1 osa hüdraulilist Ölandi lupja
3 osa Gotlandi liivakivitolmu
vesi

ja I mörtil (*Stenteknik* valmissegu, Rootsi):

1 osa tsementi
(70 % valget tsementi + 30% *mur*-tsementi)
6 osa dolomiidipulbrit
12,5% Plextol 500

Portaalide parema poole puhul kasutati II injekeerimismörtil:

2 osa põletatud valget savi ja Gotlandi liivakivitolmu segu (2:5)

1 osa Gotlandi lupja

ja II mörtil (Thorborg von Konowi retsept): 1 osa Saaremaa lubjapastat

1 osa kvartsi

1 osa liiva

1 osa lubjakivipulbrit

Liimimised.

Kõrvalportaali vasakpoolse baasi väline nurk oli lagunenu. Mörtil injekeerimine polnud piisav, sellepärast võeti nurk lahti. Lahtised kivitükid liimiti kokku polüesterpastaga, veel koospüsivate kivitükikeste kontakti suurendamiseks kasutati pragudesse injekeeritavat polüesterliimi ja II injekeerimismörtil. Suuremad praod täideti II mörtiliga. Kõrvalportaali

arhivoltide sisekülgedel parandati vanad krohviparandused tsementi sisaldava kuivseguga Scanmix (Ks 70/30).

Kuna portaalide konserveerimise aeg langes kokku asfaldi vahetusega kirikuesisel platsil kiviparketi vastu, siis kaevati tööde käigus ka baasi alust maad ~ 20 cm sügavuses. Varasema restaureerimise käigus tehtud märkmetest selgus, et baas oli mattunud ~ 60 cm sügavuselt kultuurkihti. Baasi osaline avamine näitas kivi väga halba seisundit maapinnaga kontaktis olevas ulatuses. Kivi oli täielikult murenenud. Baas pesti ja toestati tsementi sisaldava mördiga Scanmix (Ks 70/30).

Mõlema portaali talumitele kanti peale vett ärajuhtiva kaldega I või II mört vastavalt eelnevalt nimetatud pooltele.

Vuugiparandused. Vastavalt konserveerimisprintsibile säilitati olemasolevad vuugitäidised säilitati. Uus lubimört valmistati vahekorras 1 : 2,5. Suuremad kividevahelised vuugid täideti nimetatud lubimördiga. Kitsamad vuugid täideti I mördiga.

Toneerimine. Eriti peaportaali talumite reljeefidel oli vähe säilinud, aga põhilised parandused olid tehtud just nimetatud talumite kohal või all. Kuna puhta tsementparanduse külm toon konkureeris kivi soojema halli (kõrvalportaali puhul) ja kollasega (peaportaali puhul) siis otsustati parandused toneerida.

Esimese kihina kanti peale hele kivipulbrikiht, lahjendatud *Plectol 500*- lahuses, seejärel jätkati heleda pinna toneerimist naturaalsete värvimuldadega (ooker, must, umbra), lahjendatud *Plectol 500*-lahusega.

Uued vuugi täidised toneeriti neutraalseks.

Kommentaar: Antud töö oli oma haardelt ja mahult tunduvalt suurem võrreldes varem tehtuga. Tänu Rootsi restauraatorite kogemusele laiendati seni kivi konserveerimisel kasutatud materjalide ja meetodeid nii suure arhitektuurilise objekti puhul kui portaalid on.

Kahjuks jäi proovimata Inglismaal tuntud ja kasutatud värskest kustutatud lubja meetod, mis oleks olnud intrigeeriv materjali kasutuselt. Omaette küsimuseks jääb, kas seda oleks

saanud esmakordselt kasutada nii suure objekti puhul? Ka projektis osalenud Rootsi restauraatoritele oleks see olnud esmakordne kogemus.

Kompressidega puhastamine on maailmas tuntud ja rohkesti kasutatav objektide puhul, kuna see meetod on odavam kui tehnikat nõudev liivapritts. Kahtlemata on see ka materjali säästvam, mis on eriti oluline vanade ja väärtuslike omälestiste puhul. Samuti võimaldavad kompressid paremini jälgida kivi seisundit ja juhtida puhastusprotsessi. Lõpuks võib väita, et portaalide konserveerimise seisukohalt kompressid $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega olid õigustatud. Kõrvalportaali parempoolse talumi kompressid triloon-B ja $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega musta kihi eemaldamiseks toimis samas kui, vaid $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega polnud puhastamine piisav.

Kiviparanduse seisukohalt kasutati palju uusi mörte. Oluline on märkida, et need on eelnevalt läbikatsetatud materjalid kas Soomes või Rootsis. Nii mitmedki neist on lubja baasil seega on nad lähedased kivi koostisele. Antud juhul märgiti mörtide kasutusala täpselt aruandes, mis asub Tallinna Kultuurväärtuste Ametis. Tulevikus on võimalik jälgida nende materjalide sobivust lubjakiviga meie keskkonnas.

3. Kokkuvõtted konserveerimistöödest.

1. Petrograafilised uuringud. Kivi konserveerimine peaks algama petrograafilistest uuringutest. Tuleks selgitada, mis kiviga on tegemist. Õnneks pole see Tallinnas liialt komplitseeritud, kuna põhiliselt esineb kas Lasnamäe lubjakivi või dolokivi. Edaspidi tuleks lähtuda kivi omadustest, millist meetodit konserveerimisel kasutada. Kui varem jäi see pool kivi konserveerimisel tähelepanuta, siis magistratuuriõpingute jooksul tänu koostööle geoloog Helle Perensiga (RE Eesti Geoloogiakeskusest) olen tegeleenud selle valdkonnaga. Kivi liigid on määratud tagantjärei pärast konserveerimistöid.

2. Kivi kahjustused. Konserveerimise järgmises staadiumis tuleks selgitada kiviobjekti seisund ja kahjustused. Need tuleks üles märkida graafiliselt ja fotograafiliselt. See on

oluline etapp töödes, kuna siin selgitatakse tõelised kahjustused, mis vajavad parandamist, ja teiselt poolt on see oluline informatsioon ka tulevastele konservatoritele. Kahjustuste hulgas tuleks hinnata vanu parandusi. Kuna konserveerimine on varasema aktsepteerimine siis, väärtustades vanu parandusi, tuleks neid muuta vaid äärmisel vajadusel. Selline alalhoidlik suhtumine on ka majanduslikult kasulik.

Objekti seisundit on ka varasemates töödes vaadeldud ja konserveerimisel on lähtutud olemasolevast olukorrast. Siinjuures saab tuua komplitseeritud ja mitmetahulise näite Püha Katariina kiriku portaalide kahjustuste graafilisest esitlusest, mis hindas ja fikseeris kivi, varasemate kiviparanduste ja vuugi seisundit. Lähtuvalt konserveerimisest ja varasemate tööde aktsepteerimisest eemaldati eelnevaid parandusi vaid äärmisel vajadusel. Teiseks oluliseks lähteks on fotografeerimine, Katariina kiriku portaalide varasemad fotod aitasid näidata muutusi, mis on toimunud viimasest restaureerimisest.

3. Viimistluskihtide uuringud. Nagu värviuuringutest selgub, on kivi olnud kuni viimase sajandini põhiliselt viimistletud. Alates 20. sajandist on püütud ära kasutada kivi looduslikku värvi ja struktuuri. Kuid Eesti viimase aja konserveerimise praktika on kivi ikka “paljastanud”. Värviuuringud võiksid olla rekonstruktsiooni alusdokumendiks kui viimistletud kivi traditsiooni ja järjepidevuse jätkajaks. Värvikihi eemaldamine on õigustatud juhul, kui ta kahjustab kivi seisundit: näiteks väljas asuv õlivärviga viimistletud.

4. Laboriuuringud. Laboriuuringud peaksid lähtuma kahjustustest. Eelkõige peaks olema probleem, millele otsitakse vastust. Muidugi ideaalis peaks tegema täielikud laboriuuringud, kuid antud majanduslikus olukorras pole see kõikide objektide puhul mõeldav. Varasemates töödes on tehtud mõningaid uuringuid, näiteks analüüsitud soolasid Pikk 51 ühel aknapalel, kuigi need analüüsid ei andnud lõplikku vastust. Uuringutest selgus vaid, et tegemist ei ole anorgaanilise ainega. Teine näide on Püha Katariina kiriku portaalid, kus analüüsiti peaportaali kahjustatud piirkonda. Selleks tehti kahed analüüsid, mis näitasid Fe korrodeerumist kivis ja nende sekundaarset päritolu. Lisaks tehti ka keemilised ja mineraloogilised analüüsid juba magistritöö raames. Otsiti

ka vastust musta kihi päritolule portaalidel. Analüüsid näitasid, et tegemist oli kipsi sisaldava musta kihiga.

5. Arhiivi andmed. Oluliseks lisainformatsiooniallikaks on veel arhiiv: varasemad restaureerimised annavad olulist ja väärtuslikku infot. Kuna enamasti konserveeriti hiljutisi leide, siis polnud neid ka eelnevalt konserveeritud. Kuid taas saab positiivse näitena tuua Püha Katariina kiriku portaalet. 1955/56 aastal restaureeritud portaalide dokumenteerimisel oli kahjuks jäetud märkimata kivimördi koostis ja veel mõningad olulised üksikasjad. Kuid kindlasti oli nendest märkmetest ka olulist abi käesoleval konserveerimisel.

Ajaloolised andmed laiendavad objekti mõistmist ja abistab otsuste tegemisel.

6. Puhastamine. Puhastamise etapp on oluline kivi säilimise seisukohalt. Pärast puhastamist tulevad paremini ilmsiks kivi mitmesugused kahjustused, varasemate paranduste seisund jne. Loomulikult tuleb lähtuda kahjustusest. Mõnikord tuleb kivi eelnevalt konsolideerida. On oluline valida selline puhastamismeetod, mis kahjustaks kivi kõige vähem — seda nii keemiliste kui mehhaaniliste meetodite puhul. Keemilise meetodi puhul transformeeritakse mustus teiseks vormiks, mida on võimalik kergemini eemaldada. Kõigel on oma hind ja lähtuvalt objekti väärtusest tuleb valida kas kallim käsitöö (paber-savi-kompressid veega või $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -ga või $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ja EDTA-ga või asendades EDTA triloon-B-ga või kustutatud/värskelt kustutatud lubjapastaga) või odavam tööstuslik (mitmesugused veega või vee-liivaga survepesud) meetod. Kuigi ka tööstusliku survepesu meetodit on võimalik rakendada nii, et survet kompressoril kontrollides saab kivipinda kahjustamata puhastada. Eesmärgiks on puhastada vaid nii palju, et lagunemine peatuks, säilitades kivile loomuliku paatina kui aja jälje, mis kaitseb ühtlasi kivi. Selline eesmärk püstitati kõikide objektide puhul. Alustades nõrgemast meetodist liiguti tugevamate meetodite suunas. Selliseks näiteks võib tuua Oleviste kiriku õuelt Püha Katariina kirikusse toodud hauakivide tagakülje puhastamisest. Alustades lubjapasta kompressist, mis polnud piisav pandi kivile peale tõhusam $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ kompress triloon-B-ga, mis toimis. Teine analoogne näide on Püha Katariina

kiriku kõrvalportaali parempoolse talumi puhastamine mustast kihist. Kompresid 8%-lise $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ lahusega polnud piisavad ja pinna puhastus toimis paremini $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ kompressil triloon-B-ga.

Puhastamise juurde kuuluvad ka soola eemaldamise kompressid. Selleks saab tuua näited Pikk 51 aknaraidplaadi ja Püha Katariina kiriku peaportaali palestike puhastamisest. Alati ei pruugi teha kompresse, mis mõningates olukordades võivad olla ohtlikud, kuna võivad põhjustada soolade migreerumise tagasi kivi sisemusse. Kui kliima on interjööris stabiliseerunud, siis soolade mehaaniline eemaldamine harjadega on lahendus siseruumides. Põrandale tuleks eelnevalt panna kiled, mis koguvad soolad kilele, et nad ei saaks taas migreeruda kivisse. Kõiki olemasolevaid soolasid ei ole võimalik kätte saada, nii et me saame tegeleda pinnale väljakristalliseerunud sooladega.

7. Konsolideerimine. Konsolideerida tuleks seisundist lähtuvalt vaid murenenud kohti. Kaasaegne konserveerimine püüab hoiduda polümeeride liigsest lisamisest. Ka polükroomia puhul kinnitada vaid ohusolevaid värvipigmente ja kihte.

Teine oluline nüanss on kasutuses olevate polümeeride nimistu. Vaatamata kaasaegsele polümeeride arengule on aja sõelale pidama jäänud suhteliselt vähesed polümeerid. Polümeeride tootjad avaldavad survet, et uued konsolideerijad oleksid võimalikult ruttu vastu võetud praktilisse kasutusse. Kuid muinsuskaitse seisukohalt tuleb olla tähelepanelik uute toodete suhtes ja kontrollida ning katsetada neid tooteid piisavalt, enne kui hakata neid kasutama väärtuslikel objektidel. Rootsi Muinsuskaitse on aastaid teostanud katsetusi, et leida sobivaid tooteid, mida tohib kasutada muinsuskaitse all olevatel objektidel. See nõue kehtib ka 19.- 20. sajandi kivi suhtes. Suurem polümeeride kasutamise näide on Püha Katariina kiriku peaportaali talumitel (Paraloid B 72) nii eelkonsolideerijana kui konsolideerijana.

Aastaid on kasutatud kivi konsolideerimiseks “unustatud vana” — küllastunud lubjavett. Ükski meetod pole üdini hea või halb. Selle meetodi positiivne pool on loomulikkus ja sobivus lubjakivile, odavus, kättesaadavus, lihtsus, tuntus ja läbiproovitus ajas. Negatiivne pool: selleks, et toimiks, tuleb peale kanda 20-40 korda, korrata 1-2 aasta

pärast kuna vihma poolt uhutakse ära CaCO₃ kristallid. Seda meetodit oli lihtne kasutada Uus t. 29 väikese etikukivi detaili konsolideerimiseks. Valdajat on juhendatud ja soovitatud seda meetodit korrata kord aastas.

8. Liimimine. Liimitakse osaliselt või täielikult lahti olevaid fragmente selleks, et taastada tervik. Ühelt poolt on sel esteetiline, teiselt poolt kivi säilitav eesmärk. Sulgedes veele juurdepääsu kivisse hoidutakse veest põhjustatud kahjustustest.

Varasematel aegadel on tugevduseks kasutatud rauast tüübleid, kuid ajas korrodeerudes põhjustab raud mehaanilist stressi, mis omakorda lõhub kivi seest poolt. Seepärast tuleks kunagised raudpulgad asendada kaasaegsete roostevabade varrastega. See on preventatiivne töö, mis kaitseb kiviskulptuuri välistoime eest.

Parimate mehaaniliste ja siduvate omadustega vaigud on näiteks polüester-, polüuretaan- ja epoksüvaigud. Samas on neil ka omad puudused, näiteks vananemine valguse toimel mis väljendus, kollenemises ja koos sellega hapraks muutumises. Neid on parem kasutada rohkem sügavamal kivipraos.

Oma varasemates töodes olen kasutanud liimina nii epoksüvaiku (Uus 29 etikukivi, Vene2/4 plaat) kui ka polüestervaiku (Vene 10 konsooli ripats, Püha Katariina kiriku portaalide lagunenu nurk). Kui omadustelt on nad sarnased, siis polüestervaik on parem käsitseda. Tuleb tunnistada, et nimetatud polümeerid ei võimalda täita olulist konserveerimise nõuet — tagasipööratavust. Seega on polümeeride kasutamine siiski meie suutmatust leida teist lahendust liimimisele.

7. Kiviparandused. Kiviparandused peaksid olema teostatud nii koostiselt kui omadustelt kivile lähedase materjaliga. Seega parim ja sobivaim materjal peaks sisaldama lupja. Siin on võrdselt tähtis tehnoloogia - nii koostise kui käsitööskuste poolest. Ove Hidemark on rõhutanud tehnoloogia olulisust kaasaegses restaureerimises. “Tänapäeval, kui me oleme ajutiselt kaotanud kontakti homogeense tuhat aastat vana ehitustraditsiooniga, peame me restaureerimistöö tehnilisi aspekte pidama ülioluliseks täienduseks eelmiste generatsioonide rohkem esteetilisele suhtumisele.” Kasutades kivile sobivaid materjale “...saame planeerida materjali jätkuvat tõepärast vananemist, et

järgnevatele põlvkondadele edasi anda aja möödumise ja ajaloo kogemise võimalus” [Hidemark, 1995] .

Konserveerimises on tuntud ja aktsepteeritud põhimõte, et kiviparandusmaterjal peab olema mehaaniliste omaduste poolest sarnane kiviga. See põhimõte ei kehti mitte ainult kivi puhul, vaid ka conserveerimises üldisemalt. Parandades kivi tugevama materjaliga kui kivi ise, kaob aja jooksul koherentsus paranduse ja kivi vahel.

Välistingimustes on oluline, millist mörty kasutada. Kui siseruumides on kasutatud erineva koostisega parandus materjale mastiksit so. tsemendi, lubja ja kivitolmu segu Vene 10 aknapalede conserveerimisel, kipsi-kivitolmu-lubjapulbri-tsemendisegu Vene2/4 kiviplaadi restaureerimisel, siis välistingimustes on kasutatud lubimörty Vene 10 välisaknaraami restaureerimisel, Uus 29 etikukivi conserveerimisel, Haapsalu surnuaias asuva perekond Hunniusele kuuluva risti restaureerimisel, loomulikult Püha Katariina kiriku portaalide conserveerimisel, kus kasutati mitut erinevat mörty tüüpi sealhulgas ka sünteetilist polümeeri.

8.Toneerimine. See on taas vaidlusi tekitav küsimus. Kui palju eksponeerida parandusi, kas on õigem neid varjata või lasta selgelt välja paista? Või viia vahe paranduse ja originaali vahel minimaalseks nii, et vahet pole märgata. Kaasaegne restaureerimine aktsepteerib varasemaid parandusi kui aja kulgemise märki. Selle läbi võime me taas kogeda aega. Samas tuleb mõelda ka tervikule ja siis peaks vahe paranduse ja objekti vahel olema minimaalne. Ilmselt tuleb leida kompromiss selle kahe suuna vahel — luua tervikut, kuid mitte kaotada aja nähtavat märki varasemates parandustes.

Siseruumides on toneerimine tehniliselt lihtsam. Akvarellid on selleks sobivad värvid.Võimalik on segada pigment kohe mörty hulka, kuid tuleb meeles pidada, et pigmendi liig muudab mörty nõrgemaks.

See küsimus oli päevakorras Püha Katariina kiriku portaalide varasemate tsementparanduste toneerimisel. Arutlusel olid võimalused mitte toneerida, toneerida õrna lasuurse värviga, toneerida paksema kattevärviga, mis oleks kõige rohke varjanud parandusi. Lõpuks vajus vaekauss õrna lasuurse värvi poole.

VI SUMMARY

Limestone is widely used in Estonian architecture both in interior and exterior. It can be said without exaggeration that it is the most important and most widely used building and decorative stone in Estonia. Many formerly erected living houses, town walls, castle walls and other buildings, stone barrows and tombstones commemorating persons and events have remained till today. One can notice building details in limestone both outside and inside. In the interiors limestone is used in carved window pillars, window reveals, consoles, bas-reliefs, stairs, portals and other details that characterise that epoch. The art of stone carving was at its peak in art styles mainly from 13th–17th century, giving the face to the architecture of the changing time. Being a durable material, stone is in Estonian context one of the oldest architectural as well as plastical documents.

Conservation presupposes interpreting the aim of the action and getting to know the material. In conserving of the carved stone it is necessary to know the general properties of limestone. In addition to the natural weathering of the stone caused by time, the outer conditions of the environment also have their effect as we all know. How have the existing layers of the historical buildings endured time and weather conditions, what changes have the buildings gone through in time? The combination of natural and anthropogenic factors give way to the progressive destruction of the building stones of the historical objects.

Present master work has two purposes.

The first half of the work is an investigation that evaluates the condition of the stone in the buildings of old Tallinn. Chemical methods describe both geological properties of historical buildings stones as well as the effect of the environment to the structure of stone and its resistance to crumbling. Stone's resistance to environmental effects lies greatly on the physical properties of the stone (density, porosity) but the main point of this paper is not to evaluate only the physical qualities of the stone. This work should be

taken as the first important step in evaluating the condition of Tallinn's historical objects condition in complexity. Besides, till today there is no research work concerning about the question on how much the environmental conditions deteriorate the stone in Tallinn.

The second part of master's work concentrates on the results gained from the practical conservation work in which one faces the different problems of conservation, both as it comes to materials as well as from the philosophical point of view. The purpose is to use different analytical results to estimate the conservation methods and materials that have been used.

The previous conservation works have been analysed from the standpoint of their method and material. There are analyses of all together 30 samples taken from seven objects, among them both stone samples and as well as the black crust covering the surface of the stone. The limestone under discussion is from Lasnamäe layer. All samples have been taken from above the ground, reaching from 1,5-2 m. That is to concentrate only on air pollution and weather conditions and to leave out effects that are caused by ground (microbiological effect, salts in the ground etc.).

In one sample (the deteriorated pier of portal of St. Catherine's Church), the results of the analyses have been used to find answers to the questions how carry out conservation. The analyses of the chemical composition of stones contain:

- 1) RFA (X-ray fluorescence analyses) in Vilnius and St Petersburg for determining macro and micro elements
- 2) Study of the mineralogical consistency of the stones with powder X-ray diffractometry DRON 3M (in the Geological Institute of Tartu State University);
- 3) Petrographic study of the thin cross-section at magnification of 100 times;
- 4) Using statistical methods.

Among practical works that have been gathered between these covers are the most important works of stone conservation/restoration. From the standpoint of conservation every work has its own aspect — either in connection with material or from a

every work has its own aspect — either in connection with material or from a philosophical point of view. Different methods and ways of using materials have been analysed. The former studies found affirmation that the black crust is gypsum. That the chosen cleaning method is right was proved for example by the results that were gained by cleaning 2 tombstones which were made from staircase-stone (bychlage), but also by methodics that was used for conserving St. Catherine's Church. In analysing the works it was proceeded from following steps:

- 1) research (petrographic, deterioration of stone, study of paint layers and material)
- 2) cleaning
- 3) consolidation
- 4) gluing
- 5) filling
- 6) retouching.

In table 5 are described the exact places where the samples were taken. For easier finding they are given on the plan of the stone (scheme 1) and photos have been added of about the stone of which the sample is taken. Stone samples and black crust have a specific marking. (K-stone sample, M-black crust layer, C –naturally formed gypsum). The marking remains the same in the following tables and graphs. In table 6 there are different analyses about all the samples. In tables 7-19 and graphs 1-4 the results of analyses are given.

Summary of the analyse results.

1. From samples of building stones it became evident that these results are typical for Lasnamäe limestone.
2. In all the samples the appearance of SO_3 or the surface of the stone was analysed. Gypsum with dirt and soot the black tone and effects stone deterioratingly. In the analysed stone samples DFG (degree formation of gypsum) is comparatively small. In the black crust CaO diminishes.

3. Contentance of Fe_2O_3 in the studied samples is small. At the same time positive correlation between SO_3 and Fe_2O_3 takes place.
4. Consistence of clay is different in the samples. The building stones of the town wall, St. Olof's Church, a part of wall beside Suur Rannavärav, St. Catherine's Church and Dome Church contain the most.
5. Consistence of FeO_{tot} in stone samples is small. Stone can obtain black colour from FeO_{tot} , but in Tallinn it is not caused by iron.
6. It is possible to distinguish two types of building stones. In the first group the amount of clay minerals is from 2-11%. To this group belong building stones from town wall, The eastern contrafort of St. Olof's Church, Masina 22 Street and from the masonry which is between the portals of St. Catherine Church. Other group consists of building stones, which contain a very little amount of clay (>0,5%). Rest of the samples belongs to the group.
7. Accumulation of trace element is notably high in building stones. Especially in St. Catherine's, St. Olof's and Dome Church. They're the amount of Zn, Cu, Pb is 2-10 times bigger than the average in Tallinn's building stones.
8. To generalise the research of stones to find greater connections between the natural composition of the stone and factors which cause decay of stone and so to make practical conclusions we need to continue the research

The second part of the paper gives some concrete examples of conservation work from the standpoint of different developing periods in connection with material and methods.

The work can be periodised into three stages:

1. Before the ICCROM/UNESCO stone conservation course in Venice in 1997.
 - 2.1 object: five carved plates of window reveals: in the first work are used materials that were in use at that time. The work was prolonged up to 1999 yet.
2. Works after mentioned course.

2.2 object: polychromatic window reveals and lintel: in this work the problems of salts came up in connection of the abrupt changes in the climate of interior.

2.3 object: carved stone Fides: this work shows the new approach toward former restoration.

2.4 object: a detail from the staircase-stone (bychlage): the first time stone was consoled with saturated lime-water.

3. Works after contacts with Swedish stone conservators in 2000.

2.5 object: five carved plates of window reveals (2.1 finishing the work): filling stone with lime based mortar and use of polyester glue.

2.6 object: restoration of marble cross belonging to Hunnius family; lime putty compress to clean stone from algae and mosses.

2.7 object: five tombstones and a gravestone that were made from staircase-stone (bychlage): gypsum on the back sides of 2 gravestones was softened with $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ and trilon B compresses.

2.8 object: portals of St. Catherine's Church's Dominican Monastery: softening the dirt on the stone with $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ compresses, taking into use new stone repairing materials.

Summary of the Conservation works.

1. Petrographic studies. Cross section and petrographic study of the rock type. Conservation of the stone should start from petrographic studies. Luckily in Tallinn it is not complicated because here is use mostly limestone from Lasnamägi and dolomite have been used. The next step should be starting from the stone type to find out which is the best method for conservation.
2. Stone decay. Examination of stone deterioration. In the next stage of the conservation the condition and deterioration of the stone object should be made clear. It has to be done in graph and photographically. This is a very important stage in the work. In connection with deterioration the former connections should be taken into account and estimated. As conservation means accepting previously done then in evaluating

former repair works one should change these only in extreme necessity. Such a conservative attitude has also its economical value.

3. Investigation of paint layers. As it comes evident from investigation of paint, stone has had paint layers up to the last century. But the latest Estonian conservation practice has taken off the paint layer. Investigation of paint layers could be taken as base documents for reconstruction, showing that in Estonia has followed the tradition of painted stone from time to another. Taking off the paint layer is justified in the case where it damages the condition of the stone: for example the stone is outside and covered with oil colour.
4. Laboratory research. Laboratory research should start from deterioration. There must be a problem in the first place, to which the solution is being searched for.
5. Archive data. An important information source are also the archives: the formerly done restorations give important and valuable information.
6. Cleaning. Cleaning is an important stage in conserving stone. After cleaning, different type of decay and alteration phenomena, also the condition of previous corrections etc become evident. Of course one should start from decay . Sometimes it is necessary to preconsolidate the stone. It is important to choose such a cleaning method that does least harm to the stone — both chemically and mechanically. With the chemical method dirt is transformed into another form which easier to remove. The purpose of cleaning is only to stop the deterioration so that the stone preserves its natural patina as a trace of time protecting the stone at the same time.
7. Consolidation treatment. According to condition only crumbled parts of stone should be consolidated. Contemporary conservation tries to keep from adding too many polymers. If dealing with polychromy it is good to fix only the pigments and layers that are in danger.
8. Gluing. To restore the whole, partly or totally loose fragments are glued. It has on one hand an esthetic, on the other hand a preserving purpose. By closing the reach of

water are prevented. Formerly iron dowels were used for strengthening the object but in time iron corrodes, causing mechanical stress which destroys stone itself from inside. For that reason old iron sticks should be replaced with contemporary corrosion free rods. It is preventive work which protects carved stone. Thermosetting resin that have the best mechanical and binding qualities are for example polyesther, polyurethan and epoxyresins. At the same time they have also shortcomings: for example the olding effect caused by light, getting a yellowish tone and becoming more fragile because of it. These resins are better to be used in the deeper stone cracks. It must be said that these polumers do not fill the important requirement of conservation — reversibility. So using polymers only shows our inability to find another solution how to glue.

9. Filling. The filling of stone should be done with materials that are close to stone in consistency and also in material. So the best and most suitable material should contain lime. Equally important is here the technology — consistence and the art of handicraft. Ove Hindemark has stressed the importance of technology in the contemporary restoration work.
10. Retouching. This is also a point where debates start. Present restoration accepts the formerly done corrections as the mark how time has passed. At the same time also the whole of the object should be taken into account. Ad in this case the difference between restoration and object should be minimal. It is evident that a compromise should be found between these two direction — to create a whole, but not to loose the visible mark of the time of previous restoration.

Tänu.

Täna osutatud abi eest ja kaasamõtlemise eest selle magistritöö kirjutamisel —
oma juhendajat **dr. Thorborg von Konow** (Soome) kasulike soovitude ja märkuste eest;
konsultant **dr. Liidia Bitjukovat** (TTÜ Geoloogia Instituut) abi eest analüüside
teostamisel ja järelduste kirjutamisel;

dr. Anders Nord'i (Rootsi Muinsuskaitse) materjalide lahke kinkimise eest;

Eva Mölderit (Vana Tallinn OÜ) magistritöö tähelepaneliku toimetamise ja märkuste
eest;

Helle Perensit (RE Eesti Geoloogiakeskus) juhendamise eest kivi liikide määramisel
ajaloolistel objektidel;

Tarmo Kiiplit (RE Eesti Geoloogiakeskus) kiviproovide analüüside tulemusi
puudutavate märkuste eest ;

Krista Laidot (EKA Restaureerimiskool) abi eest dr. Thorborg von Konow'i doktoritöö
osa peatükkide tõlkimisel rootsi keelest;

Margus Hollandit (Vana Tallinn OÜ) ingliskeelse resüme'e toimetamise eest;

Lõpuks südamlük tänu kogu **Vana Tallinna OÜ** kollektiivile heatahtliku suhtumise ja
moraalse toetuse eest.

VII BIBLIOGRAAFIA

1. **Amoroso Giovanni G., Fassina Vasco.** Stone Decay and Conservation. Del. 1. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam-Lausanne-Oxford-New York, 1983, pp 453.
2. **Bitjukova Liidia.** Geochemical Aspects of Composition Alteration of Carbonate Rocks in the Result of Secondary Processes in the Ordovician Sedimentary Basin of Estonia. Abstract. XXI General Assembly IUGG, 2-4 July 1995, Colorado, Boulder, USA, SA51F-16.
3. **Bitjukova Liidia, Shogenova A., Puura V., Suuroja K., Saadre T.** Geochemistry of major elements in Middle Ordovician carbonate rocks: comparative analysis of alteration zones, North Estonia. Proc. Acad. Sci. Estonia Geol., V. 45, N-2, 1996. 78-91.
4. **Bitjukova Liidia, Shogenova A., Götze H.-J.** Processes influenced rock properties in early Paleozoic sedimentary basin in Estonia. 22h General Assembly of the European Geophysical Society. 21-25 April, Vienna, Austria. Annales Geophysicae. Part 1, Solid Earth Geophysics & Natural Hazards. Supplement 1 to Vol. 15, 1997. C 12.
5. **Bitjukova, L., Shogenova, A., and Götze, H.-J.** Influence of Chemical Composition on Petrophysical Properties of Early Paleozoic Carbonate Rocks in Estonia. Physics and Chemistry of the Earth, Vol 23, N 3, 1998, pp. 309-316.
6. **Bitjukova Liidia.** Geochemical aspects of dolomitization and their influence on the properties of Early Paleozoic rocks in Estonia. 15 International Sedimentological Congress. Abstract. 1998. 13-17 April, Alicante, Spain, 198.
7. **Brandi Cesare.** Theory of Restoration I-II — Edit. by Nicholas Stanley Price, M. Kirby Talley Jr., Alessandra Melucco Vaccaro. Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996, pp. 500.
8. **Zobel Rein.** *Opus Revalicum* – Tallinna teguviis. TKÜ Toimetised 1 (3), 1993, lk. 20-25.

9. **Einasto Rein.** Eesti ehituspaas läbi aegade (III). Lasnamäe ehituslubjakivi eripäradest. Keskkonnatehnika, 2000, 2, lk. 43-45.
10. **Einasto Rein, Matve Hubert.** Paekivi kasutamise ja rakendusuuringute ajaloost Eestis — A. Raukas (toim.). teaduse ajaloo lehekülgi Eestist. Geoloogia arengust Eestis, VII, ENSV TA, Tallinn, Valgus, 1989, lk. 57-75.
11. **Einasto Rein, Saadre Tõnis.** Lasnamäe ehituslubjakivi ajalooline murdmisliigestus. Eesti Geoloogiakeskuse Toimetised 4/1 EGK, Tallinn 1994.
12. **Fassina Vasco.** Environmental pollution in relation to stone decay— Durability of Building Materials, 5, Elsevier Science Publishers B. V.,1988, pp. 317-358.
13. **Fassina Vasco.** The interactions between the stone and the atmospheric pollutants. The formation of black crusts. ICCROM/UNESCO. International course of the technology of stone conservation. Lecture notes. 1997, pp. 22
14. **Fassina Vasco.** A recent survey on air pollution in Venice in relation to the deterioration of marble and stone. Lithoclastia, 2, 1976, pp. 33-44.
15. **Fassina Vasco.** The influence of atmospheric pollution and past treatments on stone weathering mechanisms of Venetian monuments— European Cultural Heritage Newsletter on Research, Vol. 8, No 2, August 1994, pp. 23-42.
16. **Hidemark Ove.** Attitudes and approaches to architectural conservation. — (Ed. Anu Ahoniemi) Conservation Training – Needs and Ethics. ICOMOS Finnish National Committee. Helsinki, 1995, pp. 147-152.
17. **Kallaste Tiit, Roots Ott, Saar Jaan, Saare Lembit.** Õhk Eesti kohal. — Õhu saastatus Eestis 1985-1990 Environmental Report 3, Environment Data Centre National Board of Waters and the Environment, Helsinki, 1992, lk 5-27.
18. **Kangropool Rasmus.** Tallinna hilisgooti etikukividest. - Vana Tallinn IV (VIII), Tallinn 1994, lk. 5-11.
19. **Kohv, N., Roots, O., Liiv, S., Laius, V.** Õhk — Eesti keskkonnaseisund XXI sajandi lävel. Keskkonnaministeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn, 2000, lk 15-36.

20. **Lindborg Ulf.** Introduction— Degradation of Materials and the Swedish Heritage 1992-1995, Edit. Erik Österlund, Rapport RIK11, 1996, pp. 5-12.
21. **Löfvendahl Runo.** Weathering of stone materials— Degradation of Materials and the Swedish Heritage 1992-1995, Edit. Erik Österlund, Rapport RIK11, 1996, pp. 12-18.
22. **McGee, E. S. and Mossotti, V. G.:** 1992, Atmospheric Environment 26B, 249.
23. **Mesimäki, P., Pyy, H., Ritola, J.** Luonnonkiven rakennusteknisen käytön kehittäminen Osa 2. Rakennuskiveltä vaadittavat ominaisuudet ja niiden määrittäminen VTT tutkimuksia 309, Espoo 1984
24. **Nord Anders G., Svärdh Anna, Tronner Kate.** Air pollution levels reflected in deposits on building stone — Atmospheric Environment Vol. 28, No.16, Elsevier Science Ltd, 1994, pp. 2615- 2622.
25. **Nord, Anders G., Holenyi, K.** 1999. Sulphur deposition and damage on limestone and sandstone in Stockholm city buildings. Water, Air, and Soil Pollution. 109, 147-162.
26. **Nord Anders G., Tronner Kate.** Introduction — Stone Weathering, Rapport RIK 4, RAÄ, Stockholm 1991, pp.9-12
27. **Nord Anders G., Tronner Kate.** Emissions, soot, and particles from traffic — idem, pp. 24-32
28. **Nord Anders G., Tronner Kate.** Thin black layers — idem, pp. 32-45.
29. **Nord Anders G., Tronner Kate.** Gypsum and crusts — idem, pp. 45-54.
30. **Otsa Enn, Truuts Toivo, Kimmel Veljo.** Raskmetallide seire Tallinna linnaõhus. Aruanne Keskkonnafondile. Eesti Keskkonnauuringute Keskus. Tallinn,1999.
31. **Pauklin Tarmo, Kõrvits Madis.** Atmosfääriõhu kaitse. — Tallinna keskkond 1990-1999. Tallinna Keskkonnaamet, Tallinn, 2000, lk.16-33.
32. **Perens Helle, Kala Elmar.** Paekivi kasutamisest Tallinnas. Vana Tallinn XII(XVI).Tallinn, Estopol 2002, lk.207.
33. **Randla Anneli.** Tallinna Dominiiklaste kloostri ehitusloo ülevaade, Vana Tallinn, V (IX) 1995 Tallinn.

- 34. Raudsep Rein, Räägel Veena, Savitskaja Lehte, Orru Mall, Kattai Vello.** Looduslikud ehitusmaterjalid —Eesti maapõuerikkusi. RE Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 1993, lk 26-35.
- 35. Ruskin John.** The Seven Lamps of Architecture. — Truth, Edit. by Nicholas Stanley Price, M. Kirby Talley Jr., Alessandra Melucco Vaccaro. Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1996, pp. 500.
- 36. Taylor, J.C.** Computer program for standardless quantitative analysis of minerals using the full powder diffraction profile. Powder Diffraction, 6, 1991, pp. 2-9.
- 37. Teedumäe Ada.** Industrial types of carbonate rocks of the Estonian SSR. - Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 35, 1986, pp. 27-34. (in Russian)
- 38. Teedumäe, Ada.** Peculiarities of the correlation of physical and mechanical properties of the limestones in the Vasalemma deposit. - Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 37, 1988, 17-25. (in Russian)
- 39. Teedumäe Ada, Kiipli Tarmo & Kallaste T.** Dolomites of the Muhu Formation (Silurian, Estonia) in mainland Estonia: Aspects of dolomitization, properties, and prospects of utilization. Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 48, 1999, pp.23-32.
- 40. Üprus, Helmi.** Raidkivikunst Eestis XII-XVII sajandini. Tallinn, Kunst, 1987, lk. 229.

KÄSIKIRJALISED TÖÖD.

- 41. Einasto Rein.** Lasnamäe ehituslubjakivi Laagna süvendis. Tallinn, 2001. Käsikiri autorilt.
- 42. Vilbaste Gustav.** Paetööstus Tallinna kivimurdudes ja jooni rahvapärasust geoloogiast. 1954, lk. 66.

Tabel 3. Mõningaid andmeid saastegaaside kohta Eestis ja Tallinnas

Saastekogused piirkondades 1990. a. (tonnides) [Kallaste jt 1992]			
	Gaasid	sealhulgas/NO _x	SO ₂
Tallinnas	31 043	2 468	19 537
Eestis	308 887	21 686	207 818

Heitkogused transpordist Eestis tonni aastas 1998 a. [Kohv jt 2000]

NO_x 31100
SO₂ 9200

1999 a. Viru jaamas mõõdetud NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid:
[Pauklin, Kõrvits 2000]

NO₂ 32,3 µg/ m³
SO₂ 1,2 µg/ m³

1996 a. Raekoja jaamas mõõdetud NO₂ ja SO₂ kontsentratsioonid:
[Pauklin, Kõrvits 2000]

NO₂ 26,0 µg/ m³
SO₂ 13,3 µg/ m³

Raskemetallid Põhja Euroopa linnades (ng/m³)[Otsa jt. 1999]

saasteaine	Oslo 1988	Helsinki 1997	Tallinn1998
Plii (Pb)	92 - 1000	1,8 – 52	11 - 230
Kaadmium (Cd)	< 4	0, 016 – 0,674	0,22 – 3,41
Tsink (Zn)	45 – 760	3,2 – 54	30 - 1008

Tabel 4. Mõningad andmed õhusaaste kohta Rootsis 1987 a.[Nord, Tronner 1991]

Võrdluseks tuues Rootsi vastavad saastegaaside heitkogused 1987a

SO₂ 219 000 t
19 000 t tööstusest
8 000 t transpordist
NO_x 310 000 t
220 000 t transpordist

Talvel on saastegaaside kontsentratsioonid järgmised:

SO₂ 20µg/ m³
NO_x 30-50µg/ m³

Tabel 5. Analüüsitavate proovide asukoha kirjeldused.

NR	OBJEKT	PROOVI ASUKOHA KIRJELDUS	FOTO NR.	SKEEM 1
PR 1.1	Linnamüür	Paksust Margareetast vasakul pool, linnamüüri välisküljelt. Kiviproov.	F 1, 2	PR-1.1-K
PR. 1.1	Linnamüür	Paksust Margareetast vasakult poolt, linnamüüri välisküljelt. Must kiht.	F 1, 2	PR-1.1-M
PR-2.1	Oleviste kirik	Oleviste kiriku ida kontraforsilt, epitaafist paremal pool. Kiviproov.	F 3	PR – 2.1 - K
PR-2.1	Oleviste kirik	Oleviste kiriku ida kontraforsilt, epitaafist paremal pool. Must kiht.	F3	PR – 2.1 - M
PR-2.2	Oleviste kirik	Oleviste kiriku põhjaküljest, paremalt 3. kontraforsilt. Murenenud kiviproov.	F 4	PR – 2.2 - K
PR-3.1	Masina 22	Masina 22 paremalt poolt, kõrvalhoonelt. Kiviproov.	F 5	PR – 3.1 - K
PR 3.1	Masina 22	Masina 22 paremalt poolt, kõrvalhoonelt. Must kiht.	F 5	PR – 3.1 - M
PR-4.1	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Kiriku portaalidevaheliselt lääneseina müüritiselt. Kiviproov.	F 6	PR – 4.1 - K
PR-4.2	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina käigust, kiriku lõunaseinas olevast 1. niši paremalt poolt sisemisest küljest. Kiviproov.	F 7	PR – 4.2 - K
PR-4.2	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina käigust, kiriku lõunaseinas olevast 1. niši sisemisest küljest paremalt poolt. Must kiht.	F7	PR – 4.2 - M
PR-4.3	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina käigust, kiriku lõuna välisseinas 1. niši kõrvalt paremat kätt. Kiviproov.	F 8	PR – 4.3 - K
PR-4.3	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina käigust, kiriku lõunapoolse välisseinast, 1. niši kõrvalt paremalt. Must kiht.	F 8	PR – 4.3 - M
PR-4.4	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina kiriku lääneseina portaalide vaheliselt niši kohalt vasakult 4. kivi. Kiviproov.	F 9	PR – 4.4 - K
PR-4.4	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina kiriku lääneseina portaalide vaheliselt niši kohalt vasakult 4. kivi. Must kiht.	F 9	PR – 4.4 - M
PR-4.5	Domin.kl.Püha Katariina kirik	Katariina kiriku peaport. parempoolse palestiku kahjustatud piirk. Roostene kivi.	F 10	PR – 4.5 - R
PR.5.2	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesvärvaga külgnevalt eesvallilt, vasakul rauduksest, ülalt 5. kivi (teise pun. tellise all). Kiviproov.	F11, 12	PR.-5.2-K

PR 5.2	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul poolt, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, vasakul rauduksest, ülalt 5.kivi. Must kiht.	F 11, 12	PR.-5.2-M
PR.5.1	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt. Must kiht.	F 12,13	PR.-5.1-M
PR.5.3	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, luukidega akna paremas nurgas. Kiviproov.	F 12, 14	PR-5.3-K
PR.5.3	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesvallilt, luukidega akna paremas nurgas. Must kiht.	F 12, 14	PR-5.3-M
PR-5.4	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt akna ja nurga vahel. Kiviproov.	F 12, 15	PR – 5.4 -K
PR 5.4	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, akna ja nurga vahel. Must kiht.	F 12, 15	PR – 5.4 - M
PR-5.4	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, paremal pool aknast. Kipsiproov(CaSO ₄ . 2H ₂ O).	F 12, 16	PR – 5.4 - C
PR-5.5	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt. Must kiht.	F 12	PR-5.5- M
PR-5.6	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, raudukse vasak serv. Kiviproov.	F 12, 17	PR-5.6 - K
PR-5.7	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, rauduksest paremal pool, ülalt 3. kivi. Kiviproov	F 12, 18	PR-5.7 - K
PR-5.7	Suur Rannavärv	Rannavärvast vasakul pool, eesväravaga külgnevalt eesvallilt, rauduksest paremal pool, ülalt 3. kivi. Must kiht.	F 12, 18	PR – 5.7 - M
PR-6.1	Toompea, Komandandi aed	Väljaspool Taaniaeda, Tallitorni alt müüritiselt. Kiviproov.	F 19	PR – 6.1 - K
PR-7.1	Toompea, Toomkirik	Toomkiriku peauksest vasakul pool, 2. aken akna välisraam. Kiviproov.	F 20	PR - 7.1 - K
PR-7.1	Toompea, Toomkirik	Toomkiriku peauksest vasakul pool, 2. aken akna välisraam. Must kiht.	F 20	PR-7.1- M

Tabel 6. Teostatud analüüsid proovidele.

X- täis analüüs, O- osaline analüüs, — - puudub analüüs.

SKEEMIL	KUUP.	ILMA- KAAR	MINERA LOOGILI NE.	MAKRO ELEMENDI D	ÕHIK	MIKRO ELEMEN
PR-1.1-K	09.2000	ida	X	X	—	X
PR-1.1-M	09.2000	ida	X	O	—	X
PR – 2.1 - K	1.06.2001	ida	X	X	X	X
PR – 2.1 - M	1.06.2001	ida	X	X	—	X
PR – 2.2 - K	1.06.2001	põhi	X	X	X	X
PR – 3.1 - K	13.7.2000	edel	X	X	X	X
PR – 3.1 -M	13.7.2000	edel	X	X	—	X
PR – 4.1 - K	17.5.2001	lääne	X	X	—	X
PR – 4.2 - K	28.5.201	lõuna	X	X	X	X
PR – 4.2 -M	28.5.2001	lõuna	X	X	—	X
PR – 4.3 - K	28.5.2001	lõuna	X	X	X	X
PR – 4.3 -M	28.5.2001	lõuna	X	O	—	X
PR – 4.4 - K	28.05.2001	lääs	X	X	—	X
PR – 4.4 -M	28.05.2001	lääs	X	X	—	X
PR – 4.5 - R	5.07.2001	lääs	X	X	—	X
PR.- 5.1- M	09.2000	lõuna	X	X	X	X
PR.- 5.2 -K	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR.-5.2- M	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR- 5.3- K	4.6.2000	lõuna	X	X	X	X
PR- 5.3- M	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR – 5.4 - K	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR – 5.4 - M	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR – 5.4 - C	4.6.2000	lõuna	X	X	—	X
PR-5.5 - M	29.5.2001	lõuna	X	X	—	X
PR-5.6 - K	29.5.2001	lõuna	X	X	—	X
PR-5.7 - K	29.5.2001	lõuna	X	X	X	X
PR 5.7 - M	29.5.2001	lõuna	X	X		X
PR – 6.1 - K	28.05.2001	lääs	X	X	X	X
PR - 7.1 - K	28.05.2001	lõuna	X	X	—	X
PR - 7.1 - M	28.05.2001	lõuna	X	X	—	X

PROOV	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ tot	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI	SUM	IR
1.1-K	4.67	0.068	1.61	1.37	0.06	1.31	0.18	1.39	48.5	0.1	0.57	0.39	0.4	40.8	100.05	
1.1-M				0.84	0.12	0.71		0.47	43.3					35.03	85.79	6.12
2.1-K	8.69	0.14	3.55	1.28	0.08	1.19	0.069	0.97	46.2	0.1	0.91	0.19	0.98	37.4	100.47	
2.1-M	7.98	0.12	3.22	0.93	0.08	0.84	0.066	0.88	46.1	0.1	0.8	0.26	2.9	37.4	100.76	
2.2-K	9.75	0.15	3.72	1.12	0.11	1	0.085	1.32	44.9	0.1	0.97	0.23	0.24	38	100.59	
3.1-K	3.04	0.049	0.24	0.71	0.02	0.69	0.083	0.92	52.6	0.1	0.41	0.14	0.65	41.3	100.24	
3.1-M	5.68	0.078	0.91	1.13	0.11	1.01	0.091	1.14	46.7	0.1	0.64	0.27	7.4	36.6	100.74	
4.1-K	4.25	0.078	0.69	0.82	0.23	0.57	0.077	0.91	51	0.1	0.55	0.3	1.33	40.3	100.4	
4.2-K	4.02	0.064	0.54	0.66	0.07	0.59	0.079	0.85	51.1	0.1	0.6	0.17	0.73	41.1	100.01	
4.2-M	6.13	0.074	0.74	0.74	0.23	0.49	0.076	0.84	48.8	0.1	0.63	0.2	3.98	38.3	100.61	
4.3-K	3.86	0.071	0.47	1.02	0.03	0.99	0.078	0.89	51.8	0.1	0.55	0.35	0.65	40.3	100.14	
4.3-M				0.84	0.21	0.61		0.16	45.4					35.46	88.39	6.56
4.4-K	4.02	0.063	0.58	0.69	0.17	0.49	0.065	0.75	51.8	0.1	0.56	0.68	0.58	40.2	100.08	
4.4-M	3.65	0.055	0.46	0.64	0.12	0.51	0.06	0.65	52.2	0.1	0.53	1.03	1.73	39.3	100.4	
4.5-R	17.3	0.056	0.82	1.34	0.11	1.22	0.058	1.54	44.1	0.25	0.45	0.14	2.73	31.3	100.08	
	0.1	0.01	0.1	0.03	0.01	0.01	0.01	0.1	0.01	0.1	0.01	0.05	0.01	0.3		
5.1-M	5.55	0.054	1.77	1.04	0.16	0.87	0.085	1.2	40.8	0.18	0.59	0.13	13.43	36.4	101.22	
5.2-K	5.08	0.061	1.51	0.88	0.1	0.76	0.085	1.09	43.9	0.14	0.56	0.12	9.15	37.7	100.28	
5.2-M	5.1	0.06	1.5	1.04	0.08	0.94	0.1	1.2	42.7	0.13	0.57	0.14	11.08	36.5	100.12	
5.3-K	7	0.11	2.26	1.28	0.15	1.11	0.11	1.9	45.8	0.1	0.78	0.11	0.5	40.2	100.15	
5.3-M	6.4	0.088	3.39	1.29	0.29	0.97	0.094	1.55	36.3	0.1	0.78	0.19	22.13	28.6	100.91	
5.4-K	3.26	0.045	2.14	1.03	0.01	1.02	0.079	0.94	49.9	0.1	0.44	0.094	2.55	39.9	100.48	
5.4-M	5.56	0.036	3.04	1.7	0.24	1.43	0.09	1.36	39.4	0.12	0.61	0.18	18.64	31.06	101.8	
5.4-C	7.23	0.045	3.26	8.02	0.13	7.88	0.17	1.28	35.9	1.13	0.49	0.096	18.35	23.4	99.37	
5.5-M	7.51	0.11	3.43	1.52	0.26	1.23	0.1	2.21	40.9	0.1	0.87	0.093	7.53	36.4	100.77	
5.6-K	5.32	0.065	0.74	0.93	0.05	0.88	0.076	1.42	48.5	0.15	0.66	0.11	2.73	39.7	100.4	
5.7-K	5.13	0.068	0.78	1.15	0.08	1.06	0.086	1.61	49.7	0.1	0.61	0.067	0.73	40.3	100.33	
5.7-M				1	0.16	0.82		0.78	44.5					36.1	90.51	8.12
6.1-K	5.24	0.076	0.87	1.05	0.11	0.93	0.091	1.34	49.2	0.1	0.7	0.16	1.03	40.6	100.45	
7.1-K	4.49	0.079	1.06	0.86	0.12	0.73	0.082	1.39	49.9	0.1	0.56	0.059	0.9	41	100.48	
7.1-M	10.9	0.078	0.23	1.36	0.09	1.26	0.088	1.73	38.7	0.1	0.78	0.18	13.03	32.6	99.77	

Tabel 7. Kivi- ja musta kihi proovide keemiliste analüüside tulemused.

	Keskmine väärtus	Madalaim väärtus	Kõrgeim väärtus	Stand hälve e. viga
SiO₂	6.18	3.04	17.30	2.95
TiO₂	0.076	0.036	0.150	0.028
Al₂O₃	1.61	0.23	3.72	1.18
Fe₂O₃tot	1.28	0.64	8.02	1.30
FeO	0.13	0.01	0.29	0.07
Fe₂O₃	1.14	0.49	7.88	1.30
MnO	0.089	0.058	0.180	0.028
MgO	1.16	0.16	2.21	0.43
CaO	46.02	35.90	52.60	4.74
Na₂O	0.15	0.10	1.13	0.20
K₂O	0.64	0.41	0.97	0.14
P₂O₅	0.225	0.059	1.030	0.205
SO₃	5.41	0.24	22.13	6.53
LOI	37.11	23.40	41.30	4.18

Tabel 8. Makroelementide statistiline jaotus Tallinna ehitiste kivi- ja musta kivi proovides.

Objekt	Proov	Number	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
1	K	1	4.67	0.068	1.61	1.37	0.06	1.31	0.180	1.39	48.5	0.1	0.57	0.39	0.4	40.8
	M	1				0.84	0.12	0.71		0.47	43.33					35.03
2		Min	8.69	0.140	3.55	1.12	0.08	1.00	0.069	0.97	44.90	0.10	0.91	0.19	0.24	37.40
		Max	9.75	0.150	3.72	1.28	0.11	1.19	0.085	1.32	46.20	0.10	0.97	0.23	0.98	38.00
		Keskm	9.22	0.145	3.64	1.20	0.09	1.09	0.077	1.15	45.55	0.10	0.94	0.21	0.61	37.70
3	M	1	7.98	0.120	3.22	0.93	0.08	0.84	0.066	0.88	46.10	0.10	0.80	0.260	2.90	37.40
	K	1	3.04	0.049	0.24	0.71	0.02	0.69	0.083	0.92	52.60	0.10	0.41	0.140	0.65	41.30
	M	1	5.68	0.078	0.91	1.13	0.11	1.01	0.091	1.14	46.70	0.10	0.64	0.270	7.40	36.60
4		Min	3.86	0.056	0.47	0.66	0.03	0.49	0.058	0.75	44.10	0.10	0.45	0.14	0.58	31.30
		Max	17.30	0.078	0.82	1.34	0.23	1.22	0.079	1.54	51.80	0.25	0.60	0.68	2.73	41.10
		Keskm	6.69	0.066	0.62	0.91	0.12	0.77	0.071	0.99	49.96	0.13	0.54	0.33	1.20	38.64
		Min	3.65	0.055	0.46	0.64	0.12	0.49	0.060	0.16	45.37	0.10	0.53	0.20	1.73	35.46
		Max	6.13	0.074	0.74	0.84	0.23	0.61	0.076	0.84	52.20	0.10	0.63	1.03	3.98	39.30
		Keskm	4.89	0.065	0.60	0.74	0.19	0.53	0.068	0.55	48.79	0.10	0.58	0.62	2.85	37.69
5	C	1	7.23	0.045	3.26	8.02	0.13	7.88	0.170	1.28	35.90	1.13	0.49	0.096	18.35	23.40
		Min	3.26	0.045	0.74	0.88	0.01	0.76	0.076	0.94	40.80	0.10	0.44	0.07	0.50	36.40
		Max	7.00	0.110	2.26	1.28	0.16	1.11	0.110	1.90	49.90	0.18	0.78	0.13	13.43	40.30
		Keskm	5.22	0.067	1.53	1.05	0.09	0.95	0.087	1.36	46.43	0.13	0.61	0.11	4.85	39.03
		Min	5.10	0.036	1.50	1.00	0.08	0.82	0.090	0.78	36.30	0.10	0.57	0.09	7.53	28.60
		Max	7.51	0.110	3.43	1.70	0.29	1.43	0.100	2.21	44.51	0.13	0.87	0.19	22.13	36.50
6		Keskm	6.14	0.074	2.84	1.31	0.21	1.08	0.096	1.42	40.76	0.11	0.71	0.15	14.84	33.73
	K	1	5.24	0.076	0.87	1.05	0.11	0.93	0.091	1.34	49.20	0.10	0.70	0.160	1.03	40.60
7	K	1	4.49	0.079	1.06	0.86	0.12	0.73	0.082	1.39	49.90	0.10	0.56	0.059	0.90	41.00
	M	1	10.90	0.078	0.23	1.36	0.09	1.26	0.088	1.73	38.70	0.10	0.78	0.180	13.03	32.60

Tabel 9. Keemilise kompositsiooni jaotus erinevatel objektidel.

1- Linnamüür, 2- Oleviste kirik, 3-Masina 22,
4- Püha Katarina kirik, 5- Suure Rannavärava eesvall, 6- Komandandi aed, 7- Toomkirik. K-kiviproov, M- must kiht, C- kips.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3tot}	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
SiO ₂	1.00													
TiO ₂	0.33	1.00												
Al ₂ O ₃	0.25	0.52	1.00											
Fe ₂ O _{3tot}	0.17	-0.17	0.38	1.00										
FeO	0.10	0.11	0.34	0.08	1.00									
Fe ₂ O ₃	0.16	-0.18	0.36	1.00	0.02	1.00								
MnO	-0.10	-0.12	0.28	0.64	0.01	0.65	1.00							
MgO	0.43	0.23	0.31	0.17	0.29	0.15	0.35	1.00						
CaO	-0.47	-0.06	-0.61	-0.53	-0.45	-0.51	-0.37	-0.55	1.00					
Na ₂ O	0.17	-0.27	0.26	0.97	0.02	0.97	0.55	0.05	-0.45	1.00				
K ₂ O	0.33	0.88	0.58	-0.12	0.28	-0.14	-0.06	0.41	-0.33	-0.25	1.00			
P ₂ O ₅	-0.23	-0.08	-0.26	-0.20	0.04	-0.20	-0.19	-0.51	0.38	-0.16	-0.13	1.00		
SO ₃	0.12	-0.28	0.39	0.47	0.49	0.45	0.30	0.28	-0.88	0.42	0.04	-0.23	1.00	
LOI	-0.50	0.14	-0.47	-0.72	-0.40	-0.69	-0.31	-0.30	0.87	-0.68	-0.06	0.20	-0.84	1.00

Tabel 10. Kiviproovi ja musta kihi makroelementide korrelatsioonimaatriks.

PROOV	Hematiit	±	Kvarts	±	Kips	±	Kaltsiit (hex)	±	Ca-dolomiit	±	Illit (savi)	±	Ortoklass	±	Püriit	±	Global Chi ² :
1-1k			1.2	0.2			68.8	1.2	19.6	0.5	8.7	1.4	1.8	0.7			4.2
1-1m	2.1	0.3	2.5	0.3	23.5	0.5	55.2	0.9	11.0	0.6	2.3	1	3.5	0.9			3.08
2-1k			5.0	0.2			79.8	0.6	7.3	0.3			4.4	0.6	3.4	0.3	2.46
2-1m	0.8	0.3	3.2	0.3	4.4	0.4	74.2	1.6	3.7	0.5	12.8	1.6	<1				3.2
2-2k			3.5	0.2			65.6	1.2	12.5	0.4	14.7	1.3	1.8	0.7	1.9	0.3	2.92
3-1k			1.3	0.2			84.8	1.1	3.7	0.3	8.9	1.1			1.3	0.3	3.19
3-1m			1.2	0.2	7.9	0.3	64	1.1	15.3	0.4	8.4	1.3	1.8	0.7	1.4	0.3	2.81
4-1k			1.4	0.2	2.8	0.3	75.1	1.1	9.7	0.4	11.0	1.2					3.29
4-2k			2.1	0.3	<1		90.2	0.8	3.4	0.4	<1		4.3	0.7			2.89
4-2m	1.3	0.3	3.8	0.2	12.2	0.3	75.9	0.7	3.9	0.4			2.9	0.7			2.93
4-3k			2.2	0.2			87.7	0.8	4.3	0.4			3.9	0.7	2	0.3	2.62
4-3m	1.0	0.4	1.5	0.3	14.3	0.5	73.3	1	6.3	0.5	<1		3.6	0.9			2.92
4-4k	1.5	0.3	2.4	0.3			85.4	0.8	6.3	0.4	<1		4.4	0.7			2.84
4-4m	2.3	0.3	1.9	0.2	2.9	0.4	89.9	0.8					3.1	0.7			2.42
4-5 r	<1		26.6	0.4	2.9	0.5	64.8	0.8	3.3	0.5			2.5	0.9			2.98
5-1 m	1,1	0,28	3,2	0,26	14,6	0,37	68	0,73	9,4	0,43			3,6	0,75			2,96
5-2 k			1.5	0.2	8.5	0.4	72.6	1	9.8	0.4	4.2	0.9	2.4	0.7	1.1	0.3	3.93
5-2 m			1.8	0.3	12.7	0.4	64.7	0.7	17.4	0.4			3.4	0.8			3.44
5-3 k			1.8	0.3	1.0	0.4	64.2	1.1	21.7	0.5	11.2	1.4					3.75
5-3 m	1.1	0.3	3.0	0.3	27.3	0.4	55.2	0.5	13.4	0.5							2.55
5-4 k	1.4	0.3	2.0	0.3	4.7	0.4	86.7	0.6	5.2	0.4							2.57
5-4 m	1.9	0.39	11.0	0.35	39.0	0.52	38.0	0.50	10.1	0.58							2.84
5-4 c	3.7	0.6	2.3	0.6	4.3	0.8	78.6	1.8	6.7	1			4.4	1.6			3.85
5-5 m			3.2	0.3	9.5	0.4	63.6	0.7	19	0.5			4.6	0.8			2.82
5-6 k	1.0	0.3	1.9	0.2	3.7	0.4	82.2	0.8	8.2	0.4			2.9	0.7			2.58
5-7 k			2.1	0.2			72.5	0.6	19.7	0.4			4.1	0.6	1.7	0.3	2.6
5-7 m	0.9	0.3	6.1	0.3	12.3	0.4	66.7	0.7	11.1	0.4			2.9	0.8			2.84
6-1 k			5.7	0.3	1.7	0.5	78.3	1	12.2	0.5			2	0.9			3.6
7-1k			2.1	0.2	2.5	0.4	79.3	0.5	16.1	0.4			<1				2.73
7-1m	<1		4.9	0.3	17.6	0.4	64.6	0.6	12.1	0.5			<1				2.93

Tabel 11. Kivi ja musta kivi proovide mineraloogilise analüüsitulemused.

Objekt	Proov	Hematiit	Kvarts	Kips	Kaltsiit (hex)	Ca-dolomiit	Illiid (savi)	Ortoklass	Püriit	KMA(%)
Linnamüür	1.1M	2.1	2.5	23.5	55.2	11.0	2.3	3.5	0.0	30
Oleviste kirik	2.1M	0.8	3.2	4.4	74.2	3.7	12.8	0.5	0.0	6
Masina 22	3.1M	0.0	1.2	7.9	64	15.3	8.4	1.8	1.4	11
Dominiikl. kloostri Püha	4.2M	1.3	3.8	12.2	75.9	3.9	0.0	2.9	0.0	14
Katariina kirik	4.3M	1.0	1.5	14.3	73.3	6.3	0.5	3.6	0.0	16
	4.4M	2.3	1.9	2.9	89.9	0.0	0.0	3.1	0.0	3
	5.2M	0.0	1.8	12.7	64.7	17.4	0.0	3.4	0.0	16
Suure Rannavä-rava	5.3M	1.1	3.0	27.3	55.2	13.4	0.0	0.0	0.0	33
eesvalli	5.4C	3.7	2.3	4.3	78.6	6.7	0.0	4.4	0.0	5
läänesein	5.4M	1.9	11.0	39.0	38.0	10.1	0.0	0.0	0.0	51
	5.6M	1.0	1.9	3.7	82.2	8.2	0.0	2.9	0.0	4
	5.7M	0.9	6.1	12.3	66.7	11.1	0.0	2.9	0.0	16
Toomkirik	7.1M	0.5	4.9	17.6	64.6	12.1	0.0	0.5	0.0	21

Tabel 12. Kiviproovi ja musta kihi mineraloogiline koostis ja KMA % (kipsi moodustumise aste) ehitistel.

Objekt	Proovide arv	Hematiit	Kvarts	Kips	Kaltsiit (hex)	Ca-dolomiit	Illiid (savi)	Ortoklass	Püriit
1	K 1	0	1.2	0	68.8	19.6	8.7	1.8	0
	M 1	2.1	2.5	23.5	55.2	11	2.3	3.5	0
2		0.0	3.5	0.0	65.6	7.3	0.0	1.8	1.9
	K 2	0.0	5.0	0.0	79.8	12.5	14.7	4.4	3.4
		0.0	4.3	0.0	72.7	9.9	7.4	3.1	2.7
3	M 1	0.8	3.2	4.4	74.2	3.7	12.8	0.5	0.0
	K 1	0.0	1.3	0.0	84.8	3.7	8.9	0.0	1.3
4	M 1	0.0	1.2	7.9	64.0	15.3	8.4	1.8	1.4
		0.0	1.4	0.0	64.8	3.3	0.0	0.0	0.0
	K 5	1.5	26.6	2.9	90.2	9.7	11.0	4.4	2.0
		0.4	6.9	1.2	80.6	5.4	2.4	3.0	0.4
		1.0	1.5	2.9	73.3	0.0	0.0	2.9	0.0
5	M 3	2.3	3.8	14.3	89.9	6.3	0.5	3.6	0.0
		1.5	2.4	9.8	79.7	3.4	0.2	3.2	0.0
	C 1	3.7	2.3	4.3	78.6	6.7	0.0	4.4	0.0
6		0.0	1.5	0.0	64.2	5.2	0.0	0.0	0.0
	K 6	1.4	3.2	14.6	86.7	21.7	11.2	4.1	1.7
		0.6	2.1	5.4	74.4	12.3	2.6	2.2	0.5
7		0.0	1.8	9.5	38.0	10.1	0.0	0.0	0.0
	M 5	1.9	11.0	39.0	66.7	19.0	0.0	4.6	0.0
		0.8	5.0	20.2	57.6	14.2	0.0	2.2	0.0
6	K 1	0.0	5.7	1.7	78.3	12.2	0.0	2.0	0.0
	K 1	0.0	2.1	2.5	79.3	16.1	0.0	0.5	0.0
7	M 1	0.5	4.9	17.6	64.6	12.1	0.0	0.5	0.0

Tabel 13. Kiviproovi ja musta kihi mineraalide statistiline jaotus erinevatel objektidel.

Objektid: 1-linnamüür, 2-Oleviste kirik, 3-Masina 22, 4--Dominiklaste kloostri Püha Katariina kirik, 5-Suure Rannavärava eesvall, 6-Komandandi aed, 7-Toomkirik.
K- kiviproov, **M-** must kiht, **C-** kips.

	Keskmine väärtus	Madalaim väärtus	Kõrgeim väärtus	Stand. hälve e. viga
Hematiit	0.7	0.0	3.7	0.9
Kvarts	3.7	1.2	26.6	4.8
Kips	7.7	0.0	39.0	9.4
Kaltsiit	72.3	38.0	90.2	11.7
Ca-dolomiit	10.1	0.0	21.7	5.8
Illiid	2.8	0.0	14.7	4.7
Ortoklass	2.3	0.0	4.6	1.6
Püriit	0.4	0.0	3.4	0.9

Tabel 14. Mineraalide statistiline jaotus Tallinna ehitiste kivi- ja musta kihi proovides.

	Ag	B	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr
1.1K	0.10	15.0	50	1.00	3.8	8	1.05	555	0.15	3.4	6.3	1.2	4.0	200	225	4.8	6.0	15.0	10.0
2.1K	0.93	25.5	75	2.55	8.4	80	1.15	435	0.15	4.2	100.0	2.9	7.3	200	525	10.5	4.5	43.0	20.0
2.1M	1.65	19.5	95	2.40	8.6	130	1.60	375	0.15	4.0	410.0	1.6	3.2	225	540	12.0	5.8	50.0	19.0
2.2K	0.80	23.0	120	2.40	11.5	200	1.80	580	0.15	3.8	11.5	1.5	3.5	225	590	12.5	6.0	48.0	20.5
3.1K	0.36	10.5	160	2.00	3.0	8	1.00	590	0.15	3.4	10.5	1.7	3.8	250	285	2.5	5.4	36.0	11.0
3.1M	0.34	12.0	120	2.50	7.5	10	1.15	485	0.15	6.0	27.5	2.3	6.0	230	490	16.5	9.0	51.0	15.5
4.1M	2.45	14.0	100	2.00	5.0	8	1.10	500	0.15	3.3	17.5	2.0	2.7	205	370	5.0	4.9	36.5	13.0
4.2K	1.65	13.0	125	2.00	5.0	8	1.00	530	0.15	3.8	14.0	2.1	5.4	230	395	4.3	6.0	37.0	11.0
4.2M	0.85	14.5	155	2.00	7.4	9	1.10	450	0.15	3.8	20.5	2.0	6.4	215	445	6.7	3.0	43.0	11.0
4.3K	0.72	15.5	445	2.00	6.6	9	1.15	475	0.15	4.5	23.0	2.2	11.0	220	415	5.0	10.5	66.0	14.5
4.4K	1.30	17.0	140	2.40	3.5	10	1.00	470	0.15	4.4	14.5	2.1	6.0	230	430	5.2	9.0	40.0	14.5
4.4M	1.55	14.0	95	2.45	4.7	13	1.00	380	0.15	4.3	24.0	2.2	3.4	230	290	4.7	12.5	31.5	12.5
4.5R	0.39	26.0	110	6.00	16.5	60	1.65	415	0.15	7.5	23.5	1.2	5.1	220	435	9.0	4.0	46.0	18.0
5.1M	2.30	15.5	75	1.00	11.5	8	0.5	390	0.15	3.5	16.0	1.4	1.0	200	220	6.4	4.5	15.0	10.5
5.2K	2.10	13.5	85	1.00	7.9	10	0.5	400	0.15	3.3	14.5	1.5	2.0	205	230	5.5	4.0	15.0	14.0
5.2M	0.84	14.5	60	1.00	5.9	13	0.5	410	0.15	3.4	14.5	1.7	3.0	195	245	6.5	5.5	15.0	11.0
5.3K	0.58	22.0	95	2.00	9.0	8	1.25	690	0.15	3.0	7.6	2.3	8.7	200	450	8.4	4.8	38.0	16.0
5.3M	2.05	18.0	80	2.40	18.5	20	1.20	430	0.15	4.0	44.5	2.4	2.4	235	440	13.5	3.3	35.0	13.5
5.4K	0.05	9.0	125	2.30	10.5	8	0.5	480	0.15	4.3	40.0	2.0	6.7	230	200	3.9	2.0	37.0	13.0
5.4M	0.05	13.0	125	2.30	10.5	20	0.5	415	0.15	4.3	44.0	1.8	6.4	220	340	7.9	5.0	36.5	15.5
5.4C	0.24	8.3	7000	4.50	6.2	10	4.15	580	7.5	35.0	210.0	1.8	1.0	200	165	4.0	1.5	>>1%	5.0
5.5M	0.75	27.5	85	2.25	10.8	8	1.40	590	0.15	4.0	62.0	2.1	8.1	215	555	8.7	5.0	52.0	17.5
5.6K	0.82	15.5	45	2.00	4.3	8	1.00	510	0.15	2.6	13.0	2.1	7.7	220	390	5.8	4.0	33.5	14.0
5.7K	0.41	15.5	65	2.00	4.0	5	1.10	650	0.15	3.7	8.1	2.5	3.5	205	415	5.3	4.3	39.0	19.0
5.7M	0.23	15.0	145	3.15	7.1	13	1.40	520	0.15	6.4	26.0	2.4	7.9	235	430	13.0	5.4	44.0	23.0
6.1K	0.16	15.5	85	2.00	7.0	16	1.30	550	0.15	3.7	13.0	2.1	3.9	235	435	6.2	4.0	46.5	18.0
7.1K	0.37	12.5	105	2.30	6.3	23	1.00	605	0.15	3.7	55.0	2.0	5.3	215	325	5.8	4.4	36.0	20.0
7.1M	1.30	14.5	230	2.50	11.5	45	1.75	520	0.15	5.2	330.0	1.9	7.0	205	485	12.5	4.0	78.0	23.5

Tabel 15. Kivi- ja musta kihi proovides sisalduva mikroelementide analüüside tulemused.

	Keskmine väärtus	Madalaim väärtus	Kõrgeim väärtus	Stand. hälve e viga 0.72
Ag	0.90	0.05	2.45	
B	16.0	8.3	27.5	4.8
Ba	364	45	7000	1303
Co	2.3	1	6	1.0
Cr	7.9	3	18.5	3.7
Cu	27	5	200	44
Ga	1.2	0.5	4.2	0.7
Mn	499	375	690	85
Mo	0.4	0.2	7.5	1.4
Ni	5.2	2.6	35.0	5.9
Pb	57.2	6.3	410.0	97.7
Sc	1.9	1.2	2.9	0.4
Sn	5	1	11	2
Sr	218	195	250	14
Ti	384	165	590	116
V	7.6	2.5	16.5	3.6
Y	5.3	1.5	12.5	2.4
Zn	574	15	15000	2827
Zr	15.1	5.0	23.5	4.3

Tabel 16. Mikroelementide statistiline jaotus Tallinna ehitiste kivi- ja musta kihi proovides .

	Ag	B	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr
Hematiit	0.09	-0.24	0.13	0.19	0.14	-0.12	-0.03	-0.50	0.13	0.15	0.10	0.01	-0.07	0.25	-0.23	-0.07	0.11	0.13	-0.21
Kvarts	-0.22	0.43	-0.09	0.71	0.54	0.21	0.08	-0.27	-0.09	0.03	0.00	-0.30	0.10	0.08	0.19	0.20	-0.16	-0.09	0.30
Kips	0.06	-0.18	0.15	0.03	0.49	-0.14	-0.01	-0.35	0.15	0.17	0.18	-0.06	-0.12	-0.06	-0.13	0.31	-0.28	0.15	-0.07
Kaltsiit	0.11	-0.24	0.02	-0.09	-0.57	-0.14	-0.02	0.06	0.01	-0.03	-0.08	0.21	0.09	0.24	-0.16	-0.55	0.28	0.01	-0.21
Ca-dolomiit	-0.23	0.20	-0.15	-0.33	0.05	-0.11	-0.09	0.55	-0.13	-0.16	-0.17	0.07	0.04	-0.43	0.12	0.26	-0.19	-0.13	0.24
Illiid	0.11	0.13	-0.10	-0.16	-0.10	0.50	0.09	0.23	-0.10	-0.13	0.13	-0.31	-0.19	0.03	0.23	0.22	0.13	-0.10	0.04
Orto-klass	0.04	0.24	0.17	0.03	-0.27	-0.13	0.11	-0.08	0.17	0.18	-0.20	0.20	0.10	-0.21	0.06	-0.18	0.25	0.17	-0.12
Püriit	-0.09	0.24	-0.09	-0.07	-0.09	0.35	-0.03	0.06	-0.10	-0.10	-0.10	0.34	0.17	-0.05	0.30	0.16	0.20	-0.10	0.25

Tabel 17. Mineraalide ja mikroelementide korrelatsioonimaatriks kivi- ja musta kivi proovides.

	Ag	B	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	Mn	Ni	Pb	Sc	Sn	Sr	Ti	V	Y	Zn	Zr
SiO ₂	-0.06	0.70	-0.05	0.75	0.66	0.53	0.64	-0.11	0.65	0.34	-0.27	0.07	-0.18	0.51	0.56	-0.26	0.38	0.57
TiO ₂	0.09	0.69	-0.09	0.06	0.21	0.71	0.64	0.25	-0.09	0.33	0.25	0.13	-0.16	0.76	0.57	-0.04	0.34	0.56
Al ₂ O ₃	0.02	0.55	-0.31	-0.02	0.53	0.54	0.10	-0.09	-0.12	0.20	0.02	-0.04	-0.12	0.34	0.48	-0.27	-0.07	0.26
Fe ₂ O ₃ tot	-0.37	0.45	-0.08	0.20	0.57	0.13	0.18	0.11	0.29	0.14	-0.07	0.25	-0.33	0.25	0.47	-0.30	0.19	0.39
FeO	0.33	0.29	-0.21	0.05	0.41	-0.11	0.03	-0.11	-0.01	-0.10	0.13	-0.12	-0.07	0.26	0.28	-0.13	-0.03	-0.03
Fe ₂ O ₃	-0.49	0.38	-0.01	0.20	0.46	0.17	0.18	0.15	0.30	0.17	-0.11	0.30	-0.32	0.17	0.40	-0.27	0.21	0.42
MnO	-0.29	0.06	-0.21	-0.47	-0.11	-0.20	-0.09	0.38	-0.30	-0.17	-0.27	-0.04	-0.35	-0.25	-0.03	-0.12	-0.32	-0.24
MgO	-0.27	0.47	-0.22	0.13	0.43	-0.02	0.32	0.52	0.05	0.04	-0.04	0.19	-0.32	0.29	0.33	-0.41	0.17	0.43
CaO	-0.19	-0.35	0.19	-0.05	-0.77	-0.19	-0.07	0.25	-0.17	-0.29	0.19	0.14	0.30	-0.17	-0.61	0.39	-0.02	-0.25
Na ₂ O	0.06	0.27	-0.17	0.50	0.41	0.02	-0.06	-0.38	0.43	-0.15	-0.53	-0.19	-0.17	-0.20	-0.02	-0.21	-0.24	-0.06
K ₂ O	0.11	0.64	-0.14	-0.04	0.34	0.60	0.55	0.18	-0.13	0.38	0.29	0.15	-0.19	0.76	0.67	-0.13	0.36	0.57
P ₂ O ₅	0.22	-0.08	0.13	0.03	-0.30	-0.02	0.03	-0.33	0.12	-0.04	0.09	-0.07	0.23	-0.06	-0.12	0.81	-0.02	-0.21
SO ₃	0.28	-0.80	-0.09	-0.11	0.60	-0.13	-0.27	-0.44	0.10	0.16	-0.09	-0.23	-0.09	-0.11	0.41	-0.24	-0.10	-0.06
LOI	-0.15	-0.30	0.05	-0.41	-0.83	-0.18	-0.14	0.46	-0.51	-0.28	0.13	0.11	0.04	-0.21	-0.62	0.24	-0.16	-0.23

Tabel 18. Mikro- ja makroelementide korrelatsioonimaatriks kivi- ja musta kihi proovides.

	Sc	W	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	Fetot.	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	LOI
	g/cm ³	%	%														
Min	2.30	1.00	0.28	0.01	0.08	0.06	0.00	0.45	0.03	0.00	22.19	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.02
Max	2.82	19.22	14.44	0.24	7.08	2.87	4.37	4.58	1.21	19.47	60.78	0.89	2.86	1.65	0.45	0.27	44.11
Kesk	2.64	3.56	4.29	0.08	1.56	0.58	0.83	1.43	0.12	3.85	47.00	0.06	0.50	0.27	0.09	0.03	36.08

S_c (g/cm³) – tihedus

W (%) – porsus

Tabel 19. Lasnamäe lademe muutumate kivimite keskmine keemiline koostis. N= 156

2. Lubjakivikihi geoloogiline kirjeldus ehitisei, kust proov on võetud.

PR – 1.1 – K

Lubjakivikiht paksusega 17 cm. Küllalt tihe ühtlane kõva, merglikelmeteta, katkestuspindadeta, üksikud pruunid püstakud (4 cm läbimõõduga), väliselt mudaline.

Muldvalge(?)

PR – 2.1 – K

Lubjakivikiht paksusega 8-9 cm.. Tugevalt savikas, ussikirjaline merglipesadega, esineb jämedat detriiti. Kogu kihti läbivad mõned vertikaalsed lõhed. Savikamad osad pudenevad peente kildudena, kohati ilmneb ka kihipinna koorumist. Sarnane proov PR – 2.2 – K-ga.

PR – 2.2 – K

Lubjakivi rohekashall, ebaühtlaselt savikas sortimata detriitjas, lainjate lubimergli kuni 1cm katkendlike vahekihtidega, milles on sagedasi okasnahksete varrelülilisi, sammalloomi, käsijalgseid, ja trilobiite. Kivim pärineb Kõrgekalda kihistu alumisest osast so. Ühaku lademest vanas tähenduses. Keskmises osas katkestuspindu ei esine, merglilisemad vahekihid pudenevad murenemisel välja. Kiht tervikuna ei "kooori". Kivim lõheneb korrapäratuiks tükkideks läbimõõduga 1,5 cm. Vertikaalsed lõhed läbivad mitut kihti.

PR – 3.1 – K

Sortimata- detriitjas ebaühtlaselt savikas lubjakivi fosfaatse katkestuspinnaga, mille all kivim on puhtam (savikomponendi poolest), peal — savikam. Kivi on ümberpööratud asendis. Katkestuspindade vahe on 5 cm. Ülemisest 13. kihist. ?

PR – 4.1 – K

Lubjakivikiht paksusega 20 cm. Kivim on väga ühtlane, mudalise põhimassiga, peeneteraline (tombuline), asub kahekordse intensiivselt fosfaatse katkestuspinna peal. Kihti läbib keskelt lainjas merglikelmetega vahekiht paksusega 1-2 cm jagades kihi sümmeetriliselt pooleks. Ülemine osa (2-3 cm) on rohkete merglikelmetega. Võiks olla Alumine muldvalge või Laksupunase ja Kirjukärna kombinatsioon.

PR – 4.2 – K

Lubjakivi pruunide pseudooiididega (?) tihe üksikute merglikelmetega, keskmise lainjaskihilise silelainja katkestuspinnaga kivi keskel. Oiidid on katkestusest kõrgemal ja selle taskutes .

PR – 4.3 – K**PR – 4.4 – K**

Lubjakivikiht paksusega 13,6 (14) cm. Kivimi ülemises osas (1-8 cm) on 3 lainjate merglikelmete taset.

I 1-2 cm vahemikus

II 2-5 cm vahemikus

III 7-8 cm vahemikus

Kivimi alumine pool (8-14 cm) merglikelmeid ei sisalda, on kõvem. Ülemiste kelmete tasemete alt kulgeb pruun silelainjas fosfaatne katkestuspind. Proov on võetud 1,5–4 cm altpoolt katkestuspinna ülemisest pinnast. Katkestuspinna all on kivim tihe ja mudaline. Kivi alumises osas sügavuses 12 cm jookseb teine fosfaatne katkestuspind.

PR – 5.2 – K

Lubjakivikiht paksusega 12,5 cm. Ülemine osa (1-1,5 cm) tugevalt savikam, pruunikas, nõrgalt väljakujunenud püstakutega. Kivimi põhiosa on ülalt (1,5–10,5 cm) ühtlane, tihe, hajusa sortimata detriidiga hall. Ülalt 7,5–8 cm ulatuses paikneb nõrk merglikelmete tase (0,5 cm). Katkestuspinna all on kivim sama kui katkestuspinna peal.

PR – 5.3 – K

Lubjakivikiht paksusega 13 cm. Kivim on helehall, nõrgalt savikas detriidikas kuni detriitjas kogu paksuses lainjate merglikelmetega, ülemises kolmandikus on tihedalt 3 cm kelmeid, esinevad väga üksikud roostepruunid oksüdeerunud püriidipesad. Väliselt Šauekorra-laadne või Poriarssina alumine osa.

PR = 5.4 = K

Lubjakivikiht paksusega 9 cm, 45 cm laiune. Kivim on nõrgalt rohekashall, ühtlane, kõva. 4cm sügavusel ülemisest pinnast on lainjas katkendlik merglikelmete tase, millest allpool on kivim tihedam. Kogu kivim on väliselt mudalise struktuuriga. Ülemisel kontaktil on mergliläätsed, alumine kontakt konar-lainjas. Merglikelmete esinemise tõttu mõlemal kontaktil ning ühtse struktuuri järgi võib oletada Valget arssinat.

PR – 5.4 - Ü

Lubjakivikiht paksusega 12 cm. Esineb vana mineraliseerunud rikkevööndi nihkepind, kuhu on väljakristalliseerunud jämekristalne kaltsiit ja pesiti kristalliline püriit. 5.4-K kiviga analoogne, keskelt savikas.

PR – 5.6 – K

Lubjakivi kiht paksusega 12–13 cm. Ühtlane, suhteliselt tihe mudalise põhimassiga, merglikelmeteta (vaid 1 cm piires alumisel ja ülemisel kontaktil), katkestuspindu ja püriiti ei esine. Ristikord?

PR – 5.7 – K

Lubjakivi kiht on paksusega 10 cm.. Pesiti ebahürtlase savikas, ühtne kergelt pruunikas lubjakivi sagedaste, nõrgalt vaadeldavate püstakutega läbimõõdus 0,5-2 cm. Kihi kontaktid mõnevõrra savikamad. Ei ole *Tulikord*.

PR – 6.1 – K

Lubjakivi kihi on paksusega 6-7 cm. Kihi mõlemal kontaktil esinevad 1-2 cm paksused lainjate merglikelmerohked läätsjasmugulja lubjakivi vahekihid. Kihi keskel, põhiosas on 4-5 cm sügaval tihe ühtlane sortimata detriitjas lubjakivi – üks Nahakordadest (Raudsüdame, Ülemisel muldvalgel ja Tige seitsmel on mõlemal pool *Nahakord*). Kihisüdame alumine kontakt on tugevalt lainjas bioturbeeritud (mudasõjate poolt läbiuuristatud). Kihisüdame ülemine kontakt on lauglainjas terav, mille peal on 1cm paksusega merglikelmetega lubjakivikiht.

PR – 7.1 – K

Lubjakivi kiht on paksusega 9-10 cm. Akna välimise raami imposti-poolses osas on pool kivi paksusest suhteliselt tihelainjate merglikelmetega, sortimata detriitjas, sagedaste pruunide püstakutega. Kivi tahatud pealispinnal võib kohati loomuliku kivipinna lohkudes märgata püriitse katkestuspinna tumedat kirja, mis meenutab Kirjukärni ülemist pinda.

Kihi alumine pool (5 cm) on sagedaste merglikelmete kuni pidevate merglivahekihtidega läätsjaspoolmuguljas lubjakivi. Väga sarnane Kirjukärni ülemisele poolele ilma püstakkihita.

3. Kivimproovide õhikute kirjeldus.

3.1. Algne lubjakivi.

Kõigi proovide puhul on tegemist lubjakiviga, mis koosneb 40-50% ulatuses detriidist (skeletijäänustest) ja 40-50% ulatuses mikriitsest põhimassist (mudalisest komponendist). Kuni 20% kivimist võivad olla diageneetilised kristallid (spar).

Skeletijäänuste mõõtmed on valdavalt 0,03-0,5 mm (õhikus 1.3 kuni 1 mm), üksikutena esineb kõigis õhikutes kuni 3 mm skeletifragmente. Detriidi moodustavad peamiselt okasnahksete, brahhiopoodide, trilobiitide ja sammalloomade jäänused. Seda väga detriidirikkat kivimit tuleks nimetada Dunham'i struktuurse klassifikatsiooni järgi *packstone*, või Eestis nõukogude perioodil kasutatud klassifikatsiooni (Loog ja Oraspõld, 1982) järgi *mikriidilis-detriitjaks lubjakiviks*.

3.2. Diageneetilised muutused.

Diageneesi käigus kasvanud karbonaatsed kristallid paiknevad kivimis väga ebaühtlaselt, moodustades keskmiselt alla 20% kivimist. Tihti on ümberkristalliseerumine toimunud skeletiosade järgi. Sel juhul on tegemist 0,1-0,5 mm läbimõõduga kaltsiidi kristallidega. Teine tüüp on algse karbonaatkivimi laiguline ümberkristalliseerumine või asendumine dolomiidiga. Sel juhul katavad 0,05-0,1 mm suurused rombiline dolomiidi kristallid kohati kogu pinna. Sellised diageneesis kujunenud dolomiidistumise laigud esinevad **õhikus 5.1** ülal paremal, **õhikus 5.7** all, **õhikus 2.2** ülal vasakul, **õhikus 6.1** keskel.

Diageneetiliseks mineraaliks on ka püriit, mille kuni 2 mm kristallid esinevad **õhikus 2.1** allosas. Püriit on murenemisele väga tundlik mineraal, kui selles kivimis mingeid porsumise märke ümber püriidi pole. **Õhikus 5.7** esineb keskosas mikriidis tume lisand, mis võib olla hajus püriit? **Õhikus 3.1** läbib õhikut settimisaegne katkestuspind, mis on mineraliseerunud (impregreerunud) hajusalt, ilmselt püriidiga.

3.3. Väliskeskkonna mõjul tekkinud muutused (murenemine).

Sellised muutused on näha õhikute servades. Tegemist on servaga paralleelsete mikrolõhede süsteemidega, mis ulatuvad kivimi pinnalt kuni 1 mm sügavusele. Lõhed on enamasti 0,01-0,05 mm laiad ja täidetud enamasti väga peenekristalse, nõeljatest kristallidest materjaliga. Tõenäoliselt on tegemist kipsi uudismoodustisega. Esineb ka tühje lõhesid, kuid nende sisu võib olla õhiku valmistamisel kadunud.

Servaga paralleelseid lõhede süsteeme esines järgnevalt:

Õhik 3.1 kogu parempoolne serv, ulatuvad kuni 0,5 mm kaugusele servast, täidetud ilmselt kipsiga, läbimõõt 0,01-0,05 mm.

Õhik 4.2 parempoolses servas väga piiratud alal, ulatuvad kuni 0,5 mm kaugusele servast, täidetud ilmselt kipsiga, läbimõõt 0,01-0,05 mm.

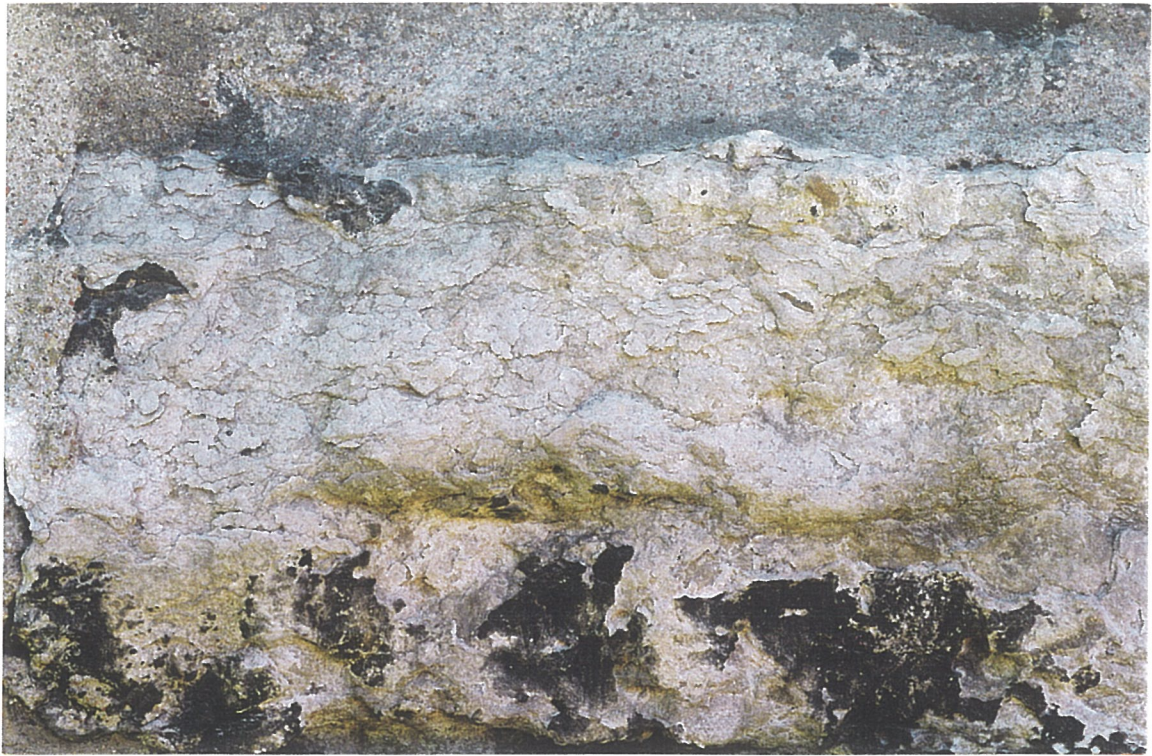
Õhik 4.3 alaservas piiratud alal, ulatuvad kuni 0,2 mm kaugusele servast, täidetud ilmselt kipsiga, läbimõõt 0,01-0,05 mm. **Õhik 5.1** ülaservas, ulatuvad kuni 0,5 mm kaugusele servast, täidetud ilmselt kipsiga, läbimõõt 0,01-0,05 mm.

Õhik 5.3 vasakul servas väga piiratud alal, ulatuvad kuni 0,5 mm kaugusele servast, täidetud ilmselt kipsiga, läbimõõt 0,01-0,05 mm.

Õhik 5.7 ülaservas, ulatuvad kuni 1 mm kaugusele servast, enamasti täidetud (kips), üksikud tühjad, läbimõõt 0,01-0,05 mm.

Õhikutes 2.1, 2.2 ja 6.1 sellised muutusi ei täheldatud.

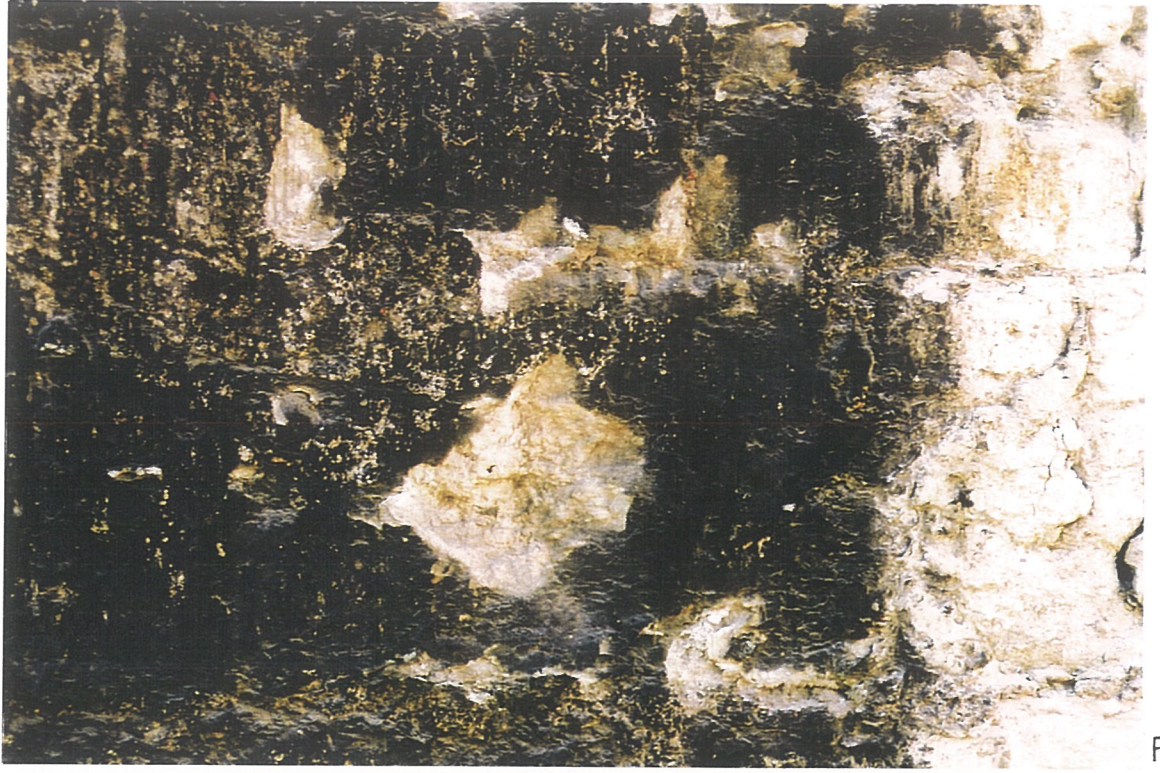
Peale servades esinevate vööndite esines ka kogu kivimit läbivaid lõhesid (**5.1, 5.7**), kuid need lõhed on alati tühjad ja tekkinud ilmselt proovi kogumisel või töötlemisel.



F1



F2



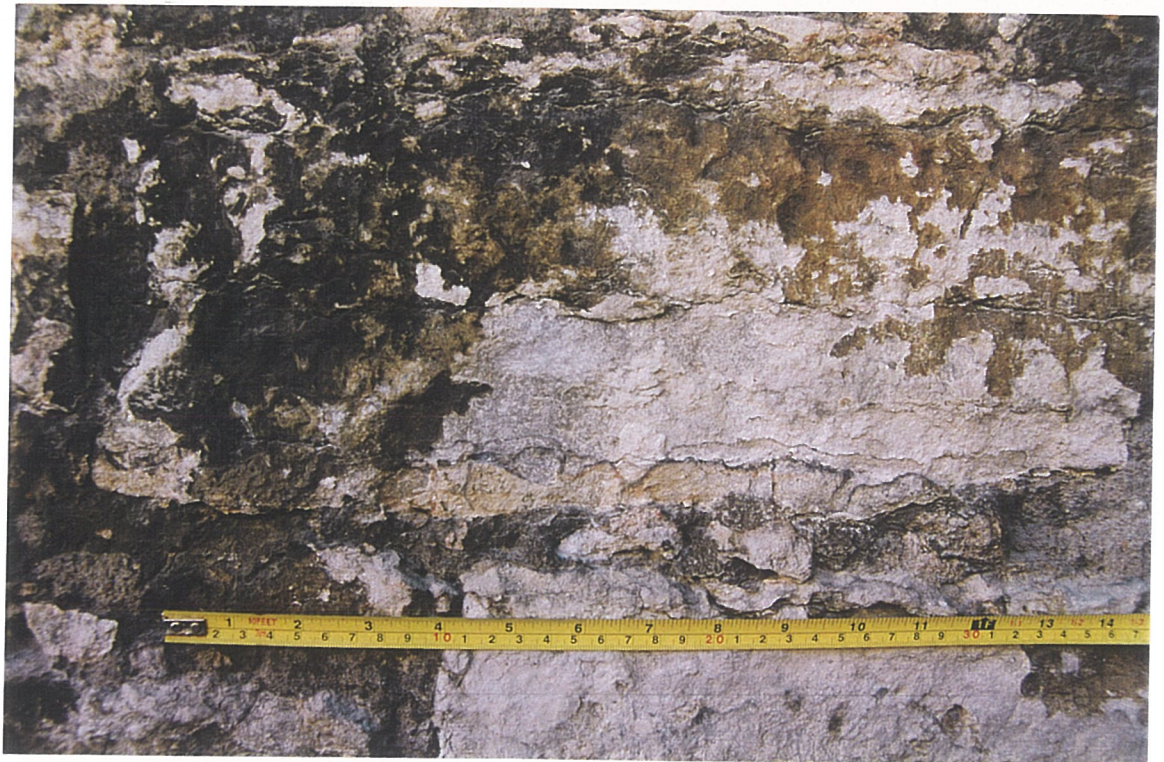
F3



F4



F5



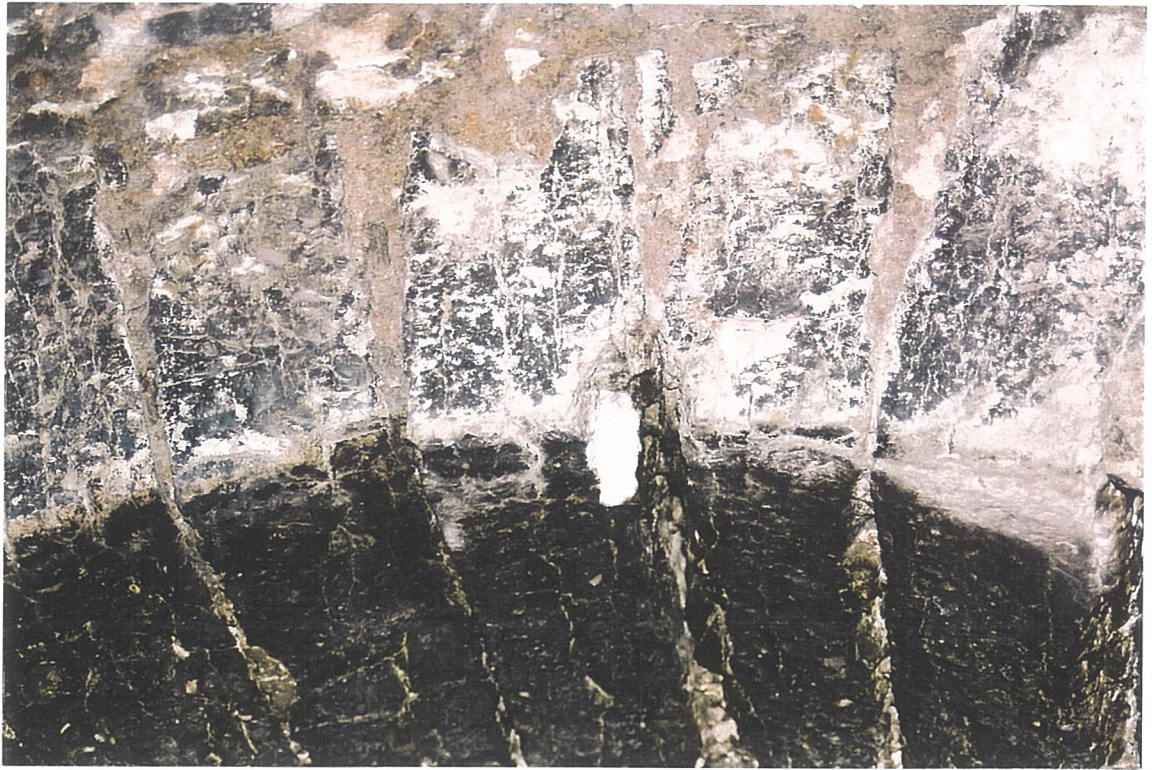
F6



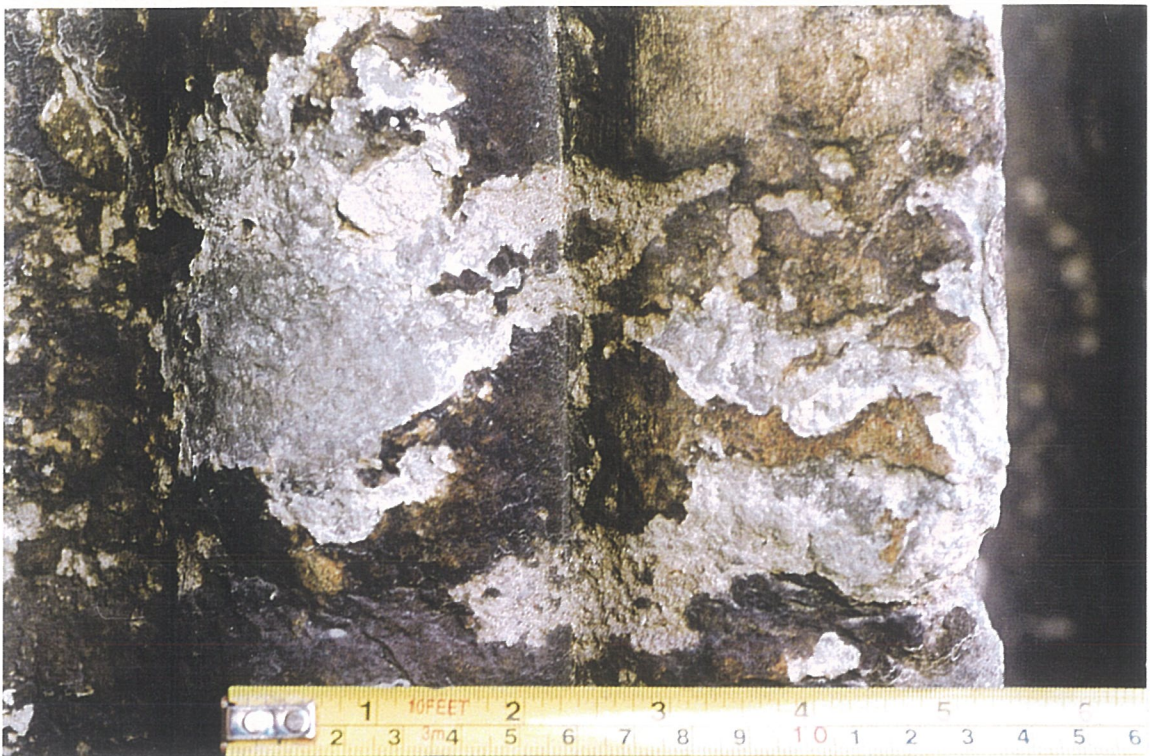
F7



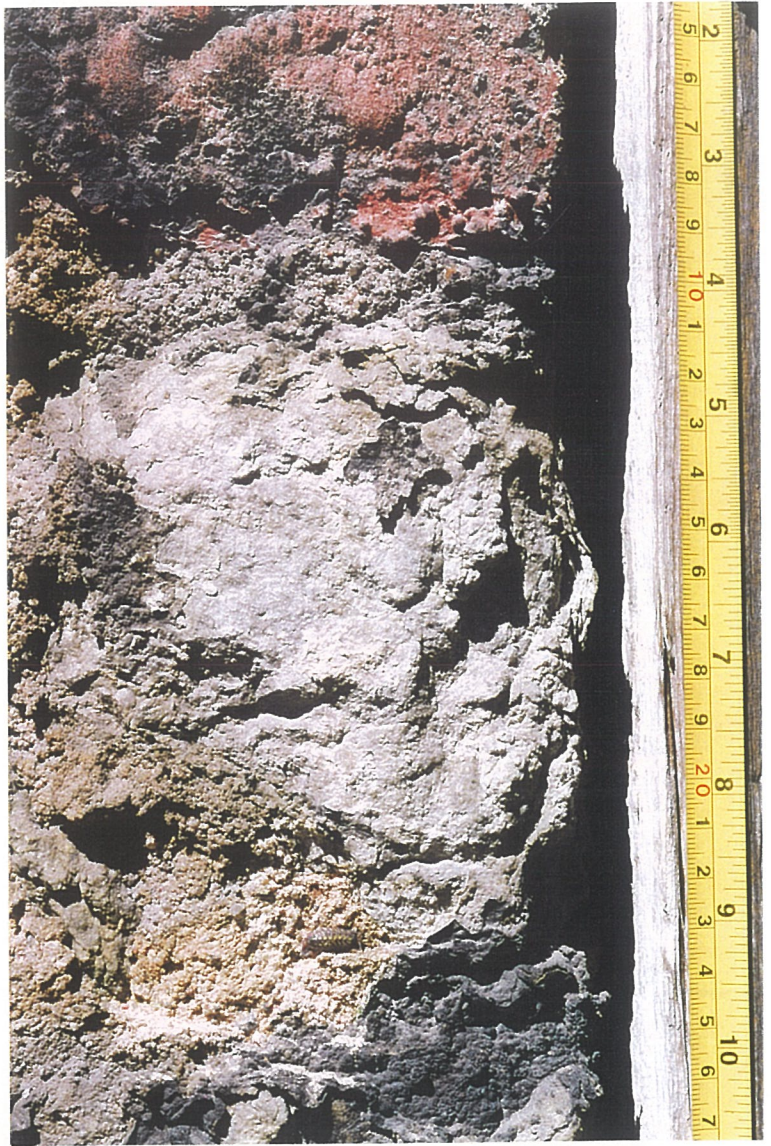
F8



F9



F10



F11



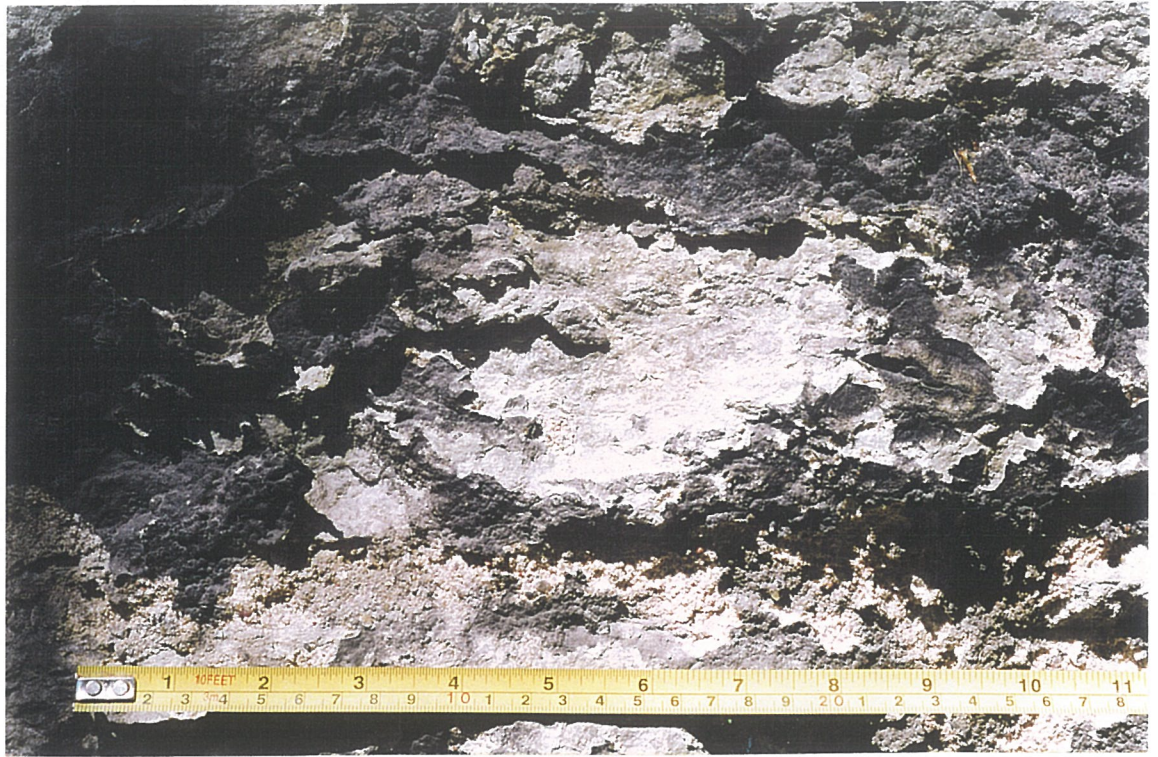
F12



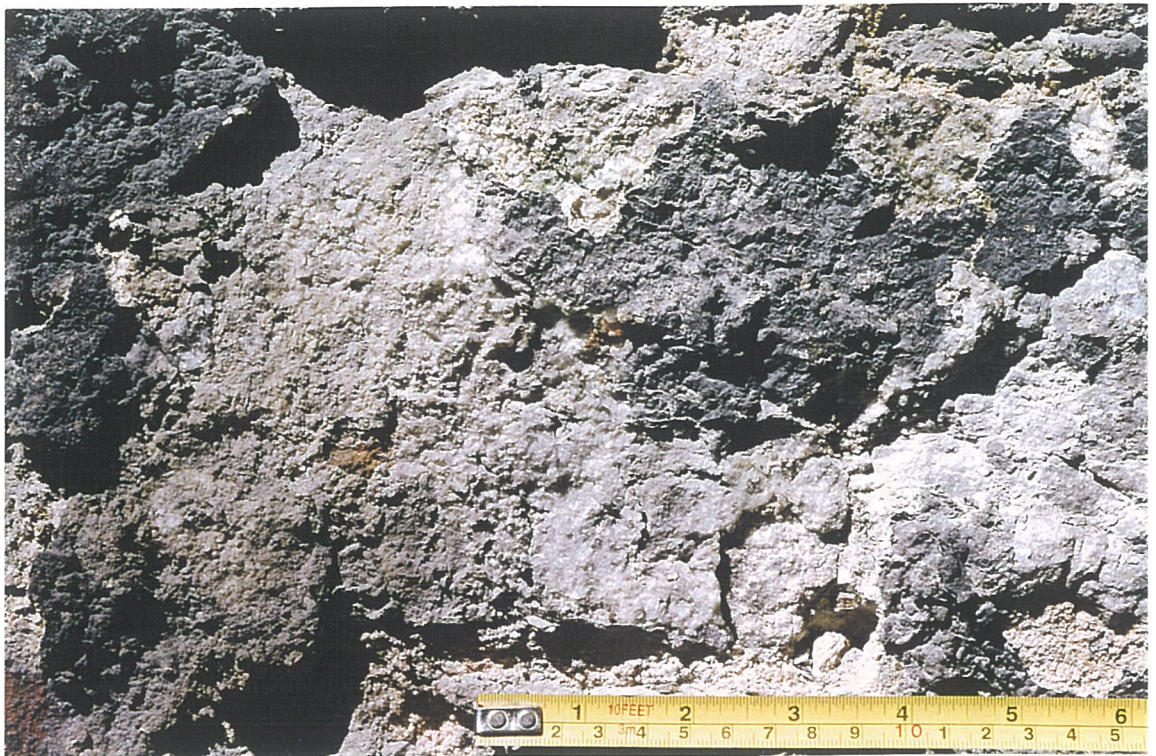
F13



F14



F15



F16



F17



F18



F19



F20



F23



F22



F21



F24



F25



F26



F27



F30



F29



F28



F31



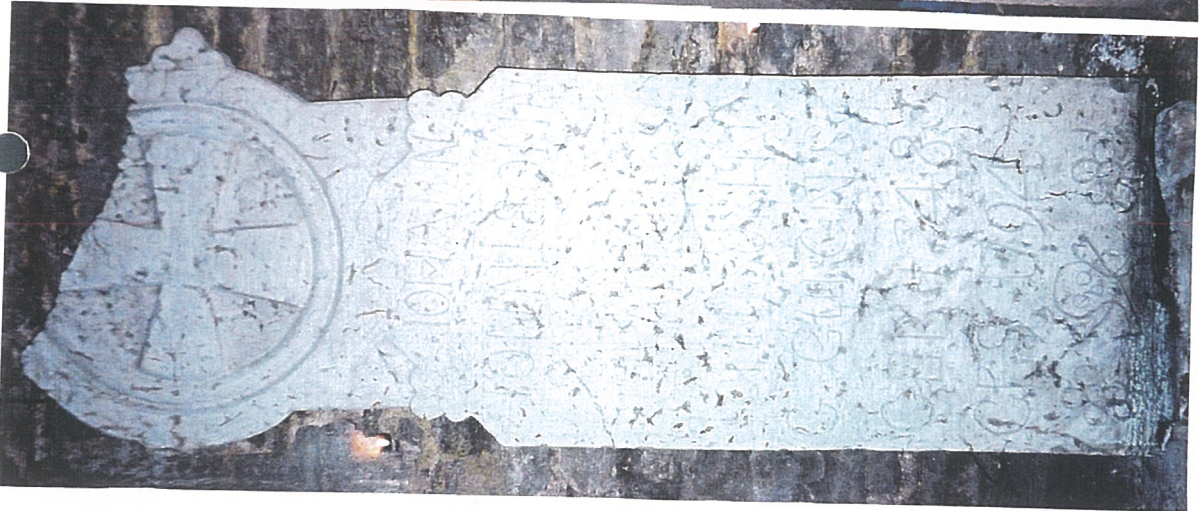
F32



F33
123



F37



F36



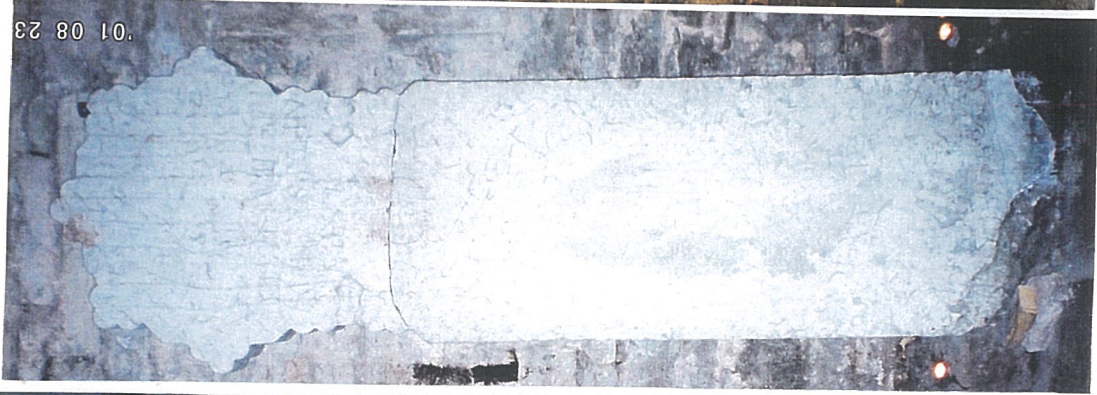
F35



F34



F41



F40



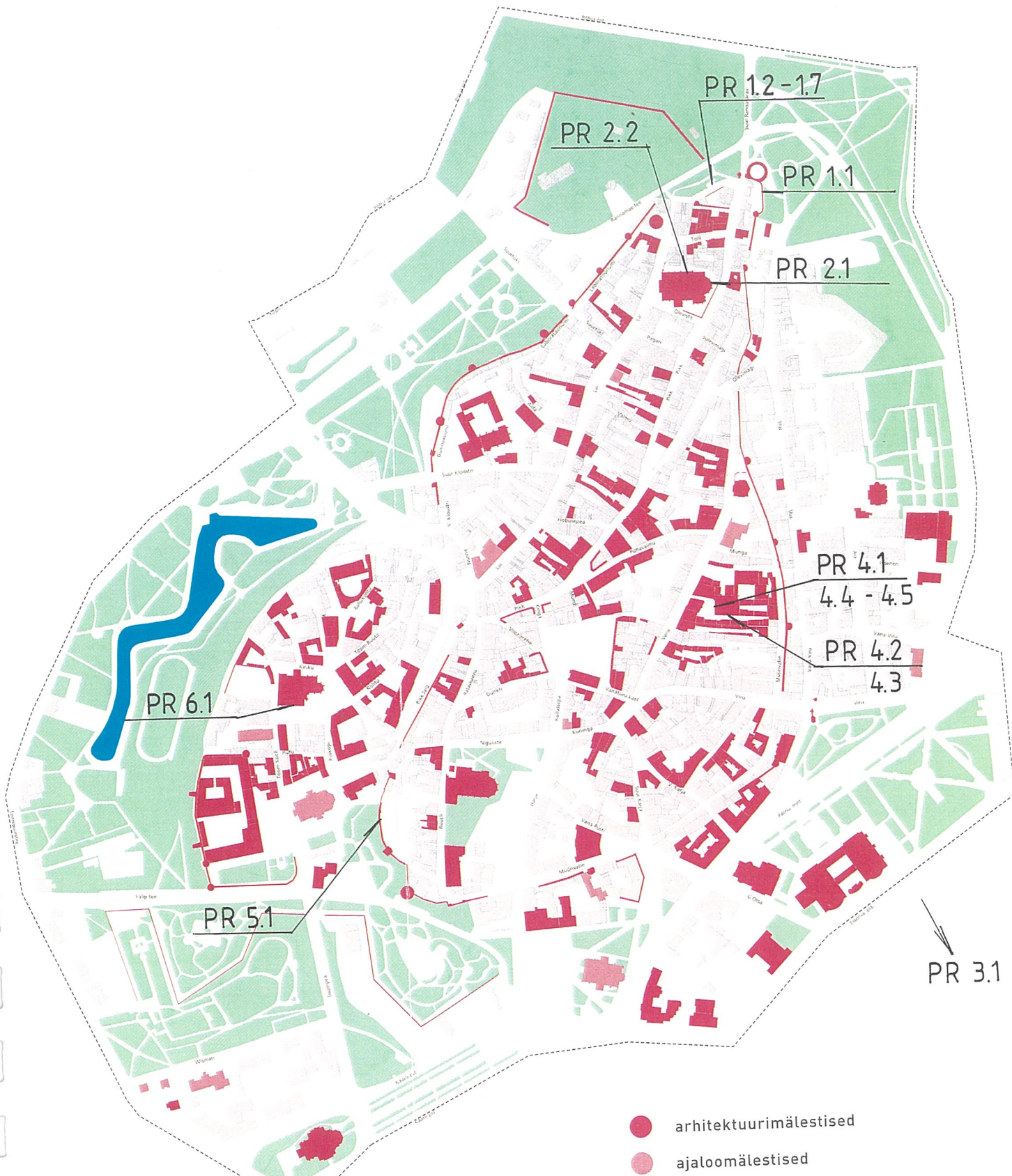
F39



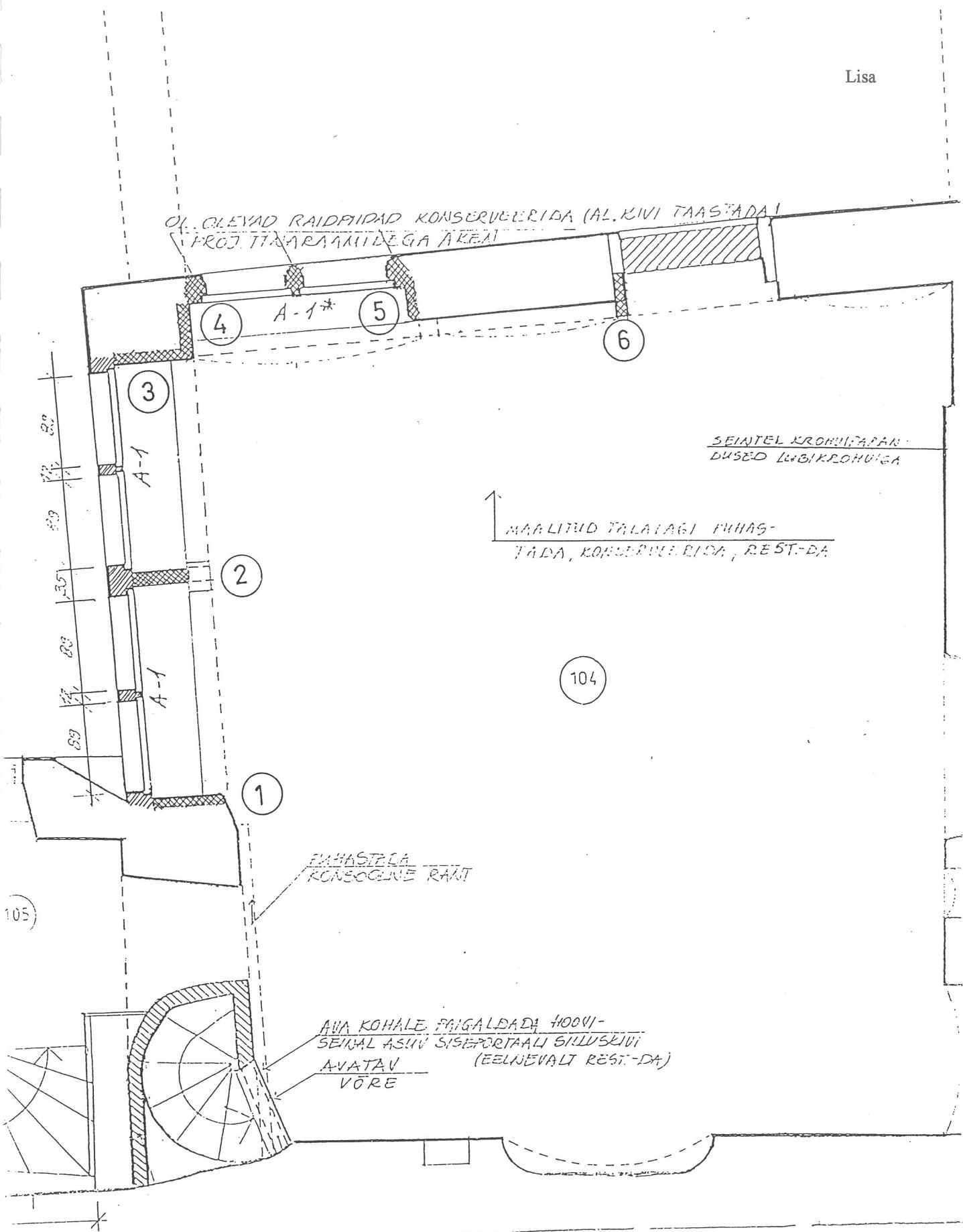
F38



F43



Skeem 1. Analüüsitavaate proovide asukohad skeemil.

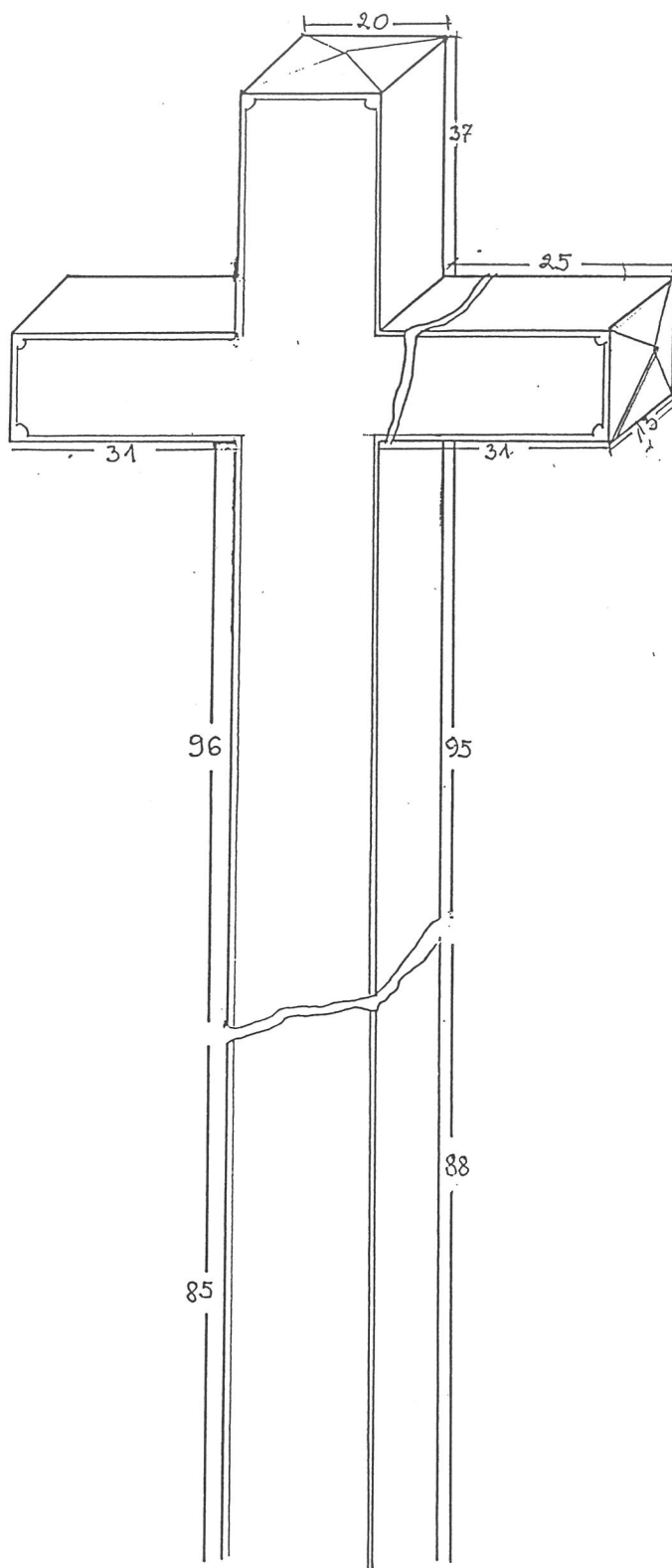


Skeem 2. Aknapaalede raidplaadid asukohaga Vene 10.



SKEEM3(RAIDPLAAT 'FIDES')

-  vana kipsitükk
-  uus kipsiparandus
-  müüritud sein 1. osas
-  müüritud sein 2. osas
-  müüritud sein 3. osas
-  müüritud sein 4. osas
-  müüritud sein 5. osas



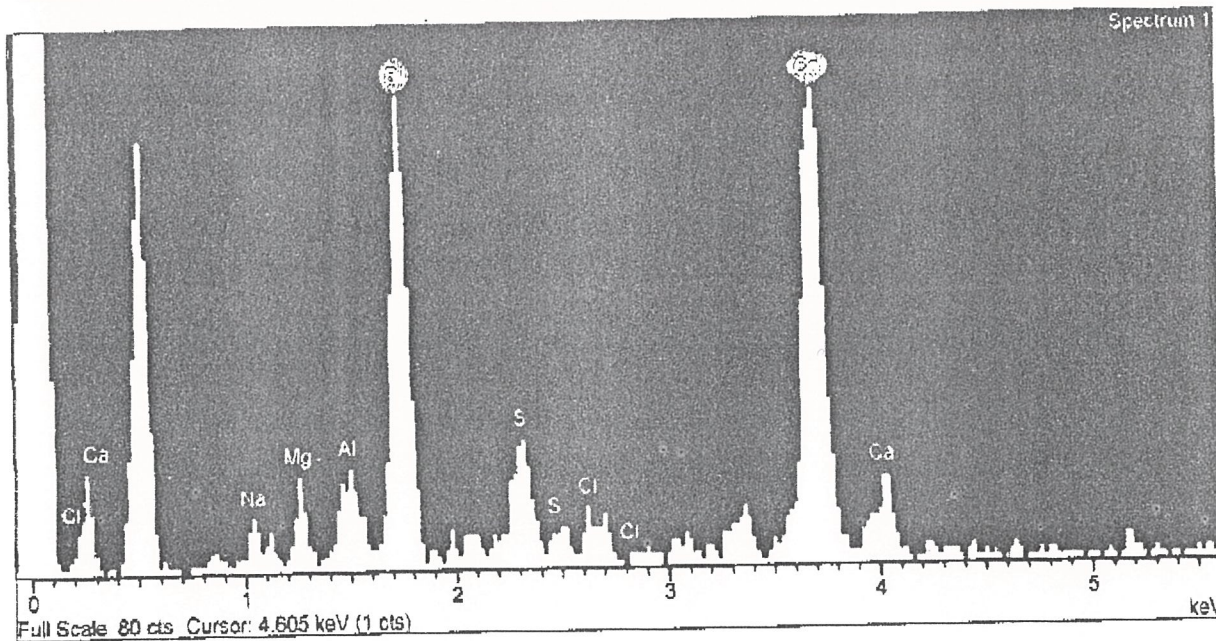
Skeem 4. Perekond Hunniusele kuuluv marmor-rist asukohaga Haapsalu vanal kalmistul.

Lisa 6.

Lisa

Musta kihi (pigmenti?) analüüs. Riksantikvariemb, Stocholm, 11.07.2001

Udda prover 6/10/01 10:17:48 AM



Spectrum processing :
Peaks possibly omitted : 0.270, 0.512, 3.330 keV

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Number of iterations = 2

Standard :

- Na K Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
- Mg K MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
- Al K Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
- Si K SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
- S K FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
- Cl K KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
- Ca K Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corm.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Na K	0.39	0.8899	3.65	0.15	5.19
Mg K	0.32	0.7754	3.43	0.12	4.61
Al K	0.58	0.8474	5.67	0.14	6.88

Comment: Sten
Inlämnat av S. Nilsson.

Spektrum ?

Lisa



Riksantikvarieämbetet

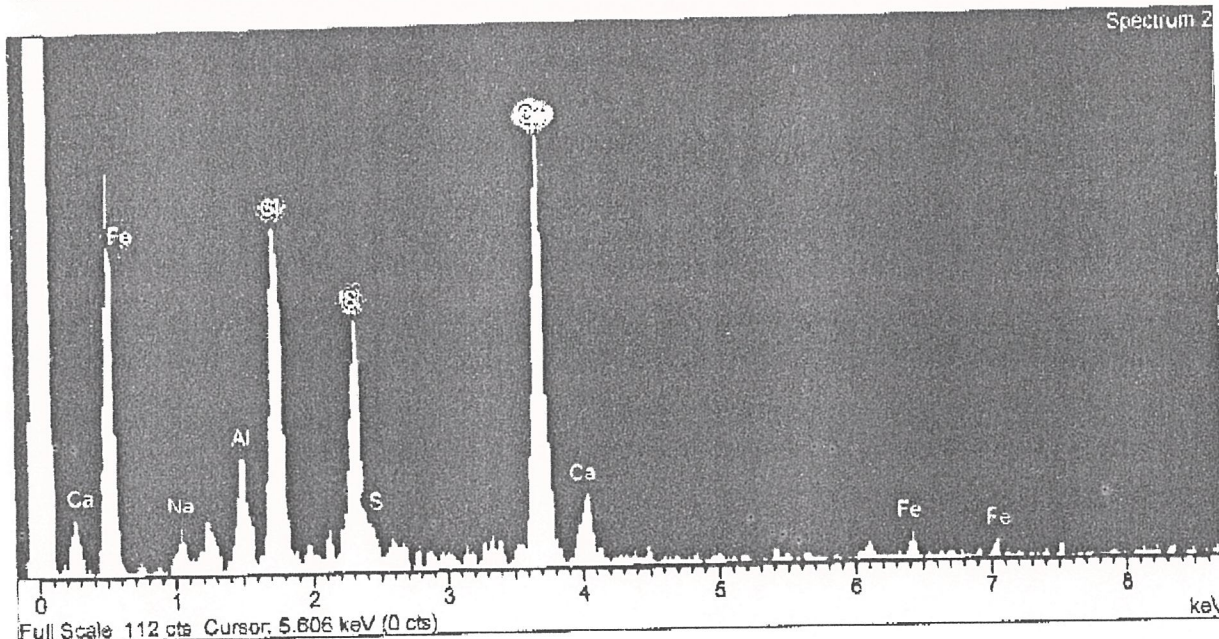
Antikvarisk-tekniska avdelningen

Si K	3.08	0.8726	29.09	0.14	6.88
S K	0.76	0.7755	8.12	0.22	33.91
Cl K	0.18	0.6876	2.11	0.16	8.29
Ca K	5.59	0.9641	47.94	0.13	1.95
				0.27	39.16
Totals			100.00		

7

Lisa

Udda prover 6/10/01 10:19:43 AM



Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 0.270 keV

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Number of iterations = 2

Standard :

- Na K Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
- Al K Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
- Si K SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
- S K FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
- Ca K Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
- Fe K Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Na K	0.35	0.8211	2.80	0.17	4.10
Al K	0.99	0.8678	7.56	0.16	9.43
Si K	3.22	0.8658	24.65	0.25	29.55
S K	2.04	0.8003	16.86	0.24	17.76

Comment: Sten
Inlamnat av S. Nilsson.

Spectrum 2



Riksantikvarieämbetet

Antikvarisk-tekniska avdelningen

				0.24	17.70
Ca K	6.19	0.9557	43.02	0.34	36.14
Fe K	0.64	0.8255	5.12	0.41	3.09
Totals			100.00		

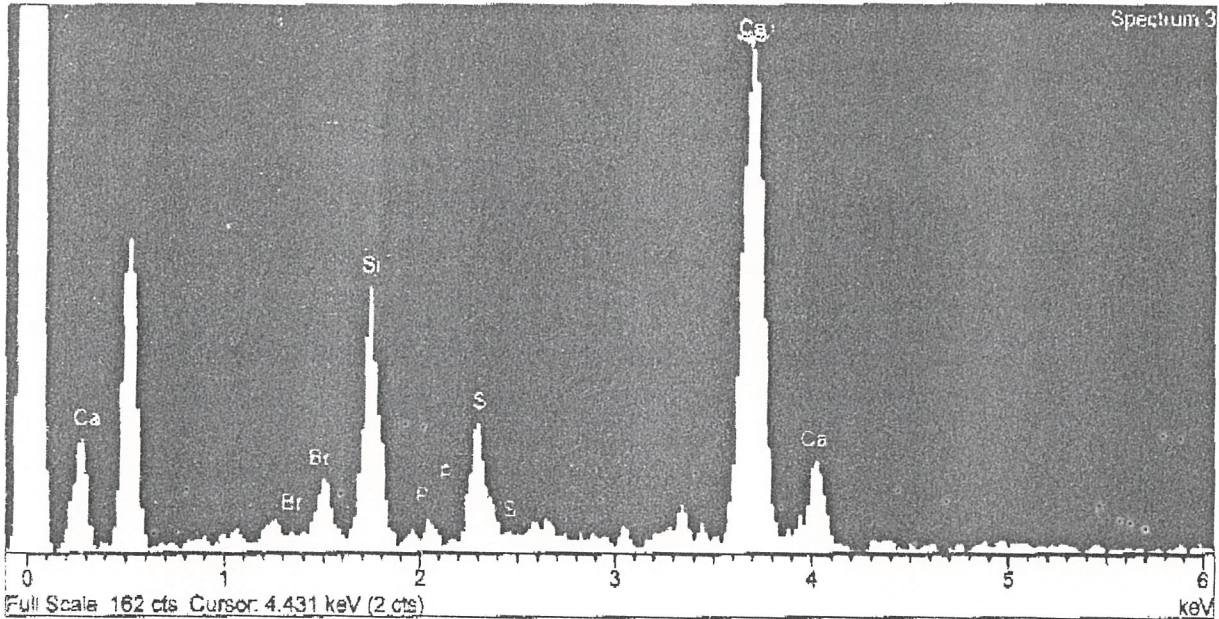
Lisa

2

Lisa

Udda prover

6/10/01 10:21:41 AM



Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 0.272, 0.518 keV

Processing option : All elements analysed (Normalised)

Number of iterations = 2

Standard :

Si K SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

P K GaP 1-Jun-1999 12:00 AM

S K FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca K Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Br L KBr 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Si K	3.07	0.8553	18.29	0.24	24.44
P K	0.33	1.0397	1.61	0.14	1.95
S K	1.56	0.8264	9.63	0.21	11.27
Ca K	12.28	1.0005	62.67	0.36	58.68
Br L	1.24	0.8138	7.80	0.31	3.66
					Tot. 100.00

Comment: Sten
Inlämnat av S. Nilsson.

Spektrum 3