



Tartu Ülikool
Bioloogia-geograafiateaduskond
Geograafia instituut

Bakalaureusetöö ökotehnoloogias

**LUBI KUI TRADITSIOONILINE EHITUSMATERJAL JA
LUBIKROHVI ÕHUNIISKUST REGULEERIV TOIME**

Kermo Jürmann

Juhendaja: vanemteadur Valdo Kuusemets

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja: /allkiri, kuupäev/

Instituudi juhataja: /allkiri, kuupäev/

25.05.05

Tartu 2005

Tartu Ülikooli Raamatukogu
ARHIIVKOGU

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Traditsioonilisel tootismeetodil valmistatud lubisideaine olemus	5
2.1. Traditsioonilise lubjatootja primaarenergiasisaldus ja CO ₂ emissioon	6
2.1.1. AS Limexi lubja primaarenergiasisaldus	6
2.1.2. AS Limexi tootmisprotsessi CO ₂ emissioon	7
3. Lubja kasutamine ehitusmörtides	10
3.1. Mörtide täiteained	10
3.2. Mördilisandid	11
3.3. Erineva koostise ja seguvahekordadega lubimördid	13
3.3.1. Traditsiooniline ja harilik lubimört	13
3.3.2. Sõelumata lubjapastast lubimört	15
3.3.3. Lubitsementmört	16
3.4. Lubimördiga krohvimine	17
3.5. Lubimörtide kivistumine	19
3.6. Lubimörtide püsivust mõjutavad tegurid	19
3.6.1. Vesi ja niiskus	20
3.6.2. Deformatsioonid	21
4. Ruumikliima ja inimese tervis	25
4.1. Sisekeskkonna terviseriskidest	25
4.2. Ruumikliima olulisemad komponendid	26
4.3. Ehitusmaterjalide mõju ruumi kliimale	28
4.4. Lubitoodete mõju ruumi sisekliimale	30
5. Materjal ja meetodika	31
5.1. Katsetes kasutatud materjalid ja katsetoodika	33
5.1.1. Materjalide katsetoodika	33
5.1.2. Lubjapasta	34
5.1.3. Portlandsement	35
5.1.4. Liiv	35
5.1.5. Lubjakivi sõelmed	36
5.1.6. AS Uninaks lubikrohv	36
5.1.7. Pilliroomatt	37
5.2. Katsetes kasutatud seadmed	37
5.2.1. Veetidumisevõime määramine	37
5.2.2. Katsekehade kuivatamine	37
5.2.3. Veeauru akumuleerimisvõime määramine	38
5.3. Mörtide valmistamise- ja katsetoodikad	39
5.3.1. Mörtide valmistamine	39
5.3.2. Mördi omaduste määramine	39
5.3.3. Katsekehade valmistamine ja kivinemine	40
5.3.4. Kivistunud lubimörtide katsetoodikad	41
6. Tulemused ja arutelu	44
6.1. Kivistunud lubimördi tasakaaluniiskus	44
6.2. Lubikrohvi veeauru akumuleerimisvõime	46
6.3. Võimalikud seosed määratud omaduste vahel	50
7. Kokkuvõte	53
Summary	55
Tänuavaldused	57
Kasutatud kirjandus	58
Lisa 1.	60
Lisa 2.	61
Lisa 3.	62
Lisa 6.	65
Lisa 7.	66
Lisa 8.	67
Lisa 9.	68
Lisa 10.	69

1. Sissejuhatus

Ehitustehnoloogiad ja ehitusmaterjalid on viimastel kümnenditel kiiresti arenenud. Kui varem iseloomustasid ehitamist hooajalisus ja pikk kestus, käsitöö ja tuntud omadustega materjalid, siis nüüdseks on selle asemele pürginud kiire, tööstuslikum, aastaringne ehitamine, uute tehnoloogiate ning uute, sageli sünteetiliste materjalide kasutamine. Selline muutus on suurendanud oluliselt ressursikasutust, koormates ja saastades keskkonda. Üha enam on hakatud aru saama vajadusest olukorda muuta ning järjest rohkem rakendatakse keskkonnasõbraliku ehituse põhimõtteid, toetudes keskkonda võimalikult vähe kahjustavale ressursisäästlikule ja inimese tervist arvestavatele ehitusviisidele.

Ökoloogilise ehituse puhul on eriti oluline materjalide valik – milline on olnud energia- ja ressursikulu tootmisel ning jääkainete emissioon. Autori poolt 2004. aastal kirjutatud Keskkonnatehnoloogia projektis „Lubja kui ehitusmaterjali ja selle erinevate tootmismeetodite keskkonnavaline analüüs“ võrreldi tööstuslikku ja traditsioonilist lubjatootmisemeetodit, kus oluliselt keskkonnasõbralikumaks osutus iidset tehnoloogiat rakendav traditsiooniline lubjatootmismeetod ettevõttes AS Limex. Kuna on veendunud materjali tootmise keskkonnasõbralikkuses, siis käesolevas bakalaureusetöös on seatud eesmärgiks uurida, millist mõju avaldab traditsioonilisel meetodil toodetud lubja kasutamine ehitusmaterjalina inimese tervisele läbi ruumi sisekliima. On ju viimane ökoloogilises ehituses keskkonnasõbralikkuse kõrval olulisimaks kriteeriumiks.

Käesoleva keskkonnatehnoloogia bakalaureusetöö teoreetilises osas on antud ülevaade lubja kui traditsioonilise sideaine olemusest, käsitletud on lubja kasutamist ehitusmörtides ja sellega seonduvaid probleeme ning keskendutud on ka temaatikale – millist mõju avaldavad ehitusmaterjalid läbi ruumikliima inimese tervisele.

Kuna ruumi sisekliima üheks olulisemaks komponendiks on optimaalne õhuniiskus, siis käesoleva töö praktilises osas on keskendutud lubikrohvi õhuniiskust reguleeriva toime uurimisele. Mõistmaks millise koostise ja seguvahekorradega lubimörtidel on parimad niiskusrežiimi reguleerivad omadused, on vaatluse alla võetud viis erinevat lubimörti.

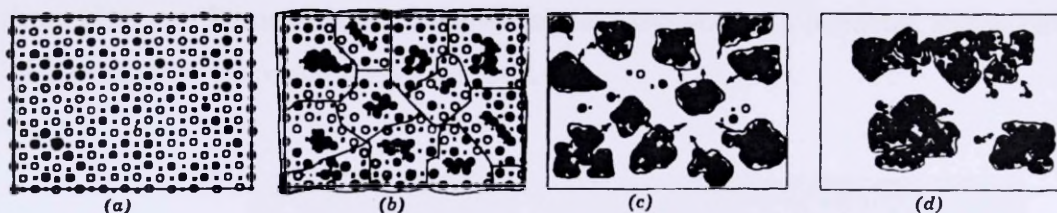
Uurimusi, kuidas lubitooted mõjutavad just ruumi sisekliimat, autori andmetel varasemalt teostatud ei ole. Erinevaid mõõtmisi lubimörtide kasutamiseks välistingimustes on

teostatud Tallinna Tehnikaülikoolis ning sealsed mõõtmised on osalt kohandatavad ka lubimörtide sisekliimaatiliste mõjude kirjeldamiseks. Seega hetkel küsimusele „Kuidas sein kantud lubimört mõjutab ruumide sisekliimat?“ vastust otsides võib tugineda vaid erinevates publikatsioonides ja internetilehekülgedel avaldatud oletustele või mõningal määral ka lubisideaine omadustest tulenevatele järeldustele.

2. Traditsioonilisel tootmismeetodil valmistatud lubisideaine olemus

AS Limex on Eestis ainuke lubja väiketootja, kes toodab lupja moel, nagu seda tegid meie esivanemad. Sellist tootmistehnoloogiat kutsutakse traditsiooniliseks lubjatootmiseks. See on tootmine, kus kasutatakse vanu arhailisi tootmistehnoloogiaid ja tootmisvõtteid. AS Limex tegutseb Saaremaal Lümada vallas Mõisa külas ja kasutab lubjakivi põletamiseks restaureeritud 3.8 m kõrgust ja 2.5 m läbimõõduga maa-ahju, mis taastati 1994. a. ning mille restaureerimiseks kasutati kohalike endiste lubjapõletajate kogemusi ja mälestusi (<http://www.limex.ee>). Lisas 1 on välja toodud traditsiooniline maa-ahi ja tema olulisemaid komponendid.

Traditsioonilisel meetodil toodetud lubja hea kvaliteedi põhjuseid on mitmeid. Olulisimaks on asjaolu, et kuna AS Limexil toimub lubja põletamine traditsioonilises põletusahjus ja küttena kasutatakse puitu, siis saadakse väga reaktsioonivõimeline lubi. Seda seepärast, et temperatuuril 800-850°C juures on põletatud lubjakivi käsnataolise struktuuriga ja kristallid suurusega ca. 0,2-0,3 µm (Raado 2001/2002). CaCO₃-e lagunemistemperatuur rõhu 760 mmHg ja 100% CO₂-e keskkonnas on teoreetiliselt 898 °C. Traditsioonilisel meetodil saab lubjapõletamistemperatuur olla madalam seetõttu, et kui ümbritsevas keskkonnas on vähem CO₂-te, siis ka dekarboniseerumiseks vajalik temperatuur on madalam (Boynton 1980 *cit.* Uuetalu 2003). Põletustemperatuuri tõustes üle 900°C kasvab kristallide suurus ja väheneb põletatud lubja eripind, mis viib reaktsioonivõimelisuse languseni. Joonisel 1 on näidatud lubja põletustemperatuuri mõju kristalli struktuurile. Tööstuslikes tingimustes on lubja põletustemperatuuriks tavaliselt 1000-1200°C. Selline lubi on võrreldes traditsiooniliste meetoditega valmistatud lubjast palju väiksema reaktsioonivõimelisusega (Raado 2001/2002).



Joonis 1. Põletustemperatuuri tõusu mõju CaO kristallstruktuuri kujule. Temperatuur tõuseb joonisest (a) kuni jooniseni (d) (Boynton 1980 *cit.* Uuetalu 2003).

Teiseks oluliseks asjaoluks on see, et traditsioonilisel meetodil toodetud lubjal toimub järelkustutamine lubjahaudades mitmeid aastaid. Tööstuslikult toodetud lubi kustutatakse koheselt pulbriks ja on seejärel turustamiseks valmis. Kui minimaalseks laagerdumiseks peetakse 2-3 nädalat ja optimaalseks ajaks sama palju kuid, siis Saaremaal Lümandas toimub lubja järelkustumine säilitusaukudes 2 aastat (<http://www.limex.ee>). Samas on teada, et vanad ehitusmeistrid nõudsid krohvi valmistamiseks kustutatud lubja, mis oli lubjaaugus laagerdunud vähemalt 25 aastat. Selline ajalooliselt pikk lubja laagerdumisaeg oli tingitud tõenäoliselt lubja tootmise kvaliteedi ebaühtlusest (Uuetalu 2003). Eksperimentaalselt on tõestatud, et lubja pikaajalisel rohke veega laagerdumisel jätkub pidev osakeste peenendumine, kus saadakse peenemad $\text{Ca}(\text{OH})_2$ osakesed (u. 10 μm), kui samas vähese veega pulbriks kustutamisel saadakse suuremad (u. 30 μm) lubjaosakesed (Helves 1996).

Traditsioonilisest lubjatootmisest ülevaate saamiseks on kogu tootmistsükkel esitatud Lisas 2.

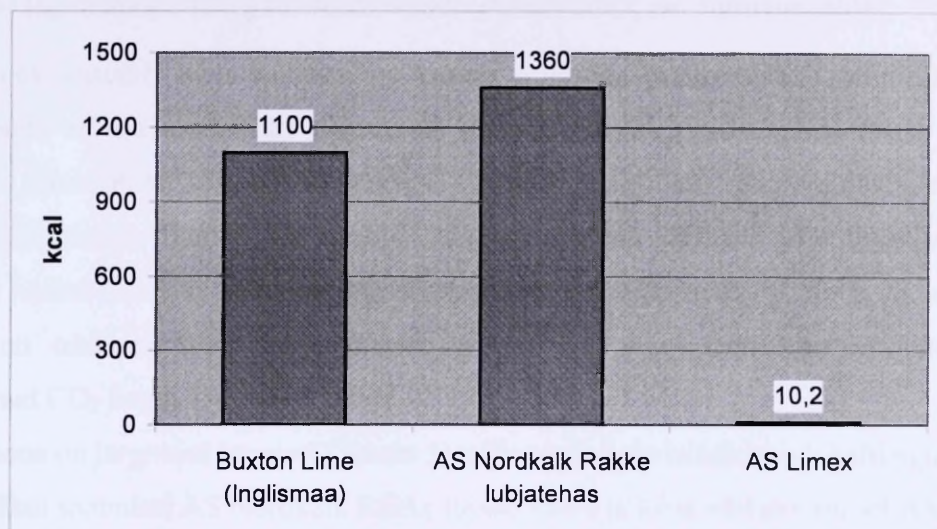
2.1. Traditsioonilise lubjatootja primaarenergiasisaldus ja CO_2 emissioon

2.1.1. AS Limexi lubja primaarenergiasisaldus

Pae põletamisprotsessis kasutab AS Limex küttematerjalina hästi kuivanud metsapuitu (kaske, haaba ja leppa) ja vanu majapalke (<http://www.limex.ee>).

Ühe ühiku lubja tootmiseks kuluva energiatarbe võrdluseks on järgnevale joonisele (Joonis 2) kantud lubja väiketootja AS Limex, lubja primaarenergiasisaldusega 10,2 kcal; Inglismaa tööstuslik lubjatootja Buxton Lime, lubja primaarenergiasisaldusega 110 kcal

(May 1998, *cit.* Jürmann 2004); Eesti tööstuslik lubjatootja AS Nordkalk Rakke lubjatehas, lubja primaarenergiasisaldusega 1360 kcal.



Joonis 2. Ühiku lubja tootmiseks kulunud energia (Jürmann 2004).

1 kg lubja energiasisalduse võrdlus näitab, et tööstuslikult toodetud lubja primaarenergiasisaldus on oluliselt suurem kui traditsiooniliselt toodetud lubjal. Võrreldes omavahel kahte eestimaist tootjat AS Nordkalk Rakke lubjatehast ja AS Limexit on vahe koguni ~130-kordne. Kahe tööstusliku lubjatootja võrdluses esinev vahe võib olla tingitud asjaolust, et Buxton Lime kasutab uuenenud tehnoloogiat, sealne lubjaahjude põletamisefektiivsus on oluliselt kõrgem (90 %) kui Rakke Lubjatehases kasutatavatel ahjudel (Jürmann 2004).

2.1.2. AS Limexi tootmisprotsessi CO₂ emissioon

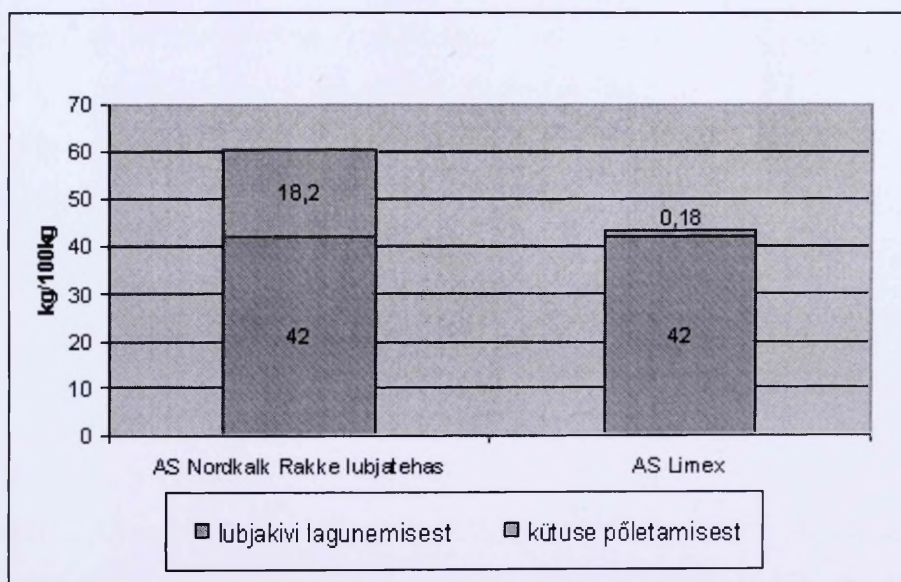
Globaalne soojenemine on suures osas tingitud kõrge süsinikdioksiidi emissioonist, milles suur roll on ka ehitussektoril. On kindlaks tehtud, et 5,4 % globaalsest CO₂ emissioonist tuleb tsemendi toomisest, samas kui lubjatootmisel eraldub oluliselt vähem süsinikdioksiidi (Pritchett 2004).

Lubja tootmisel vabaneb CO₂ kahel viisil: esiteks kütuste põletamisest lubjatootmise protsessis ning teiseks lubjakivi dekarboniseerumisel. Lubjakivi dekarboniseerumisel eraldunud CO₂ kogus sõltub toorainena kasutatava lubjakivi puhtusest. Keemiliselt puhas

lubjakivi sisaldab 56% CaO ja 44% CO₂ (Pritchett 2004). Kuna Eestis kasutatava kvaliteetse pae CaCO₃ sisaldus on keskmiselt ~95%, siis arvutuslikult eraldub 100 kg lubjakivi lagunemisel 42 kg süsinikdioksiidi (Perens 2003, *cit.* Jürmann 2004).

AS Limex kasutab lubja põletamisprotsessis kütusena puitu. Selline biomassi energia kasutamine ei lisa atmosfääri täiendavat süsinikdioksiidi kogust, kuna metsa kasvades seotakse fotosünteesi käigus samal hulgal süsinikdioksiidi, kui seda eraldus sama koguse puidu põletamisel. Samuti on Limexil toodangumahud väikesed ja lubjaahju asumine looduse keskel kindlasti kiirendab süsinikdioksiidi assimilatsiooni roheliste taimede poolt. Seega on traditsioonilise lubjatootmise probleemiks vaid dekarboniseerumise käigus vabanenud CO₂ kogus (Jürmann 2004).

Võrdlusena on järgneval joonisel (Joonis 3) välja toodud süsinikdioksiidi heitkogused lubja tööstuslikul tootmisel AS Nordkalk Rakke lubjatehases ja lubja väiketootmisel AS Limexis nii lubjakivi lagunemisest kui ka kütuse põletamisest (100 kg paekivi põletamisel).



Joonis 3. Süsinikdioksiidi emissioonide võrdlus ühiku lubjakivide põletamisel (Jürmann 2004).

Võrdlusest on näha, et AS Nordkalk Rakke lubjatehases on kütuse põletamisest eraldunud üle 10 korra rohkem süsinikdioksiidi, mis tuleneb asjaolust, et tööstuslik lubjatootja kasutab tootmisprotsessides Venemaalt imporditud maagaasi (Jürmann 2004).

Nagu eelnevalt sai mainitud, siis on AS Limexi lubjatootmisel probleemiks vaid lubjakivi

lagunemisest eraldunud CO₂. Seega võib tunduda, et globaalse soojenemise seisukohalt ei ole lubjatootmine suure süsinikdioksiidi emissiooni tõttu just dekarboniseerumise seisukohalt kuigi keskkonnasõbralik. Kuid siinjuures tuleks tähelepanu pöörata lubja ainulaadsele omadusele. Nimelt on lubja kui ehitusmaterjali tsüklil kinnine, sidudes kivistumisel õhust süsinikdioksiidi. Protsess on küll aeglane, kuid põhimõtteliselt seotakse sama kogus CO₂, mis põlemisel eraldus, kompenseerides seega tootmisel keskkonda pääsenud süsinikdioksiidi hulka. Siinjuures esineb ka erandeid, kus süsinikdioksiidi sidumine võib olla takistatud. Sellised olukorrad tekivad lubja kasutamisel CO₂-vaestes kohtades, näiteks paksudes seintes või maa all (May 1998, *cit.* Jürmann 2004)

Kokkuvõtvalt võib öelda, et kuna lubja kui ehitusmaterjali tsüklil on kinnine ja AS Limex kasutab lubjatootmisel küttematerjalina puitu, siis nii primaarenergiasisalduse kui süsinikdioksiidi emissiooni poolest on Saaremaal tegutsev traditsiooniline lubjatootja vägagi keskkonnasõbralik ettevõtte.

3. Lubja kasutamine ehitismörtides

Lubimörti on ehitamisel kasutatud aastasadu. Lihtsate materjalide, tööriistade ja meetoditega ning põlvest põlve edasi kantud kogemuste varal on ehitatud ilusaid ja vastupidavaid hooneid (Åkesson 2003). Just selletõttu on tänapäeval üheks olulisemaks lubja kasutamise valdkonnaks vanade kultuuriajalooliste väärtustega hoonete ja rajatiste renoveerimine, mille puhul on tähtis samade materjalide kasutamine. Sellised rajatised nagu Jaani kirik Tartus, Toompea loss, tuletornid ja Tallinna vanalinn on ehitatud sajandeid tagasi, kus põhiliseks sideaineks on lubi (Uuetalu 2000). Töö lubitoodetega on suuresti käsitöö, mis eeldab ettevalmistatust ja kannatlikkust. Vanu tarkusi aluseks võttes õnnestub töö lubjaga alati ja samuti kestavad ehitised mitmeid inimpõlvi (Åkesson 2003).

3.1. Mörtide täiteained

Mördi koostisest moodustab enamik täitematerjal ning selle valikust sõltuvad paljud mördi omadused, seejuures ka tugevusomadused. Ajalooliste lubimörtide puhul on täitematerjali valikul sageli esmatähtis materjali kättesaadavus. Kuna transpordivahendina oli kasutatavad hobune ja inimtööjõud, siis sageli oli näiteks liiva valikul otsustavaks teguriks võimalikult lühike transpordikaugus (Uuetalu 2003).

Liiva võib üldiselt jagada kahte gruppi: jämedam, teravate nurkadega setteliiv, mis sisaldab peeneid osakesi ja vähe ka huumust ning mereliiv, mille koostisosad on ümarad ja mis ei sisalda peeneid osakesi peale vähese meresoola. Peen osa on oluline, kuna hoiab mördis kinni niiskust ja võimaldab seega paremat karboniseerumist. Seetõttu pole mereliiv eriti sobiv lubimördi valmistamiseks. Nõutav on kõva kvartslüiv, mis ei sisalda enam kui 3% savi, savimulda või orgaanilist ainet. Oluline on ka liiva puhtus: liiv peab olema orgaanika- ja tolmuvaba (Helves 1996). Täiteaine soovitatav granulomeetriline jaotus nii mörtide kui ka erinevate krohvide osas on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Soovitatav täiteaine jaotus. Sõela läbiv osa, % (Helves 1996).

<i>BS 410 sõelad, mm</i>	<i>Mördid</i>	<i>Aluskrohvid</i>	<i>Lubikrohvid</i>	<i>Kipskrohvid</i>
5	100	100	100	100
2,36	90-100	90-100	100	100
1,18	70-100	70-100	90-100	90-100
0,6	40-100	40-80	55-100	55-100
0,3	5-70	5-40	5-50	5-50
0,15	0-15	0-10	0-10	0-10

Peale liiva kasutatakse mörtides veel täitelupja, mida valmistatakse jahvatatud lubjakivist ja mille terasuurus on 0-2 mm. Seda kasutatakse eriti viimistlusmörtide korral (Helves 1996). Ka ajaloolised lubimörtide puhul on kindlaks tehtud, et neis sisaldus suhteliselt palju täitelupja, kuid tol ajal ei lisatud seda kindla eesmärgiga, vaid lubjapõletamine oli niivõrd ebaefektiivne, et see sisaldas suurel hulgal ala- ja ülepõletatud lupja, mis hiljem täitis oma ülesannet mördis täitematerjalina (Uuetalu 2003). Purustatud lubjakivi kasutamist näeb ette ka traditsioonilise lubjamördi retsept.

Mitmesuguste täiteainete kasutamine on limiteeritud peamiselt nende tera suurusega, kuna sellest sõltub mördi struktuur ja seega ka paljud olulised omadused, lisaks tugevusele ka näiteks poorsus (Helves 1996).

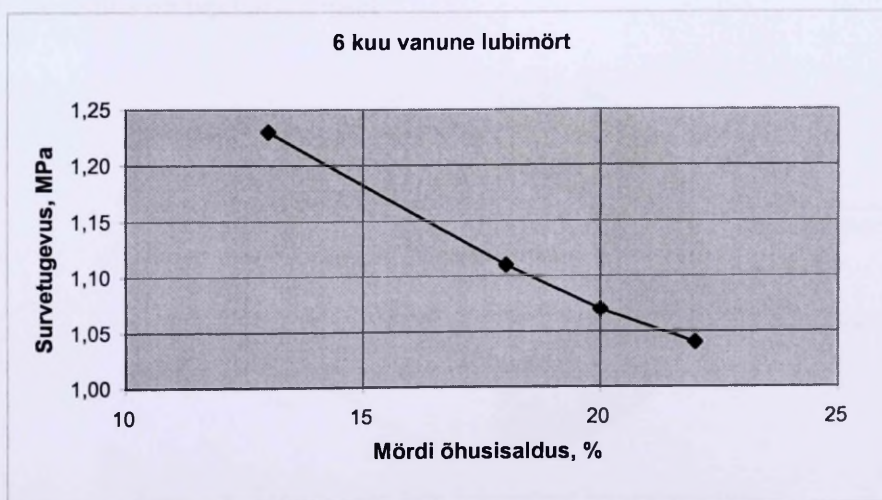
3.2. Mördilisandid

Mördi lisanditena tuleb käsitleda eelkõige hüdrauilisi ja orgaanilisi lisandeid. Eesmärk on mõlemal juhul sama: parandada mördi omadusi. Tähtsamad mördilisandid on mördi tihendavad lisandid ning õhupooritekitajad (Helves 1996).

Hüdrauilist lubimörti on võimalik saada mitmesuguste hüdrauiliste lisandite lisamisega. Laiemas mõttes on kõik hüdrauilised lisandid amorfset SiO_2 ja Al_2O_3 sisaldavad materjalid. Nende põhiomaduseks on reageerimine vesilahuses $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ga, moodustades peamiselt kaltsiumhüdrosilikaadi ja kaltsiumhüdraluminaadi (Helves 1996). Peale selle kasutatakse praktikas hüdrauiliste omadustega lubimördi saamiseks tsementi. Mördi väike osa sideainelubjast asendatakse tsemendiga, mida saab kasutada niiskes keskkonnas olevate müüride ladumiseks ja krohvimiseks (Åkesson 2003).

Läbi aegade on mördile lisatud ka mitmesuguseid (sageli müstilisi) orgaanilisi lisandeid nagu mune, piima, lõssi, puhast kaseiini, verd, molluskeid, mett, suhkrut, õlut, äädikat, õli, vaha, loomarasva, bituumenit, uriini, loomakarvu jm. Karvade lisamisel võib arvata teatava armeeriva ehk siduva efekti tekkimist. Lahustunud valguliste ainete lisamine tõstab aga veekindlust ja toimib arvatavasti ka plastifikaatorina. Mõnedel juhtudel tekib orgaanilise (nt õlu) või mõne muu (nt uriin) aine lisamisel käärimise ja gaaside lendumise tulemusena tühimikke. Niimoodi valmistati varajast gaasbetooni. Teada on mitmeid tänaseni hästi säilinud ehitisi, mille püsivuse aluseks on nimelt selliste lisandite manuluse läbi saavutatud veekindlus. Siin on tegu lahustumatute Ca ühendite tekke või ka lihtsa hüdrofobiseerumisega. Nende kasutamine arvatakse peamiselt olevat tingitud hüdrauliliste lisandite mittekättesaadavusest varasematel aegadel. Lisandite hulka arvatakse ka saepuru, õled jm. orgaanilise päritoluga täide, mille abil saavutatakse suurem poorsus ja soojapidavus (Helves 1996).

Mördi pooremaks muutes tähendab, et sinna viiakse sisse õhku õhumullikeste näol. Tuleb arvestada asjaoluga, et proportsionaalselt sisseviidava õhu hulgaga väheneb esiteks mördi tihedus. Teiseks tähendab õhusisalduse suurendamine ka mördi tugevuse vähenemist sama vesisideaine suhte korral (Uuetalu 1997). Katseliselt on tõestatud, et 6 kuu vanuse mördi puhul õhusisalduse kasvu 13% - 22% vähendas mördi survetugevust 1,23 – 1,04 MPa, ehk - 15%(Uuetalu 2003). Joonisel 4 on kujutatud 6 kuu vanuse mördi survetugevuse sõltuvust õhusisaldusest.



Joonis 4. Lubimördi, mahulise seguvahekorraga 1:3 (lubjapasta:liiv), survetugevuse sõltuvus mördi õhusisaldusest (Uuetalu 2003).

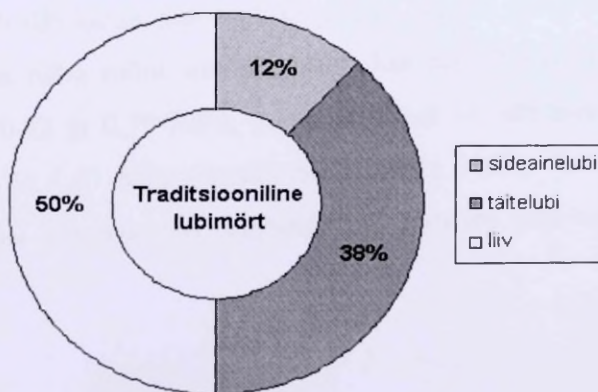
3.3. Erineva koostise ja seguvahekordadega lubimördid

Vanasti valmistati mörti tavaliselt lubjaaugus, kus oma tarbeks põletatud ja kustutatud lubjale lisati liiv, mis hoolikalt lubjaga segati. Pärast mõnepäevast järelkustumist segati mörti uuesti ja seejärel oli see müüri ladumiseks ning krohvimiseks valmis (Helves 1996). Tänapäeval on lubjapastat saada igas hästivarustatud ehitusmaterjalide poes ja lupja kasutaval ehitusmehel jääb üle vaid pasta ja liiv hoolikalt segi kloppida või vispeldada. Veelgi mugavamaks variandiks on osta poest valmis lubiliivsegu, mida Eestis toodavad ja turustavad AS Uninaks ja AS Silikaat. Käesoleva töö praktilises osas on lisaks isevalmistatavatele lubimörtidele võrdluseks vaatluse alla võetud AS Uninaks poolt toodetav lubiliivsegu „Lubikrohv renoveerimistöodele“.

Parim komponentide suhe mördis on selline, kus on täpselt niipalju sideainet, et ta moodustaks täitematerjali terade vahel õhukese kelme, mis terad omavahel hästi seob (Helves 1996).

3.3.1. Traditsiooniline ja harilik lubimört

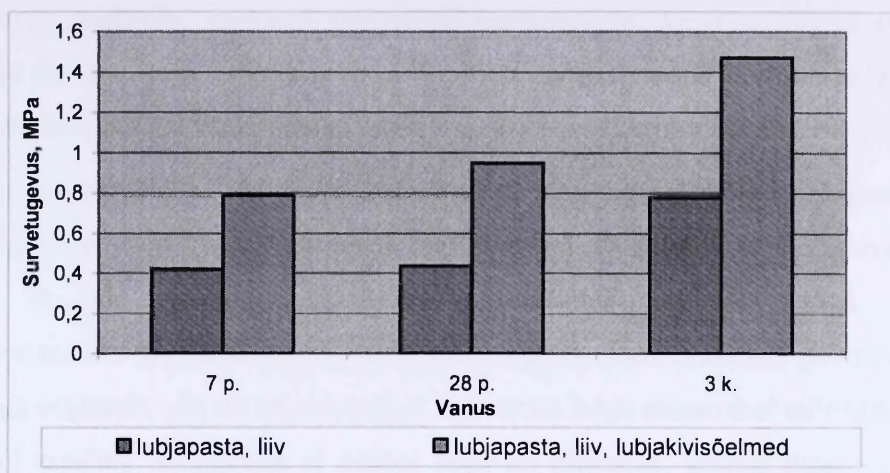
Traditsioonilise lubimördi retsepti on kasutatud siiani püsivate vanade majade ehitamisel. Selle retsepti kohaselt tuleb võtta üks kaaluosa lupja ja üks kaaluosa liiva (1:1). Kusjuures lubjas on sideainelubja ja täitelubja vahekord 1:3 (Åkesson 2003). Komponentide täpne protsentuaalne jaotus on toodud joonisel 5.



Joonis 5. Traditsioonilise lubimördi komponentide protsentuaalne jaotus (Åkesson 2003).

Selle retsepti võtsid ca. 40 aastat tagasi kasutusele Rootsi ehitusmeistrid, kes on siiani edukalt kasutanud lubimördis täiteainena lubjakivisõelmeid. Sel moel tehtud tööd on näidanud aastakümnete jooksul häid püsivusomadusi (Uuetalu 2003). Selliselt saadav kõrge lubjasisaldusega mört on väga heade omadustega, alludes erinevatele deformatsioonidele (vt. peatükk 3.6. Mörtide püsivust mõjutavad tegurid). Traditsioonilisele lubimördile ei lisata konsistentsi ja pooride hulka mõjutavaid keemilisi aineid (Åkesson 2003). Selline retsept on teada saadud ajalooliste mörtide uurimustulemustel. Nii mujal maailmas kui ka Tallinna Tehnikaülikooli katselaboris läbi viidud mitmete vanade mörtide katsetamistulemused on näidanud väga lubjarikaste mörtide kasutamist (1:1 kuni 2:1 lubi:liiv). Kui aga üritada valmistada tänapäeval toodetavast lubisideainest ja liivast mörti massivahekorraga 1:1, siis on tulemuseks mört, mille mahukahanemised kivinemisel teevad mördi kasutamise võimatuks. Seletus seisneb selles, nagu eelmises peatükis „Mördi täiteained“ on kirjeldatud, siis iidsete ehitusmeistrite kasutatavates lubjapastades leidis suurel hulgal halvasti põlenud lupja. Kuna tänapäeva tööstus võimaldab toota aga üle 90% CaO sisaldusega lupja, siis viiakse rootslaste praktiliste kogemuste alusel nõ. “ajalooline lubjatootmispraak” mörti sisse lubjakivisõelmete näol (Uuetalu 2003).

Pärastsõjaaegsetes segudes kasutati vaid kivistumiseks vajalikku sideainelupja. Täitelupja ei lisatud ja selle asemel kasutati täitematerjalina ainult liiva. Selliselt saadava liivarikka segu, kus on üks mahuosa lupja ja kolm mahuosa liiva (1:3), omadused, jäävad tunduvalt alla traditsioonilisele lubimördile (Åkesson 2003). Just ehitusfüüsikaliselt kõige olulisema teguri, survetugevuse osas võib täheldada suurimat erinevust. Nimelt purustatud lubjakivi kasutamisel täitematerjalina on näha mõju survetugevuse kasvule, 7 päeva vanuselt on survetugevus suurem 88% e. 0,42 ja 0,79 MPa; 3 kuu vanuselt on sõelmetega lubimört tugevam samuti 88%, e. 0,78 ja 1,47 MPa (Joonis 6) (Uuetalu 2003). Samuti on kahel erineval mördil ka muid olulisi erinevusi (vt. peatükk 3.6. Mörtide püsivust mõjutavad tegurid).



Joonis 6. Lubjakivisõelmetega mörtide survetugevused võrreldes lubi-liiv mördiga (Uuetalu 2003).

Põhjuseks, miks lubjakivi kasutamine mördi täitematerjalina tõstab mördi tugevust on asjaolus, et lubjakivil on väiksem kõvadus võrreldes räniliivaga. Juhul kui mördis puutuvad liivaterad üksteise vastu, siis suhteliselt nõrk lubimört (võrreldes tsementmördiga) puruneb koormamisel hapralt. Lubjarikas lubimört seevastu on võimeline tänu väiksema kõvadusega lubjakivi sisaldusele deformeeruma “plastselt” ja jaotama mördi struktuuri siseselt koormusi ringi enne lõplikku purunemist (Uuetalu 2003).

Traditsioonilise lubimördi vastu räägib aga asjaolu, et lubi-liiv mörtidel on oluliselt parem külmakindlus (vt. Joonis 7) (Uuetalu 2003). Seega tuleb teatud ettevaatlikkusega suhtuda lubjakivisõelmeid sisaldava mördi kasutamisse välitingimustes.

Kuna traditsioonilisel lubimördil on olulised eelised tavalise, seguvahekorraga 1:3 mördi ees, siis käesoleva bakalaureuse töö praktilises osas on antud mörte ka käsitletud ruumikliima seisukohast.

3.3.2. Sõelumata lubjapastast lubimört

Lubimörti, mis on valmistatud lubjapastast, mis sisaldab rohkelt üle- ja alapõlenud lubjakivi, on teadupärast kasutatud laialdaselt vanades lubimörtides. Nagu eelpool sai mainitud, siis sellise lubjapasta kasutamise tingis halb lubjakivi põletamisefektiivsus. Et sellist lubimörti tänapäeval kasutada, on tarvis nn. halvasti põlenud lubjakivi sisaldavat lubjapastat, mida eritellimusel toodab AS Limex. Sellise lubjataigna kasutamist võib võtta

alternatiivina tavalisele, sõelutud lubjapasta kasutamisele, kuna sel moel saavutatakse võimalikult sarnane iidne lubimört. Kuid et sellest pastast valmistatud mörte laialdasemalt kasutada, oleks kindlasti vajalik sellest mördist valmistatud krohvide täpsemad katsetused.

Siinjuures on veel oluline tõdeda, et kuna üle- ja alapõletatud osised sideaines kustuvad väga aeglaselt ja neil puuduvad head sideainelised omadused, siis erinevate allikate andmetel ei ole sellisest sideainest valmistatud lubimört väga kvaliteetne (<http://www.eau.ee/~mst/ehitusmater.pdf>). Kuid samas, kuna halvasti põlenud lubjakivi kustub väga aeglaselt, siis on täheldatud, et kustumata lubja esinemisel mörtides on ka rida positiivseid aspekte. Väidetakse et selline segu on plastsem, aidates lubja kokku hoida. Samuti kustutamata osised lubjas eraldavad soojust, kiirendades seega kivistumisprotsessi. Talvel on soojuseraldus positiivne, väldib külmumist ja soodustab liigse vee aurustumist (Åkesson 2003). Kustutamata lubja kasutamisel on tavaliselt ulatuslikum ka liiva ja lubja vaheline reaktsioon, mil vastavatel piirpindadel tekib õhuke kaltsiumsilikaadi kiht (Helves 1996).

Kuna on teada, et üle- ja alapõlenud osiseid sisaldavast sideainest mördid ehitistes püsivad tänaseni, siis autori arvates oleks sellise mördi niiskusereguleerimisvõime uurimine igati asjakohane. Antud mördisegu soovitas uurida ka AS Limexi juhataja Priit Penu, kelle sõnul on täheldatud, et nii ala- kui ülepõletatud lubjakivi osiseid annavad lubimörtidele nn. karkassi. Peale selle soodustavad tükid Penu sõnul õhu sattumist mörti, mille tulemusena on karboniseerumine efektiivsem (Penu 2005).

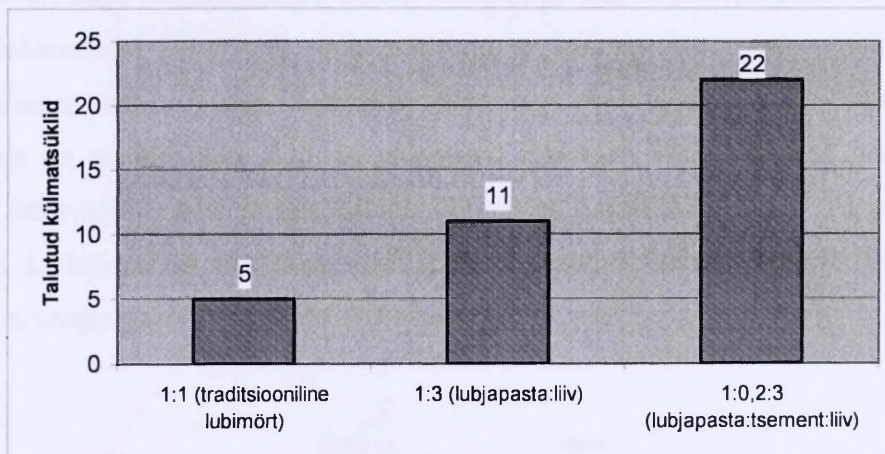
3.3.3. Lubitsemementmört

Kui eelpool mainitud lubimördid ei ole sobivad väga niiskes keskkonnas kasutamiseks, siis tsementi sisaldav lubimört sobib nii niiskes keskkonnas olevate müüride ladumiseks kui ka krohvimistöodeks. Seega, et saada hüdrauliliste omadustega lubimört, selleks lisatakse mördile tsementi. Katseliselt on tõestatud, et tsementi sisaldav lubimört on lubi-liiv lubimördist mõnevõrra suurema survetugevusega (Tabel 2).

Tabel 2. Erineva koostisega lubimörtide survetugevused 28 päeva vanuselt (Uuetalu 2003).

Mördi koostis	Survetugevus, N/mm ²
Lubi, liiv (suhe 1:3)	0,78
Lubi, tsement, liiv (suhe 1:0,2:3)	1,02
Lubi, purustatud lubjakivi, liiv (suhe 1:3,16:4,16)	1,47

Kõige olulisemaks asjaoluks, miks lubimördile lisatakse tsementi, võib pidada tema paremat vastupanu külmale. Joonisel 7 on välja toodud traditsioonilise lubimördi (1:1) hariliku lubimördi (1:3) ja lubitsementmördi (1:0,2:3) külmakindluse võrdlus, kus on näha, et lubitsementmördil on olulised eelised külmakindluse osas (Uuetalu 2003).



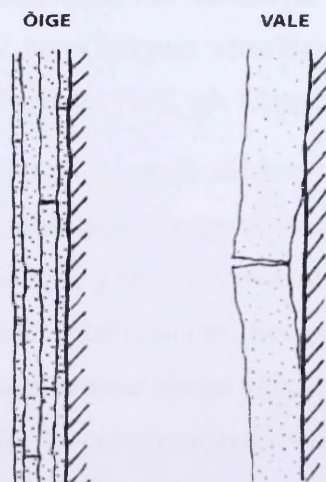
Joonis 7. Lubi ja lubitsementmördi külmakindluse võrdlus (Uuetalu 2003).

Kuna lubitsementmört sobib paremini niiskettesse ruumidesse, tema survetugevuse ning eriti külmakindluse osas on olulised eelised, siis ka see mört on valitud praktilisse ossa katsetamiseks.

3.4. Lubimördiga krohvimine

Puhtad lubikrohvid on väikese survetugevusega, aga väga hea aurujuhtivusega. Ehitustehniliselt on tõestatud, et lubimördiga laotud müüride sobivaimaks katteks on vaid lubikrohv, mis omakorda tuleks katta lubivärviga (Åkesson 2003). Muinsuskaitsealuste objektide krohvimisel kasutatakse sageli lubikrohve.

Krohvimistöid saab teha, kui keskmine õhutemperatuur on üle +5 °C. Külмага välitingimustes töötades võib tellingutele paigaldada talvekatte, mille tagust õhku saab soojendada. Enne krohvimistöde algust niisutatakse müüritist tugeva ja ebaühtlase imendumise vältimiseks puhta veega. Esimeseks krohvikihiks on sisseviskekiht, milles kasutatakse lubimörti mille liivaterade läbimõõt on kuni 3 mm. See on õhuke (1-5 mm) kiht ja peab katma kogu pinna ühtlaselt. Sisseviskekihti ei siluta. Järgmistel kihtidel, mida nimetatakse täitekihtideks, kasutatakse samasugust mörti. Mörti visatakse kelluga või pritsitakse mördipritsiga õhukeste (5-7 mm) katvate kihtidena, kuni saavutatakse ettenähtud krohvipaksus. Krohvikihite tuleb teha viis või isegi rohkem, kusjuures peale igat kihti tuleb anda piisavalt aega tahenemiseks. Üks krohvikihit ei tohi olla väga paks, kuna see viib pragude tekkimiseni (Joonis 8). Viimistluskihi tegemiseks kasutatakse lubimörti, mille liivatera suurus kuni on 1 mm. Selle kihi tegemisega peab ootama, kuni viimase täitekihi kivistumine on alanud ning pind on muutunud imavaks. Mört kantakse peale õhukese kihina ja hõõrutakse aluspinnaga kokku. Soodsates tingimustes kulub 10 mm paksuse lubikrohvi kivistumiseks üks kuu. Kuid karboniseerumise kiirendamiseks võib aegajalt niisutada süsihappegaasirikka veega (Åkesson 2003).



Joonis 8. Õigesti ja valesti seinale kantud lubikrohvi võrdlus.

Eesti sisekliima nõuab müüridele ca 15 mm paksust lubikrohvi kihti. Rannikukliima on krohvi suhtes karmim ja seal peab krohvikihhi paksus olema ca 25 mm ja müür, mis on

tehtud looduslikest kividest, peab olema veelgi paksem. Puitkonstruktsioonide krohvikihhi paksus peab olema 4-8 cm (Åkesson 2003).

Lubikrohvi ei tohi krohvida ega lappida tsementkrohviga, mille vastu vahel eksitakse. Põhjus on selles, et fassaadil asetsevad kihid peavad olema koostatud nii, et seespool on tugevamad ning väljapool nõrgemad kihid. Vastasel juhul tekivad seinakonstruktsioonis pinged, mis viivad pragude tekkeni (<http://www.tarmatrade.ee/kasulik4.htm>) (vt. ka peatükk 3.6. Lubimörtide püsivust mõjutavad tegurid).

3.5. Lubimörtide kivistumine

Lubimört on ainulaadne sideaine. Erinevalt teistest mörtidest (näiteks kips- ja tsementmördid), mis moodustavad vee toimel siduva kristallstruktuuri, peab lubimört ühinema õhu süsihappegaasiga. Selle protsessi efektiivsemaks toimumiseks on otstarbekas tagada ruumides normaalsest kõrgem niiskusesisaldus. Juhul kui õhu relatiivne niiskus ja sellega seoses ka mördi niiskus on liiga madal, toimub karboniseerumisprotsess väga aeglaselt või peatub sootuks (Uuetalu 2000). Niiskusel on oluline mõju mörtide survetugevusele. Näiteks, kui kivinemine leiab aset relatiivse niiskuse 70% või 95% juures, siis mördi survetugevus võib olla, olenevalt lubimördi koostisest, õhu 95% relatiivse niiskuse juures kivinemisel üle 2 korra kõrgem võrreldes kivinemisega õhuniiskuse 70% juures (seda 90 päeva vanuselt) (Perander 1985, *cit.* Uuetalu 2003).

Karboniseerumine on tundlik protsess ja peale niiskuse sõltub see veel temperatuurist, seotava materjali tihedusest ning poorsusest. Temperatuuri suhtes on katseliselt tõestatud, et nii 28 päeva kui 3 kuu vanuselt oli +5°C juurest kivistunud lubimördi survetugevus ca. 47% madalam kui lubimördil mis kivines +20°C juures. Seega peab lubimördi kivinemise ajal ümbritseva keskkonna ja mördi temperatuur olema vähemalt +8°C. See tähendab, et juhul kui teostatakse töid ilmastikuoludes, kus ööpäeva jooksul langeb temperatuur alla +8°C, siis pidurdub mördis karboniseerumisprotsess. Siit ka põhjus, miks on soovitatav lõpetada välitingimustes (näiteks fassaadi) tööd lubimörtidega augusti keskel. Sel moel on lubimördile tagatud ca. 1 kuu aega karboniseerumiseks enne öiseid temperatuurilangusi alla +8°C (Hein 1999).

3.6. Lubimörtide püsivust mõjutavad tegurid

Nii vanades kui ka uutes hoonetes kasutatavate müüri- ja krohvimörtide püsivust mõjutavad mitmed faktorid. Et lubimörte ka tänapäevaste hoonete rajamiseks edukalt kasutada, on vaja teadmisi lubimörtide „hingeelust“. Selleks, et neid teadmisi täiendada, on vaja tundma õppida lubimörtidele mõjuvaid kahjulikke tegureid ja nende toimet lubimörtide püsivusele. Kõige otstarbekam on analüüsida vanu lubimörte ja selgitada, kuidas need on erinevates keskkonnatingimustes toime tulnud .

Üheks olulisemaks teguriks on erinevate materjalide kokkusobivus. Olulised on nii mörtide tugevused aluspinna suhtes, kui ka nende käitumine temperatuuri-, niiskuse- ja külmamõjude all. Viimased peavad olema võimalikult sarnased teiste konstruktsioonis asetsevate materjalide omaga (Perander 1985, *cit.* Uuetalu 2003).

3.6.1. Vesi ja niiskus

Niiskus on ühelt poolt vajalik lubimördi kivinemisprotsessi – karboniseerumise kiirendamiseks, kuid samas on nii vesi kui ka niiskus ühed efektiivsemad mördi lagundajad, seda nii otseselt kui kaudselt (Uuetalu 2003). Vee ja niiskuse kahjustav mõju on kõige problemaatilisem just lubimörtide kasutamisel välitingimustes.

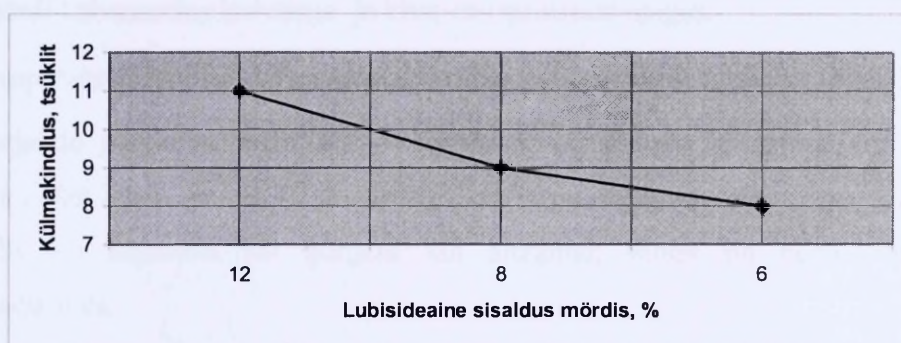
Ühe esimese põhjusena konstruktsioonis kõrge niiskusesisalduse tekkeks võib nimetada sademete mõju. Sageli on ehitise kahjustused saanud alguse sellest, et katus laseb läbi või sadevete ärajuhtimine hoonest kaugemale on problemaatiline. Need on olukorrad, kus ei ole mõtet oodatagi, et lubimört ega ka paljud teised ehitusmaterjalid oleksid püsivad. Kui on tegemist sellisel moel suurte veehulkadega müüri uhtumisega, siis on esmased müürikonstruktsiooni kahjustuste põhjused vee külmumine lubimördi poorides ja sideaine lahustamine ning välja uhtumine lubimördist (Uuetalu 2003).

Sadevetest tingitud müüri- ja krohvikahjustused ei ole alati tingitud konstruktiivsetest vigadest vaid mõnikord on sadevete juurdepääsu takistamine krohvipinnale peaaegu vältimatu. Selline olukord leiab aset näiteks tänu tuulele, mis surub riivvihma vastu seinale. Ka sel moel võib saada krohvipind vihma tagajärjel veega küllastunuks (Uuetalu 2003).

Analoogne krohvipinna küllastumine veega võib olla tingitud ka suure õhuniiskuse korral veeauru kondenseerumisest külmadele kivipindadele. Veeauru kondenseerumine krohvi

pinnale leiab aset ka hoone sisemuses. Näiteks halvasti soojustatud seintes esineb külmasildu, mis on ümbritsevast seinapinnast oluliselt jahedamad. Nendele jahedatele aladele toimub samuti õhust veeauru kondenseerumine (Hein 1999).

Kuna seinale kantud lubimört imeb endasse hästi sügisest ja kevadist vihmavett, siis võib kondenseerumise kui ka muul moel krohvi sattuv vesi olla ohtlik, seda eriti talvel. Juhul kui krohvi pind ja värv küllastuvad veest ja vesi ei jõua enne külmumist olulisel määral aurustuda ega imenduda sügavamale müüri, siis külmade saabudes on kõik poorid vett täis ning toimub krohvi lagunemine vee külmumise tagajärjel. Seega peab seinale kantav krohv olema piisavalt paks ja ka lubjarikas (Åkesson 2003). Lubimördi külmakindluse sõltuvust lubisideaine sisaldusest mördis illustreerib joonis 9.



Joonis 9. Lubimördi külmakindluse sõltuvus lubisideaine sisaldusest mördis (Uuetalu 2000).

Joonisel nähtav seaduspärasus on seletatav sellega, et suurema sideainesisalduse juures muutub pooride iseloom nii, et mördis tekivad korrapäraselt jaotunud mikroõhumullid, mis erinevalt korrapärasu kujuga kapillaarpooridega mördist imavad endasse väiksema koguse vett (Uuetalu 2000).

Peale selle, et mörtide külmakindlust saab vähendada lubisideaine kontsentratsiooni suurendamisega, on üheks võimaluseks veel mörti õhku sisseviiva lisandi kasutamine. Katsete tulemusena on tõestatud, et õhku sisseviiva lisandi kasutamisel on lubimördi külmakindlus tõusnud 90% ja lubitsementmördil koguni 150%. Kui õhkusisseviiv lisand lahendab mörtide külmumisprobleemid, siis katsetused näitavad, et mörtide puhul, kus osa lubisideainest on asendatud lubjakivi sõelmetega (traditsioonilised lubimördid) vähendab

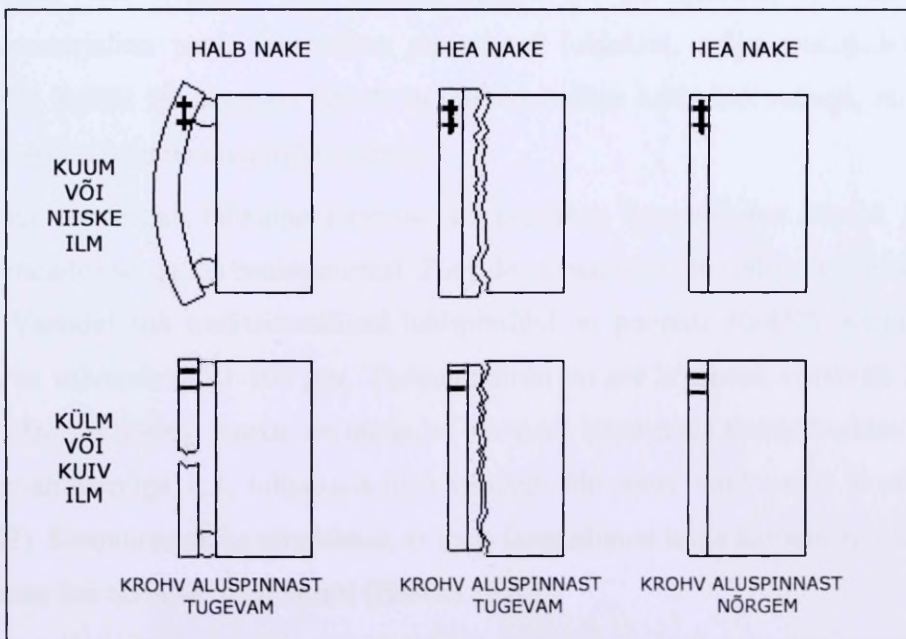
oluliselt mördi külmakindlust. Nimelt täheldati 55%-list madalamat külmakindlust, kui seda oli mördis mille täitematerjaliks oli vaid liiv (Uuetalu 2003).

3.6.2. Deformatsioonid

Nii krohvimördi ja selle aluspinna kui müürimördi ja müürikivide vahelised deformatsioonid on küllalt olulised mörtide püsivusomaduste mõjutajad. Tekivad surve-, tõmbe- ja nihkepinged mördi kokkupuutepinnal teiste müüri osadega. Olulisemateks pingete tekkepõhjusteks on (Uuetalu 2003):

- ehitise osade deformatsioonid (näiteks vajumised);
- mördi kahanemine kuivamis- ja kivinemisprotsessi käigus;
- temperatuuri ja niiskuse erinevused konstruktsiooni erinevates piirkondades.

Nii materjalide tugevusnäitajad kui deformatsiooniomadused määravad ära koha, kus lagunemine aset leiab. Joonis 10 illustreerib krohvi ja aluspinna purunemisviise juhtudel, kui: krohv on tugevam või nõrgem kui aluspind; krohv on heade või halbade nakkeomadustega.

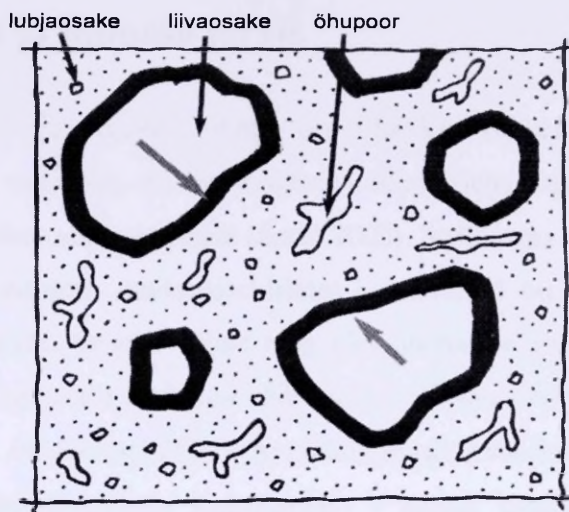


Joonis 10. Niiskuse ja temperatuurimuutuste mõju krohvi püsivusele (Karlsson 1997, cit. Uuetalu 2003).

Lubimörtide kuivamise ja karboniseerumise käigus leiab aset mördi mahukahanemine. On teada, et karboniseerudes tõmbub lubjapasta kokku ligikaudu 35% ulatuses (Helves 1996). Kuna õige täiteainesisaldusega lubimördid on võrreldes aluspinnaga tavaliselt palju väiksema tugevusega, siis sellised mahukahanemised ei kahjusta ka krohvi aluspinda (Uuetalu 2003).

Samamoodi võib probleemiks olla temperatuuri kõikumine. Nimelt on krohvimördi välimised kihid võrreldes alumiste krohvikihidega rohkem mõjutatavad. Kui krohvi pealispinna temperatuur tõuseb kiiremini (näiteks otsese päikese kiirguse käes) kui krohvi alumiste kihtide temperatuur, siis tekivad temperatuuripaisumiste tagajärjel krohvisisesed pinged. See võib viia jällegi krohvi lagunemiseni. Et minimeerida kuivamise ja karboniseerumise käigus tekkivat mahukahanemist, siis on üheks võimaluseks vähendada mördis vajaliku töödeldavuse saavutamiseks kasutatavat veehulka pindaktiivsete mördilisandite abil. Kuid kuna see väga ökoloogiline ega traditsiooniline viis pole, siis teise võimalusena on mahukahanemisi võimalik vähendada, kui lisada lubimörtidele täiteainet – purustatud lubjakivi. Selle lisamine aitab ka temperatuurikõikumistest tingitud deformatsioone vähendada. Seda seetõttu, et lubjakivi temperatuuripaisumiskoeffitsient on väiksem kui kvartsil, siis sellega seoses on ka mördid, milledes on kasutatud täitematerjalina peale kvartsliiiva purustatud lubjakivi, palju vastupidavamad (Uuetalu 2003). Sellest ideoloogiast lähtub ka traditsioonilise lubimördi retsept, mis näeb ette kuni 38%-lise täitelubja olemasolu mördis.

Samas suurendab täiteaine lisamine ka poorsust, kergendades niiviisi gaasivahetust ja kiirendades seega karboniseerumist. Pooride esinemist lubimördis on näitlikustatud joonisel 11. Vanadel ehk traditsioonilistel lubimörtidel on poorsus 30-45%, seejuures on pooride suurus vahemikus 0,1-100 µm. Tsementmördil on see tavaliselt vastavalt 20-25% ja < 0,1 µm (Helves 1996). Samas on teada, et viimasel kümnendil Eestis kasutatav mört (mahulise seguvahekorraga 1:3, lubjapasta:liiv) sisaldab õhupoore vaid ca.10 % ulatuses (Uuetalu 2003). Siinjuures on ka täheldatud, et kaua laagerdunud lubja kasutamisel on mördi poorsus suurem kui tavalise lubja korral (Helves 1996).



Joonis 11. Liivaterad on ümbritsetud lubjaosakeste ja õhupooridega, mis tagab lubimördile vajaliku elastsuse.

Kõrge lubjasisalduse eesmärgiks peetakse ka mördi iseparanemisvõime tekitamist. Nimelt on mitmete uurijate poolt täheldatud tekkinud mördipragude kadumist aja jooksul. Nähtust seletatakse sademevee abil toimunud vesinikkarbonaadi vahendatud kaltsiidi ümberpaigutamisega pragudesse. Selline mört on kokkuvõttes ka väga erosioonikindel. Kaasaegsed normid järgivad oluliselt suuremat liiva osakaalu, mis võib mõnevõrra tuleneda ka kaasaegse lubja suuremast puhtusastmest (Helves 1996).

4. Ruumikliima ja inimese tervis

Problemaatika “terve” ja “haige” ruumi osas hakkas rohkelt huvi pakkuma alates seitsmekümnendatest aastatest, mil energiakriisi tulemusena hakati ehitama tihedamaid ruume, eesmärgiga säästa soojusenergiat (Soon 2003). Sealhulgas on olulist rolli mänginud ka murrangulised muutused meie sisekliimas - kasvanud on pehme mööbli osakaal, levinud on kogu põrandat katvad vaibad ning õhuvahetus on energia kokkuhoiu huvides tihendatud ruumides ligikaudu 10 korda väiksem kui 30 aasta eest (The National Institute of Public Health 1999, *cit.* Samuel 2000). Arenenud maades veedavad inimesed keskmiselt üle 80% oma ajast mitmesugustes siseruumides – kodus, koolis, lasteaias, tööl. Niisiis mõjutab sisekeskkond oluliselt meie enesetunnet ja heaolu (Soon 2003).

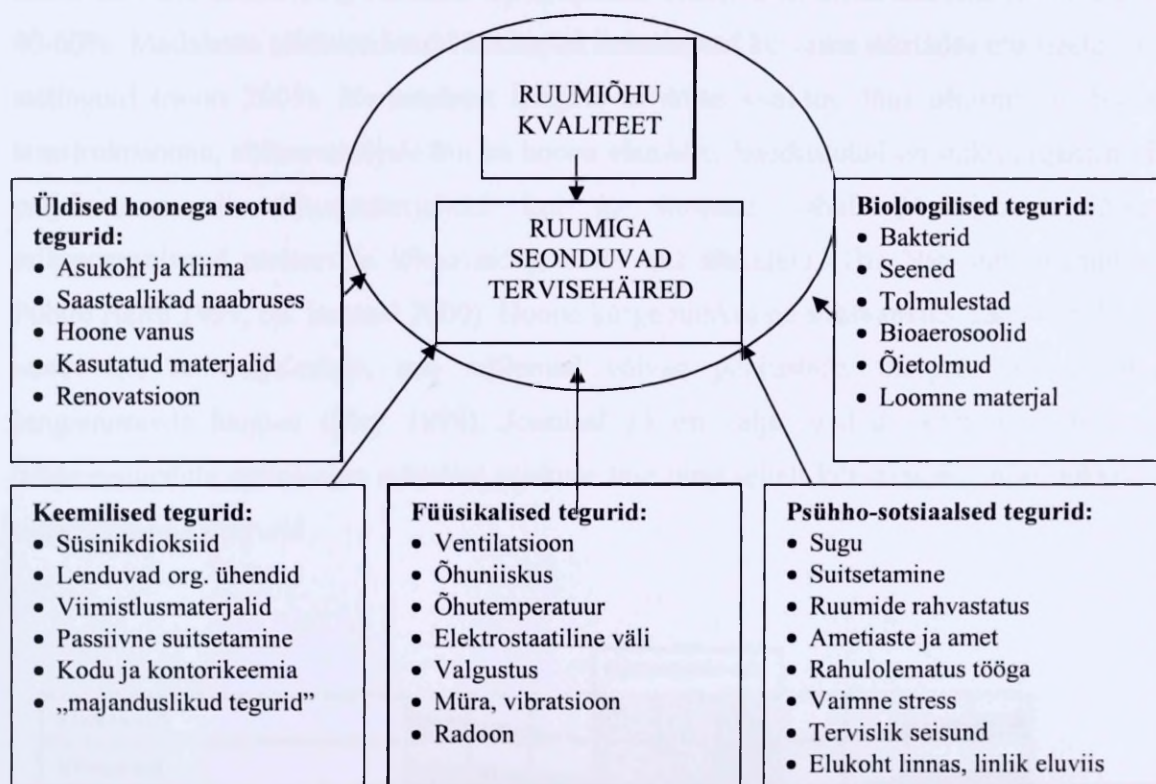
4.1. Sisekeskkonna terviseriskidest

Ebakvaliteetsest ruumiõhust põhjustatud tervisehäired jaotatakse mitmete autorite järgi nelja gruppi (Soon 2003):

1. Spetsiifilised haigused, milliste põhjus on teada, näiteks infektsioonahaigused;
2. Allergilised haigused ja reaktsioonid ruumides esinevatele ainetele;
3. Pika peiteperioodiga haigused, milliste näitena võib nimetada vähktõbe, põhjustatuna peamiselt kahest tegurist - radoonist ja passiivsest suitsetamisest. Ligikaudu 1/3 kõikidest vähijuhtudest arvatakse olevat põhjustatud meid ümbritsevast keskkonnast, sh. sisekeskkonnast;
4. Ruumiõhu sündroom, mis hõlmab teatud ruumiga seonduvaid kaebusi, kusjuures konkreetne põhjus jääb ebaselgeks.

Ruumiõhu ehk haige hoone sündroom on seni kindla definitsioonita sümptomite kompleks, milliste konkreetne põhjus on küll ebaselge, kuid esinemine on seostatav mingi kindla ruumiga (Soon 2003). Tavaliselt on tegemist mitmesuguste haigust tekitavate tegurite väikese intensiivse mõjuga, kuid paljude tegurite üheaegse ja väga kestva toimega (The National Institute of Public Health 1999, *cit.* Samuel 2000).

Maailma Tervishoiuorganisatsiooni (MTO) arvestuste kohaselt on arenenud riikides taolisi hooneid ligikaudu 1/3. Enamasti kaasneb kirjeldatud sümptomeile ka mitmeid ebameeldivaid aistinguid keskkonna tegurite osas: mitte-oludekohane ventilatsioon, sagedamini kõrge või madal õhutemperatuur ja õhuniiskus, hallitus, müra, tolmune õhk, ebameeldivad lõhnad, aga ka ruumide koristamise puudus (Soon 2003; The National Institute of Public Health 1999, *cit.* Samuel 2000). Joonisel 12 on skemaatiliselt välja toodud tervisehäirete võimalikud põhjused.



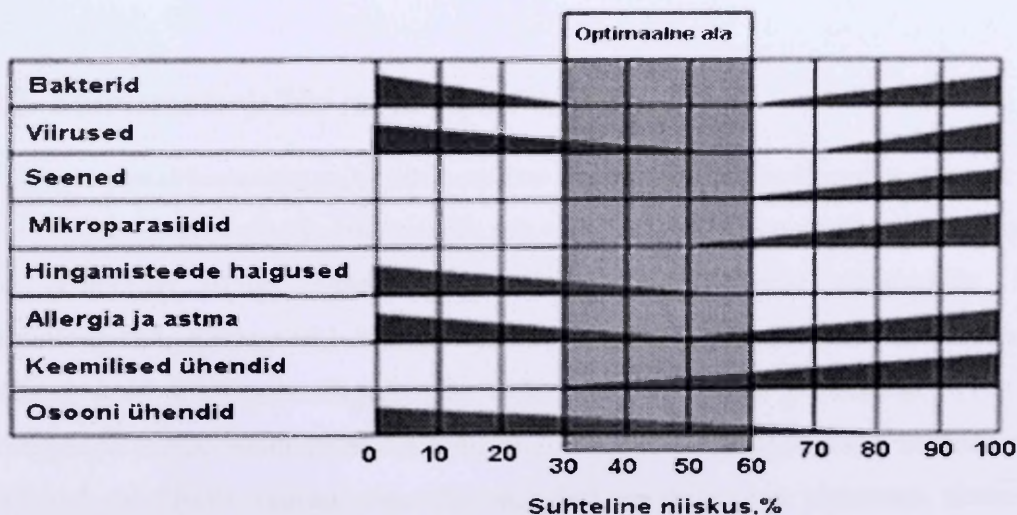
Joonis 12. Ruumiõhu sündroomi ja teiste ruumiga seonduvate tervisehäirete võimalikud põhjused (Soon 2003).

4.2. Ruumikliima olulisemad komponendid

Ruumisviibijad reageerivad ennekõike termilisele keskkonnale, mille tunnetamine sõltub meie tegevusest ja riietusest. Optimaalne temperatuur, mille juures inimene tunneb ennast hästi on isikuti erinev seoses erinevustega ainevahetuses. Seetõttu oleks parim lahendus selline, kus igaüks saaks ise reguleerida oma termilist keskkonda. Enamasti loetakse

sobivaks temperatuuriks 21-24 °C (The National Institute of Public Helth 1999, *cit.* Samuel 2000). Oluline selle juures on tagada, et kogu ruumis oleks ühtlane temperatuur. Ruumi eri osades ei tohiks temperatuur erineda horisontaalsuunas rohkem kui 2 °C ja vertikaalsuunas (põrandal ja 1,5 m kõrgusel sellest) rohkem kui 2,5 °C. Ööpäevane õhutemperatuuri kõikumine ei tohiks olla üle 3 °C (keskkütte korral) või 6 °C (ahikütte kasutamisel). Heaks peetakse kütteelementide monteerimist konstruktsioonidesse (põrand, sein) (Krooni 2000).

Sisekeskkonnas on olulisimaks niiskuseallikaks inimene ise. Isegi vähese aktiivsuse korral eritab inimene tunnis 40 g veeauru. Optimaalseks relatiivseks õhuniiskuseks inimesele on 40-60%. Madalama niiskuse korral hakkavad limaskestad kuivama tekitades ebameeldivaid aistinguid (Soon 2003). Normaalsest kõrgem niiskuse sisaldus õhus ohustab nii hoone konstruktsioone, ehitusmaterjale kui ka hoone elanikke. Soodustatud on mikroorganismide paljunemine nii ehitusmaterjalidel kui ka inimese nahal. Materjalidel võivad mikroorganismid emiteerida lõhnavaid ja ärritavaid ühendeid (The National Institute of Public Helth 1999, *cit.* Samuel 2000). Hoone kõrge niiskus on sobivamaks keskkonnaks nii voodi kui ka majalestale, mis mõlemad võivad põhjustada allergiat, astmat ning hingamisteede haigusi (May 1998). Joonisel 13 on välja toodud inimese tervisele ja mugavustundele optimaalne suhtelise niiskuse tase ning sellelt kõrvalekaldumisel tekkivad sisekeskkonna kahjurid.



Joonid 13. Inimese tervisele ja mugavustundele optimaalne suhtelise niiskuse tase (Energiasäästu portaal).

Hoones esinev kõrge niiskusesisaldus võib olla põhjustatud sademetest, pinnasevee kapillaartõusust või hoonesisesest tegevusest (May 1998; The National Institute of Public Helth 1999, *cit.* Samuel 2000). Mitmetel looduslikel materjalidel on võime reguleerida õhuniiskust ja hoida seda inimesele sobilikus vahemikus (Kuusemets 2004).

Temperatuuril kuni 24 °C normaalseks õhu liikumise kiiruseks ruumis loetakse 0,1-0,4 m/s, suurem tekitab tuuletõmbustunde, väiksema puhul on õhuvahetus problemaatiline (Krooni 2000). Olulisemateks õhu liikumise tekitajateks on küttesüsteemid, ventilaatorid, inimeste liikumised ja liiga soojade või külmade pindade esinemine ruumis (The National Institute of Public Helth 1999, *cit.* Samuel 2000). Näiteks põhjustab radiaatoriküte õhu kiiret liikumist ruumis, millega kaasnevad tolmuosakeste lendumine ja õhu negatiivne ionisatsioon, mis mõjuvad kahjulikult inimese tervisele (Kuusemets 2004).

Konkreetsena võib välja tuua akende mõju ruumikliimale. Nimelt Saksa teadlased tõestasid, et vanade puuraamidega akende vahetamisel uute plastraamidega pakettakende vastu on võit ruumide temperatuuri osas märkimisväärne (ca 4°C), ent vähenenud õhuvahetuse tõttu suureneb samas õhu absoluutne niiskus, tolmu- ja antigeenide kontsentratsioon vaipades, samuti suureneb hallitusspore hulk tolmus. Ka ventilatsioonisüsteemide areng ei ole probleemile lahendust toonud, mõnigi kord on efekt vastupidine - liiga „kunstlik” keskkond osutub inimorganismile vastuvõetamatuks (Soon 2003).

4.3. Ehitusmaterjalide mõju ruumi kliimale

Viimaste aastakümnetega on traditsiooniliste materjalide ja tehnoloogiate asemele pürginud uued ehitustehnoloogiad ja –materjalid, mis sageli leiavad kasutajasõbralikkuse just ehitajat või remontijat silmas pidades, jättes mõju sisekeskkonnale tahaplaanile. Nii uutel tehnoloogiatel, materjalidel kui ka hoonete sisustusel on ehitamise seisukohast ilmsed eelised, kuid siseõhu kvaliteedi osas võib täheldada olulisi puudujääke. (The National Institute of Public Helth 1999, *cit.* Samuel 2000). Puuduvad teadmised, millised materjalid millistel asjaoludel võivad muutuda sedavõrd, et hakkavad ohustama sisekeskkonnas viibijat (Soon 2003).

Paljude materjalide puhul aga on tänini üksnes oletused. Teadlaste ees seisvad probleemid on ühelt poolt seotud asjaoluga, et paljude kahjulike ühendite kontsentratsioonid siseruumides on enamasti väga väikesed ning teiselt poolt jällegi tõigaga, et mitmete ühendite koosmõju – ka üliväikeste kontsentratsioonide juures – võib olla ettearvamatu (Soon 2003).

Oluliselt mõjutavad siseõhu kvaliteeti ruumiõhuga vahetus kontaktis olevad sisepinnad – põrandad, seinad ja laed.

Materjalid võivad emitteerida saasteaineid. Emissioon materjalidest on suurim valmistamisjärgselt, mida nimetatakse esmaseks emissiooniks, vähenedes järgneva kuue kuu jooksul hinnanguliselt 60–70% ning vaibub esimese kasutusaasta lõpuks. Emitteeritud saasteainete kulgu mõjutavad siseõhu temperatuur ja niiskus ning ventilatsioon. Viimasel ajal on hakatud ohtlikumaks pidama sekundaarset emissiooni, mis vallandub mitmesuguste mõjude ja toimingute tulemusel ning võib ajaga kasvada. Selleks, et seda ära hoida, tuleb tegeleda materjalide põhjalike uurimustega, millised on materjalidele mõjuva leelisuse, temperatuuri, niiskuse jne. lubatud piirid. Valdavalt ei sõltu emissioonid siiski mitte sedavõrd tootest, kui selle väärast käsitsemisest (The National Institute of Public Health 1999, *cit.* Samuel 2000).

Vastupidiselt saasteainete emissioonile materjalidest, võivad ruumi õhku puhastada “hingavad” seinad. Seina hingamise all mõeldakse tavaliselt toa õhu iseeneslikku puhastumist läbi seina. Enamjaolt piisab õhu puhastamiseks sellest, kui ruumiõhust eralduvad väljahingatud gaasid ja üleliigne veeaur ning välisõhust tuleb hapnikku juurde. Sellist gaaside vahetust võimaldab seina kaudu toimuv difusioon. Inimese poolt ruumi eritatud süsihappegaas ja veeaur tõstavad nende kontsentratsiooni kõrgemale, kui see on puhtas välisõhus. Külmem välisõhk on enamasti ka absoluutselt kuivem, mistõttu sisaldab vähem veeauru kui toaõhk. Suurem kontsentratsioon tekitab suurema osarõhu, mis toob kaasa toaõhu difuusse liikumise läbi seina. Veeaur, süsihappegaas ja teised gaasid liiguvad välja ning hapnik sisse. Difusioon ei olene õhu liikumisest ja see võib toimuda ka läbi õhutiheda piirde, seega on difusioon õhu värskendamisel küllaltki võimas ja soodne tegur. Eelis väljendub just väiksema ventilatsioonikulu vajaduses, sest difusioon värskendab toaõhku pidevalt, nõudmata seejuures mingitki tehnohooldust. Samas on oluline tõdeda, et difusiooni kasulik mõju muutub oluliseks alles suurte saasteainete sisalduste korral, kuna

difusiooni tekitav gaaside kontsentratsioonide erinevus on siis suurem (Kalamees 2002). Seega mida väiksem on materjali difusioonitakistus, seda parema omadustega materjaliga, mis tervislikku sisekliimat soodustab, on tegu.

Saasteainete salvestumine madala difusioonitakistusega materjali võib aga olla ka kahjulik, kuna saasteained võivad pakkuda soodsaid elutingimusi mikroorganismidele. Siin on oluliseks teguriks niiskus, mida mikroorganismid oma eluks vajavad (The National Institute of Public Health 1999, *cit.* Samuel 2000).

Kokkuvõtlikult võib öelda, et oluline on valida õiged, tulevaste keskkonda sobivad materjalid, sest materjalide valikust sõltub suurel määral ruumis kujunev kliima ning see, kui tervislik see on. Samuti on oluline ka asjaolu, et tervisliku sisekliimaga ruum on heaks keskkonnaks ehitusmaterjalidele.

4.4. Lubitoodete mõju ruumi sisekliimale

Lubja kui ehitusmaterjali mõju uuringuid sisekliimale on autori andmetel teostatud väga vähe, kuid mõningane ülevaade on siiski olemas.

Erinevad kirjandusallikad on väitnud, et lubitooted, nagu lubimört ja lubivärvid, on struktuurilt hügrokoopseid materjalid, võimaldades õhust siduda niiskust ja seda defitsiidi korral sinna tagasi anda ning madala difusioonitakistusega materjalid, lastes ehituskonstruksioonidel „hingata“. Nii näiteks ei oma lubja kui sideaine lähim konkurent tsement selliseid omadusi. Kasutades ruumi seinte katmiseks lubikrohvi ning viimistledes see omakorda lubivärviga, saavutatakse seal väga suur niiskuse akumulereerimise võime, mis aitab balansseerida ruumide niiskusetaset. Samuti aitab selliste materjalide kasutamine vältida kondensatsiooni (May 1998; Pritchett 2004).

Keemilistest teguritest on kaua aega süsinikdioksiidi peetud ruumiõhu saastatuse indikaatoriks (Soon 2003). Lubitoodete kasutamisel toimub "tagurpidine" keemiline reaktsioon, mille käigus seotakse uuesti süsinikdioksiid. Seega kasutades ruumide seinte katmiseks lubikrohvi ja -värvi, väheneb ruumide siseõhus üldine CO₂ hulk. See on siiski rohkem teoreetiline kui praktiliselt märgatav, sest kogused on suhteliselt väikesed (Pritchett 2004).

Selleks, et hinnata mil moel lubitoodete omadused mõjutavad ruumi sisekliimat, on vajalik teostada hulga erinevaid katseid. Selleks on ka käesoleva bakalaureusetöö praktiline osa keskendunud uurimusele, kuidas lubimördid mõjutavad õhuniiskuse osas ruumi sisekliimat.

5. Materjal ja meetodika

Kuna antud bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida milline on traditsioonilise lubjatootja lubjast valmistatud erineva koostise ja seguvahekordadega seinakantud lubimörtide mõju õhuniiskuse reguleerimise osas ruumi sisekliimale, siis selleks valmistati AS Limexi lubjast neli erineva koostise ja seguvahekorraga lubimörti ning võrdlusmördina kasutati kaubandusvõrgust saadaolevat lubimördi kuivsegu:

- Lubimört (1:1); /lubjapasta + purustatud lubjakivi : liiv/ - traditsiooniline lubimört
- Lubimört (1:3); /lubjapasta : liiv/ - harilik lubimört
- Lubimört (1:3); /sõelumata lubjapasta : liiv/ - harilik lubimört sõelumata lubjapastast
- Lubimört (1:0,2:3); /lubjapasta : tsement : liiv/ - lubitsementmört
- Lubimört „Lubikrohv Renoveerimistöodele“ AS Uninaks

Katsetes kasutatud materjalide iseloomustamiseks määrati kõigepealt puistematerjalidele puistetihedused, lubjapastadele tihedused ja veesisaldused. Valminud lubimörtidel määrati kohaselt tihedus ning EVS 763-2:2000 standardi kohaselt veesidumisvõime. Hügroskoopsuse hindamiseks määrati kivistunud katsekehadel normaalse ruumi niiskusesisalduse ja temperatuuri juures tasakaaluniiskus. Pilliroomatile kantud kivistunud mördil ehk krohvil uuriti 24 h jooksul veeauru akumulereerimisvõimet, mille tarvis tõsteti suhteline õhuniiskus 40 protsendilt 80 protsendini. Tulemuste tõlgendamisel kasutati ka A. uuentalu poolt TTÜ-s lubimörtidel määratud auruläbivusi ning survetugevusi.

Järgnevalt on lahti seletatud olulisemad määratud omaduste mõisted:

1. Veesidumisvõime ehk veehoidvus - materjali omadus hoida endas vett. Veesidumisvõimet väljendatakse protsendina veest, mis jääb mörti pärast lühiajalist filterpaberil absorbeerimist (EVS 763-2:2000). Veesidumisvõime on mörtide oluline ehitus-füüsikaline omadus, kuna see iseloomustab mil määral seinakantud mördist imatakse vett välja. Kui veesidumisvõime on nõrk, siis imatakse kivistumiseks vajalik vesi kergesti mõne poorsema materjali poolt, mille tagajärjel kannatab mördi kivinemisprotsess, mis omakorda alandab krohvi püsivust (Raado 2005). Samas on nõrga veesidumisvõime positiivseks asjaoluks ehk see, et mört

kuivab kiiremini ning kuivanud mört saab ümbritseva keskkonna niiskuserežiimi reguleerima hakata.

2. Tasakaaluniiskus - materjali niiskusesisalduse väärtus, mille materjal teatud aja jooksul saavutab mingites konkreetsetes kliimatingimustes (õhutemperatuur, suhteline õhuniiskus). See on olukord kus hügrokoopne vee aurustumine ja imendumine on tasakaalus (Raado 2005).
3. Veeauru akumulereerimisvõime - omadus akumulereida ümbritsevast kõrge niiskussisaldusega õhukeskkonnast veeauru. Veeauru akumulereerimise läbi reguleeritakse ruumis niiskuserežiimi, hoides seda võimalikult stabiilsena.
4. Auruläbivus – auru mass (kg), mis läbib materjali paksuseühikut (1m) ühe pinnaühiku suuruses (1m²) ühe sekundi jooksul kui materjali vastaspooltel on aururõhkude vahe üks rõhuühik (N/m²=Pa) antud temperatuuri juures. Auruläbivus iseloomustab materjali hingavust. Piisav auruläbilaskvus on oluline seetõttu, et materjali ja konstruktsioonide sees ei tekiks ohtlikul hulgal siseruumidest tulevat niiskuse kondenseerumist (Raado 2005).

Võimalusel püüdis autor kõik katsed läbi viia Eesti Standarditele (EVS standarditele) vastavalt. Lisaks kindlatele katsestandarditele tutvus autor ka järgnevate standarditega, mis otsest kasutust katsetoodika seisukohast ei leidnud: EVS-EN 998-1:2003 „Müürimörtide spetsifikatsioon. Osa 1: Krohvimört.“; EVS-EN 1015-2:2004 „Müürimörtide katsemeetodid. Osa 2: Mördiproovide võtmine ja katsemörtide valmistamine“.

Kuna ehitusmaterjalide puhul on olulisemateks näitajateks nende ehitusfüüsikalised ja -mehhaanilised omadused ja kuna Tartu Ülikoolil puuduvad vastavad seadmed selliste näitajate määramiseks, siis oma uurimuses lähtus autor suure osas 2003. aastal Tallinna Tehnikaülikoolis A. Uuetalu poolt kaitstud magistritööst „Lubimörtide püsivusomaduste parandamise võimalusi“. Samuti konsulteeris antud töö autor isiklikult eelmainitud magistritöö autoriga, et välja töötada ja täpsustada lubimörtide katsetoodikaid. Antud bakalaureusetöö autor on oma praktilise osa katsetes kasutanud osaliselt samu koostise ja seguvahekordadega lubimörte, mida on kasutanud ka A. Uuetalu oma magistritöös erinevate näitajate määramiseks. Lisaks on osaliselt kasutatud ka A. Uuetalu poolt määratud andmeid. Seega on paljud olulised ehitusfüüsikalised ja -mehhaanilised näitajad

autoripoolt valitud mõrdisegudel teada ning võimalik on teha täpsemaid üldistusi materjalide lõplike omaduste kohta. Uuetalu magistritöös on määratud GOST 5802-89 nõuete kohaselt erinevate koostise ja seguvahekordadega lubimörtidele järgmised näitajad: töödeldavus e. plastilisus, tihedus, õhusisaldus, veehoidvus, survetugevus 7 ja 28 päeva ning 3 ja 6 kuu vanuselt, auruläbivus ja külmakindlus.

Bakalaureusetöö praktilise osa katsed teostati autori poolt ajavahemikus 6. aprill – 4. mai 2005. aastal.

5.1. Katsetes kasutatud materjalid ja katsemetoodika

Katsetes kasutatud materjalide omaduste iseloomustamiseks kasutati enamjaolt tootjapoolset informatsiooni. Viimase puudumisel kasutati Tallinna Tehnikaülikooli laboris A. Uuetalu poolt magistritöö tarvis määratud materjalide omadusi, kuna osaliselt kasutatud materjalid ühtisid. Tartu Ülikooli geograafia instituudi laboris määrati puistematerjalidel puistetihedused, lubjapastadele tihedused ja veesisaldused.

5.1.1. Materjalide katsemetoodika

5.1.1.1. Tiheduse määramine

Tiheduse määramiseks leiti kõigepealt silindrilise klaasist anuma ruumala. Selleks kaaluti anum kõigepealt tühjalt, nullistati digitaalkaalu numbrinäit ning täideti anum veega triiki. Anuma ruumala määrati valemist:

$$V = \frac{m}{\rho}, [cm^3] \quad \begin{array}{l} m - \text{vee mass, g} \\ \rho - \text{vee tihedus, g/cm}^3 \end{array} \quad (1)$$

Puistematerjali tihedused määrati standardi EVS-EN 1097-3:2000 järgi, tainataolise sideaine ja mörtide tiheduste määramisel rakendati A. Uuetalu magistritöös kasutatud katsemetoodikat, kus tihedus määrati kergelt tihendatult.

Tiheduste leidmiseks täideti klaasist silindriline anum vastava materjaliga. Esialgu lisati materjali liiast, anumast üle ulatuv osa lükati tasaseks metallist joonlauaga, seejärel anum

kaaluti. Kuna esmalt oli kaalutud nõu ja nullitud digitaalkaalu numbrinäit, siis saadi kohe materjali mass. Katseid korrati kaks korda ja tihedus arvutati kahe katse keskmisena.

Materjalide tihedused arvutati valemitega:

$$\rho = \frac{m}{V} * 1000, [\text{kg/m}^3] \quad m - \text{lubjataigna (lubimördi) mass, g} \quad (2)$$

$V - \text{katseanuma maht, cm}^3$

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}, [\text{kg/m}^3] \quad \rho_1 - \text{esimese katse tihedus, kg/m}^3 \quad (3)$$

$\rho_2 - \text{teise katse tihedus, kg/m}^3$

5.1.1.2 Lubjapasta veesisalduse määramine

Lubjataigna veesisalduse määramiseks kaaluti katseklaasidesse mõlemat sorti lubjapastat. Massid fikseeriti ja asetati kuivatuskappi SANYO Gallenkamp, kus neid kuivatati 105°C juures. Kuivatusprotsess kestis seni, kuni lubjapasta oli saavutanud konstantse massi, selleks aegajalt katsekehi kaaluti.

Lubjapasta protsentuaalne veesisaldus määrati valemist:

$$\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100\%, [\%] \quad m_1 - \text{märja lubjataigna mass, g} \quad (4)$$

$m_2 - \text{kuiva lubjataigna mass, g}$

5.1.2. Lubjapasta

Katsetes kasutatud lubjapasta ja sõelumata lubjapasta oli toodetud Saaremaal Lümända vallas AS Limexi poolt. Kui tavaline lubjapasta kandis nimetust “saare lubi” ning mida on kaubandusvõrgus saadaval, siis sõelumata lubjapastat AS Limexil turustamiseks ei tooda.

Katsemörtide valmistamisel kasutatavate lubjapasta ja sõelumata lubjapasta tihedusteks saadi vastavalt 1272 kg/m³ ja 1311 kg/m³. Arvutuskäik on toodud Lisas 3.

AS Limex andmetel on toodetavaks lubjataigna veesisaldus 55 % (<http://www.limex.ee>). Õigete seguvahekordadega mörtide saamiseks määrati autori poolt nii lubjapasta, kui ka sõelumata lubjapasta veesisaldused. Esimese veesisalduseks saadi vastavalt 34,4 %, teise veesisalduseks 33,6 %. Arvutuskäik on toodud Lisas 4.

Kuna lubjaitaigna keemilise koostise määramiseks puudusid vastavad seadmed ja arvestades asjaolu, et käesolevas uurimuses kasutati samasugust lubjapastat mida 2 aastat tagasi kasutas A. Uuetalu oma magistritöös, siis tabelis 3 on välja toodud seelses töös määratud lubjaitaigna keemiline koostis, mis määrati standardi EVS 763-2:2000 nõuete kohaselt.

Tabel 3. Lubjaitaigna kuivaine keemiline koostis (Uuetalu 2003).

Kuivaine keemiline koostis, %						
CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	KK	CO ₂
71,0	2,75	0,30	1,52	1,19	23,78	2,04

5.1.3. Portlandsement

Lisandina lubimördile kasutati AS Uninaks poolt turustatavat portlandtsementi tähistusega PT 42,5, mille 5 kg-sele pakendile märgitud näitajad on toodud tabelis 4.

Tabel 4. AS Uninaksi portlandtsemendi omadused.

	Ühik	Väärtus
Survetugevus	N/mm ²	
2 päeva vanuselt		>= 10
28 päeva vanuselt		>= 42,5
Tardumisajad	min.	
algus		>= 60
lõpp		>= 480
Keemiline koostis	mg/g	
SO ₃		<= 3,5
Cl		<= 0,1
MgO		<= 5,0
Lahustumata jääk		<= 5,0
Kuumutuskadu		<= 5,0

AS Uninaks portlandtsemendi puistetiheduseks saadi 1121 kg/m³. Arvutuskäik on toodud Lisas 3.

5.1.4. Liiv

Täitematerjalina kasutati AS Silikaadi poolt turustatavat kuivisõelutud liiva, mille 40 kg-sele pakendile märgitud näitajad on välja toodud tabelis 5.

Tabel 5. AS Silikaadi kuivsoelutud liiva omadused.

	Ühik	Väärtus	Kategooria
Fraktsiooni suurus	mm	0-0,8	-
Terasuurus (d/D)	-	0/1	G _F 85
Peenus peenusmooduli alusel	-	1,4-2,4	MF
Peenosiste (<0,063 mm) sisaldus	massi-%	≤2	f ₃
Orgaaniliste lisandite sisaldus	-	etalonist heledam	-
Puistetihedus kuivalt	t/m ³	1,45...1,55	-
Niiskus	massi-%	≤0,1	-

AS Silikaadi 0–0,8 mm fraktsiooniga liiva puistetiheduseks saadi 1544 kg/m³. Arvutuskäik on toodud Lisas 3.

5.1.5. Lubjakivi sõelmed

Lubjakivi sõelmed saadi AS Nordkalk Rakke lubjatehastest ja see kandis nime "Purustatud lubjakivi" R32, fraktsioon 0 - 2,0 mm.

AS Nordkalk Rakke lubjatehase poolt toodetud lubjakivi sõelmete puistetiheduseks saadi 1415 kg/m³. Arvutuskäik on toodud Lisas 3.

5.1.6. AS Uninaks lubikrohv

Võrdleva mördina kasutati katsetes AS Uninaks poolt toodetud ja kaubanduses laialt levinud helehalli tooniga ehituslubjal ja liival põhinevat krohvi kuivsegu, mis kandis nime "Lubikrohv renoveerimistöodele". AS Uninaks koduleheküljelt saadud informatsiooni kohaselt koosneb lubikrohvi kuivsegu tabelis 6 väljatoodud komponentidest.

Tabel 6. AS Uninaks lubi-liiv kuivsegu koostis (<http://www.uninaks.ee>).

Kvartslüiv	Paekivijahu	Kustutatud lubi
ca 70%	ca 10%	ca 20%

AS Uninaks lubikrohvi kuivsegu puistetiheduseks saadi 1094 kg/m^3 . Arvutuskäik on toodud Lisas 3.

5.1.7. Pilliroomatt

Lubikrohvi veeauru akumulierimise katsetes krohviti lubimört pilliroomatile, mis saadi OÜ Roomajalt. Eestis toodetava roomati standardmõõduks on $60 \times 200 \text{ cm}$, paksuseks 4 cm . Pilliroomadid on valmistatud Orissaare ümbrusest korjatud pilliroost ja kokku pressitud ning läbi punutud tsinktraadiga spetsiaalse masina abil.

5.2. Katsetes kasutatud seadmed

5.2.1. Veesidumisvõime määramine

Veesidumisvõime määramiseks kasutati standardi EVS 763-2:2000 kohast katseseadeldist, mille osad elemendid valmistati vastavalt standardile autori poolt. Katse läbiviimiseks kasutati järgmisi seadmeid:

- plastikust rõngas, läbimõõt 140 mm , kõrgus 12 mm ;
- filterpaber mõõtmetega $190 \times 190 \text{ mm}$;
- marli mõõtmetega $185 \times 185 \text{ mm}$;
- klaasalust mõõtmetega $250 \times 550 \text{ mm}$
- terasest tasandusjoonlaud;
- digitaalkaal KERN GS, veapiiriga $0,1 \text{ g}$.

Foto katseseadeldist on toodud Lisas 5.

5.2.2. Katsekehade kuivatamine

Nii vormi valatud mördisegud, kui ka pilliroomatile kantud lubimört kuivatati ventileeritavas kuivatuskapis SANYO Gallenkamp OMT OVEN. Seadme maksimaalseks kuivatustemperatuuriks on $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Vormi valatud katsekehade massi muutuse määramiseks kasutati digitaalkaalu KERN GS, mille veapiiriks oli $0,1 \text{ g}$ ja maksimaalseks kaalutavaks raskuseks 6200 g . Pilliroomatile kantud kivistunud lubimördi massi muutuse määramiseks

kasutati poekaalu sarnast digitaalkaalu, mille veapiiriks oli 5 g, maksimaalseks kaalutavaks raskuseks 15 kg ja minimaalseks 40 g.

Pilt seadmest on toodud Lisas 5.

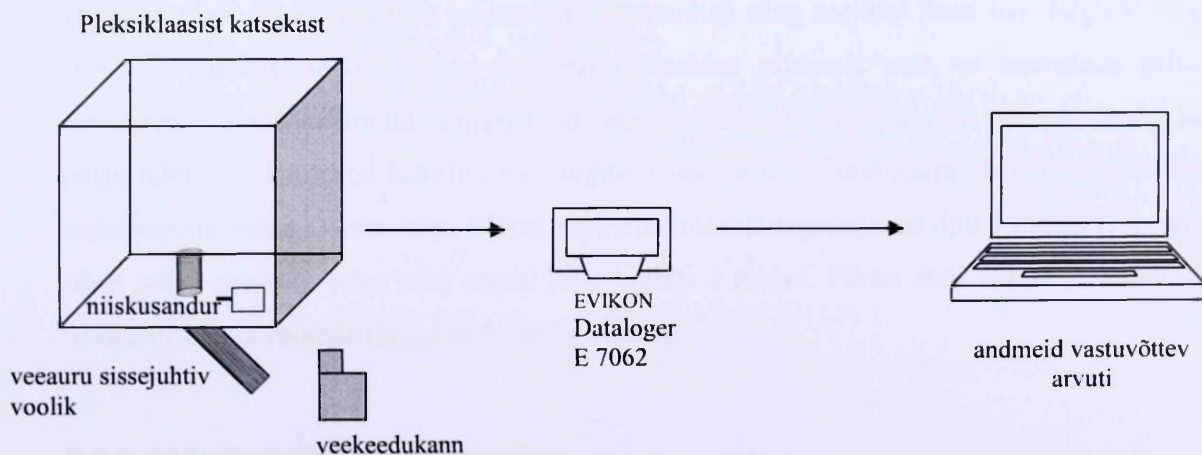
5.2.3. Veeauru akumulereerimisvõime määramine

Lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime leidmiseks kasutati $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ suurust ja 5 mm pleksiklaasist läbipaistvat 1 m^3 mahutavat katsekasti, mille põhjaks oli 1 cm paksune PVC-st (polyvinyl chloride) plaat. Plaadile olid liimitud liistud, mis moodustasid soone, kuhu sai asetada kupli. Katse ajal täideti soon veega, et katsekasti sisse moodustuks hermeetiliselt suletud ruum (Lindemann 2004).

Katsekasti vajaliku niiskusetaseme saavutamiseks kasutati Philipsi 1,2 liitrist veekeedukannu, kust läbi kastmisvooliku, mille läbimõõt oli 15 mm ja pikkus 1 meeter, suunati veeaur pleksiklaasist katsekasti.

Õhuniiskuse ja temperatuuri mõõtmised teostati Evikoni automaatse õhuniiskuse mõõtjaga TRANSMITTER E2253D serial nr. 252268. Mõõtmistulemused salvestati arvutisse läbi Eviconi 8 erineva kanaliga dataloggeri E 7062. Eviconi programmi nimega E605C abil saadi tulemused kuvada arvuti ekraanile (Lindemann 2004).

Joonisel 14 on kujutatud katses kasutatud katseseade ja aparatuur.



Joonis 14. Veeauru akumulereerimisvõime määramiseks kasutatud seadmed ja nende ühendamise kord.

Lubikrohvimattide kaalumisel kasutati digitaalkaalu, mille veapiiriks oli 5 grammi, maksimaalne kaalutav raskus 15 kg ja minimaalne kaalutav raskus 40 g.

Pildid seadmetest on toodud Lisas 5.

5.3. Mörtide valmistamise- ja katsete meetodid

5.3.1. Mörtide valmistamine

Mördisegude koostiste algnäitajateks oli segu kaaluline koostis, mille alusel toimus vastavate komponentide doseerimine. Valmistamisele kuulusid järgmised lubimördid:

- Lubimört (1:1); /lubjapasta + purustatud lubjakivi : liiv/
- Lubimört (1:3); /lubjapasta : liiv/
- Lubimört (1:3); /sõelumata lubjapasta : liiv/
- Lubitsementmört (1:0,2:3); /lubjapasta : tsement : liiv/
- Lubimört „Lubikrohv Renoveerimistöõdele“; /AS Uninaks/

Lisas 6 on välja toodud erinevate mörtide valmistamiseks kasutatud materjalid ja nende kaalusuhted.

Mördi segamine toimus ämbris elektridrelli otsa paigutatud segaja abil. Lubitsementmördi valmistamisel segati esmaselt lubjatainas tsemendiga ning seejärel lisati liiv. Segudele vee lisamise vajadus puudus, kuna lubjapasta sisaldas piisavalt vett, et saavutada piisav konsistents. Kuna kasutatud lubjapastade veesisaldused oli teada, siis sai välja arvutada, kui palju tuleb AS Uninaksi lubi-liiv kuivsegule lisada vett, et saavutada kõikidele mörtidele samasugune veesisalduse suhe. Mördi segamine toimus segajaga esialgu 3 minutit, seejärel peeti paari minutini paus ning segati jälle umbes 1 minut. Pärast seda oli mört omaduste määramiseks ja roomattidele kandmiseks valmis.

5.3.2. Mördi omaduste määramine

Katsekehade valmistamiseks kindla koostise ja seguvahekorraga mörtidele määrati valmimisjärgselt tihedus ja standardi EVS 763-2:2000 kohaselt veesidumisvõime. Mörtide

tiheduste määramise meetodika oli samasugune kui lubjapastade puhul (vt. peatükk 5.1.1.1. Tiheduse määramine). Mörtide tihedused ja veesidumisvõimed on välja toodud Lisas 6 koos mörtide valmistamiseks kasutatud materjalide ja nende kaalusuhetega. Nii tiheduse kui ka veesidumisvõime arvutuskäigud on lisatud vastavalt Lisadesse 7 ja 8.

5.3.2.1. Mördi veesidumisvõime määramine

Enne katsetamist kaaluti 10 lehte filterpaberit ning asetati need klaasplaadile. Filterpaberite peale asetati marli ning plastikust rõngas ja kaaluti uuesti. Plastikrõngas täidetai mördiga, tasandati rõnga ülemine pind ja jäeti 10 minutiks seisma. Pärast seda eemaldati plastikrõngas koos mördi ja marliga ja filterpaber kaaluti. Veesidumisvõime määramise seadmeid on kirjeldatud peatükis 5.2. Katsetes kasutatud seadmed.

Mördi veesidumisvõime (WRV) arvutati valemist:

$$WRV = 100 - \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_3)} * 100, [\%] \quad (5)$$

m_1 – kuiva filterpaberi mass;

m_3 – seadme mass ilma mördiseguga

m_2 – märja filterpaberi mass;

m_4 – seadme mass koos mördiseguga

5.3.3. Katsekehade valmistamine ja kivinemine

Peale mörtide tiheduse ja veesidumisvõime määramist valmistati katsekehad. Katsekehasid valmistati kahte sorti: proovikehad ja pilliroomattidele kantud lubikrohvid.

Kivistunud mördisegudel tasakaaluniiskuse leidmiseks valmistati mörtidest proovikehad mille mõõtmed kuivades olid $12,2 \times 8,6 \times 2,4$ cm (pikkus×laius×paksus). Vormidena kasutati plastikust karpe, kuhu sisse valati ~2,5 cm paksune mördi kiht. Seejärel jäeti katsekehad kivinema temperatuuri 21 ± 1 °C ja õhu relatiivse niiskuse 40 ± 5 % juures. Viie päeva pärast võeti proovikehad vormidest välja ja jäeti kivinema samade tingimuste – temperatuuri ja niiskuse – juures, kuid asetati metallist restidele, et kindlustada parem õhu juurdepääs.

Lubimördi pilliroomattidele pealekandmiseks (veeauuru akumulatsioonivõime katse tarvis) oli eelnevalt standardmõõdus (2×60 cm) pilliroomatid tükeldatud 50×50 cm ($0,25$ m²) suurusteks mattideks. Lubimördiga krohvimisel võeti aluseks K. Åkessoni raamat

„Lubimört 1- Praktilisi juhiseid lubivärvi ja lubimördiga töötamiseks“. Kõik krohvimistööd teostati autori poolt vertikaalses asendis, et võimalikult täpselt imiteerida seina krohvimist. Enne esimese krohvikihi pealekandmist niisutati pilliroomati pind puhta veega. Esimeseks krohvikihiks oli sisseviskekiht, mis visati roomatile õhukese 5-7 mm kihina. Sisseviskekihiga kaeti kogu pind ühtlaselt ning seda ei silutud. Enne täitekihi pealekandmist jäeti katsekehad kivinema 2-3 tunniks. Kivinemisprotsessi edukust kontrolliti nõrgalt pöidlaga vajutades, kui krohvi pind kergelt deformeerus siis võis järgmise kihi krohvimist alustada. Uue krohvikihi pealekandmisel niisutati eelnevalt aluspinda jällegi puhta veega. Ettenähtud krohvipaksuse saavutamiseks visati pilliroomatile vastava paksusega täitekiht, misjärel jäeti lubimördiga krohvitud pilliroomatt jällegi mõneks ajaks seisma. Viimistluskiht visati kelluga puhta veega niisutatud pinnale ning seejärel viimistleti krohvi pind hõõrutiga. Krohvikihi lõplikuks paksuseks pilliroomatile moodustus keskmiselt 2,5-3 cm kiht ja kõik katsekehad olid valmistamisjärgses märgkaalus 13-14,5 kg.

Valmistati kokku kaheksa 0,25 m² suurust lubikrohvi matti, nendest 4 olid AS Uninaks mördiseguga kaetud ja ülejäänud 4 traditsioonilise (1:1), hariliku (1:3), sõelumata lubjapastast valmistatud lubimördiga (1:3) ja lubitsementmördiga (1:0,2:3) kaetud.

Katsekehad jäeti kivistuma temperatuuri 21±1 °C ja õhu relatiivse niiskuse 40±5 % juures. 7 päeva möödudes teostati lubikrohvi veeauru akumuleerimisevõime proovikatse, kuid kuna 24 h jooksul ruutmeeter AS Uninaks lubikrohvi praktiliselt üldse niiskust ei imanud, siis asetati pilliroomatile kantud kivistunud lubimördi tahvlid kuivatuskappi. Samamoodi toimiti ka ülejäänud katseelementidega. Temperatuuril 75 °C hoiti katsekehi, neid aegajalt kaaludes, kuni massi muutuse stabiliseerumiseni, milleks kulus 47 h. Seejärel jäeti lubikrohvid labori 40±5 % õhuniiskuse ja 21±1 °C temperatuuri juurde seitsmeks päevaks jahtuma ja oma normaalset niiskusesisaldust taastama.

5.3.4. Kivistunud lubimörtide katsete meetodid

5.3.4.1. Kivistunud lubimörtide tasakaaluniiskuse määramine

Et hinnata erineva koostise ja seguvahekorradega lubimörtide hügrokoopsust ja kuna materjali hügrokoopsuse mõõduks on tema tasakaaluniiskuse, määrati erinevatel kivistunud lubimörtidel normaalse ruumi niiskusetaseme ja temperatuuri juures tasakaaluniiskused.

Kivistunud lubimörtidel niiskusesisalduse määramise meetodika aluseks on võetud Tallinna Tehnika Ülikooli Ehitusmaterjalide õppetooli praktikumi juhendist „Puidu katsetamine“ osa „Niiskusesisalduse määramine standardi GOST 16483-78 järgi“.

Eelnevalt olid katsekehad kivilinenud 14 päeva temperatuuri 21 ± 1 °C ja õhuniiskuse 40 ± 5 % juures. Aegajalt katsekehi kaaluti ja kui massi muutust ei täheldatud, alustati katsetamisega. Kõik kivistunud lubimörtide proovikehad kaaluti (m_1) ning asetati kuivatuskappi, kus neid kuivatati temperatuuri $+105$ °C juures kuni püsiva massi (m) saavutamiseni.

Kivistunud lubimörtide niiskusesisaldus arvutati valemiga:

$$W = \frac{m_1 - m}{m} * 100, [\%] \quad (6)$$

m_1 – proovikeha mass enne kuivatamist, g

m – proovikeha mass peale kuivatamist, g

5.3.4.2. Lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime määraamine

Lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime määramise meetodika aluseks oli eelmisel aastal T. Lindemanni poolt analoogselt läbiviidud savikrohvi ja massiivsavitelliste veeauru akumulereerimise katse.

Nagu eelpool mainitud, kuivatati lubikrohvi matte eelnevalt 47 tundi kuivatuskapis. Seejärel taastus neis 7 päeva jooksul 40 ± 5 % õhuniiskuse ja 21 ± 1 °C temperatuuri juures normaalne niiskusesisalduse tase. Katset ette valmistades kaaluti kõik katselemendid, et saada esialgsed andmed massi kohta. Esialgse kaalumise käigus märgistati iga katsekehad, et hiljem vältida segadusi. Pilliroomatile kantud lubikrohvi katsekehad paigutati pleksiklaasist kasti põhjale, spetsiaalsetele metallist alustele. Seejärel tõsteti pleksiklaasist kuppel veesoontega ümbritsetud põhjale, veesooned täideti koheselt veega. Sellega olid ettevalmistustööd katse alustamiseks tehtud. Katseseadet on kujutatud joonisel 14 peatükis 5.2. Katsetes kasutatud seadmed ning Lisas 5.

Veeauru akumulereerimisvõime määramiseks tõsteti katsekastis suhteline õhuniiskuse keskmise labori õhuniiskuse juurest (40 ± 5 %) 80%-ni. Selleks juhiti 1 meetrise voolikuga katsekasti põhja kaudu veekeedukannus tekkinud aur katsekasti. Auru lisati senikaua kuni õhuniiskuse tõusis veidi üle 80%. Sellise õhuniiskuse juures olid kupli sisemised seinad uduseks muutunud. Õhuniiskuse kastis tuli hoida enam-vähem stabiilsena, umbes $80\% \pm 3$

juures. Õhuniiskust kontrolliti katsekapi keskele asetatud õhuniiskuse mõõtjaga, mis oli ühenduses arvutiga. Arvuti fikseeris alustamise kellaaja, õhuniiskuse ja temperatuuri iga 5 sekundi järel ning koostas tabeli ja graafiku. Õhuniiskuse langedes lisati täiendavalt keedukannu abil katsekasti veeauru.

Katse kestvuseks oli 24 h. Kui esimese 12 h jooksul toimus katseelementide kaalumise 3 tunnise intervalliga, siis järgmise 12 h jooksul kaaluti katsekehasid iga 6 tunni järel. Põhjus miks sel moel toimiti on selles, et poorsed materjalid nagu seda on ka lubikrohv omastavad esimeste tundidega küllaltki intensiivselt õhust veeauru, hiljem selle omastamine aeglustub. Katsekehade kaalumise ajal õhuniiskus langes, millest on tingitud graafikutel umbes 3-5 minutilised õhuniiskuse madalseisud (vt Lisa 10). Materjalidesse seotud veehulk leiti digitaalkaaluga (veapiir 5 g) kaalumise teel.

Kokku teostati kolme veeauru akumulereerimisvõime katset (18 mõõtmist). Kolme katse vahel jaotusid katsetatavad katsekehad järgmiselt:

- $4 \times 0,25\text{m}^2$ (50×50) pilliroomatt
- $4 \times 0,25\text{m}^2$ (50×50) AS Uninaks lubikrohv
- $0,25\text{m}^2$ (50×50) nii traditsiooniline lubikrohv (1:1), harilik lubikrohv (1:3), sõelumata lubjapastast valmistatud lubikrohv (1:3) kui ka lubitsementkrohv (1:0,2:3)

Esimese katsena teostati 24 h jooksul veeauru akumulereerimisvõime määramine neljale $0,25\text{m}^2$ suurusele krohvivabale pilliroomatile. See oli vajalik selleks, et teada kui palju seob veeauru krohvi aluspind, et pärast arvutuslikult puhta lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõimet määrata. Teise katsena teostati nelja $0,25\text{m}^2$ suuruse AS Uninaks lubikrohvi veeauru imamisvõime määramine. Ülejäänud nelja $0,25\text{m}^2$ suuruse lubikrohvi katsekeha veeauru akumulereerimisvõime määrati kolmanda katse käigus.

6. Tulemused ja arutelu

Tulemuste tõlgendamiseks vajalikud katsete algandmed saadi katsekehade kaalumise teel. Nii labori kui ka katsekasti niiskusesisalduse ja temperatuuri andmed (sh. graafikud) saadi Evikoni spetsiaalse tarkvara programmi E 605C abil. Andmeid töödeldi Microsoft Office Exceliga.

6.1. Kivistunud lubimördi tasakaaluniiskus

Lubimörtide tasakaaluniiskuse määramise katsed viidi läbi ajavahemikus 3-4 mai 2005. Katsemetoodikat on kirjeldatud peatükis 5.3.4. Kivistunud mörtide katsemetoodikad. Valmistatud mörtide proovikehade, mõõtmetega 12,2×8,6×2,4 cm (pikkus×laius×paksus) kivistumisel aurunud vee kogus on välja toodud tabelis 7.

Tabel 7. Katsekehade kuivamisel eemaldunud vee hulk (g).

	esialgne kaal	kaal 14 päeva möödudes	vett eemaldus	vett eemaldus (%)
AS Uninaks lubimört	446,3	367,0	79,3	17,8
traditsiooniline lubimört (1:1)	487,9	407,4	80,5	16,5
harilik lubimört (1:3)	443,8	351,6	92,2	20,8
sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	444,2	358,2	86,0	19,4
lubitsementmört (1:0,2:3)	431,2	356,7	74,5	17,3

Kivistumiseks, et mass stabiliseeruks, kulus 14 päeva. Tabelist on näha, et kõige rohkem eemaldus kuivamisel vett seguvahekorraga 1:3 harilikust lubimördist - 20,8% ja vähim traditsioonilisest lubimördist - 16,5%. Peale 14 päeva kivistumist asetati katsekehad kuivatuskappi +105°C juurde, kus neid hoiti samuti seni kuni katsemördid saavutasid püsiva massi. Viimaste massi muutused kuivatuskapis on välja toodud tabelis 8. Kuivatuskapis hoiti katsekehi 48h.

Tabel 8. Katsekehade kuivatamisel eraldunud vee hulk (g).

	esialgne kaal	kaal pärast 48h	vett eemaldus	tasakaaluniiskus (%)
AS Uninaks lubimört	367,0	360,9	6,1	1,7
traditsiooniline lubimört (1:1)	407,4	406,2	1,2	0,3
harilik lubimört (1:3)	351,6	349,9	1,7	0,5
sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	358,2	356,0	2,2	0,6
lubitsementmört (1:0,2:3)	356,7	351,8	4,9	1,4

14 päeva $40\pm 5\%$ suhtelise õhuniiskuse ja $21\pm 1^\circ\text{C}$ temperatuuri juures kuivanud erinevatest lubimörtidest omab suurimat tasakaaluniiskust AS Uninaks poolt toodetud lubi-liiv kuivsegust valmistatud lubimört, mille tasakaaluniiskuseks on 1,7%, sellele järgneb lubitsementmört 1,4%-ga. Ülejäänud kolme tsementi mittesisaldava lubimördi niiskusesisaldused antud suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri juures jäävad vahemikku 0,3-0,6 %. Kõige hügrokoopsemaks lubimördiks osutub (tasakaaluniiskus väikseim) traditsiooniline lubimört, millele järgnevad väikeste vahedega harilik ja sõelumata lubjapastast valmistatud lubimört. Seega katse tulemustele tuginedes võib väita, et lubjakivisõelmete lisamine mördisegule mõnevõrra alandab tasakaaluniiskust, samas kui tsemendi lisand seob rohkem vett, mille tulemusena tasakaaluniiskus on ka kõrgem. Tasakaaluniiskuse arvutuskäigud on toodud Lisas 9.

Näitena võib välja tuua, et puidu tasakaaluniiskuseks on 12-15%* ja hariliku tellisel 0,2-0,5%* (Raado 2005). Savi tasakaaluniiskuseks on 4%* (<http://savikrohv.ceet.ee>). Võrreldes erinevate lubikrohvide tasakaaluniiskusi eelnevalt välja toodud materjalide niiskussisaldustega võib väita, et kõik katsetatud lubikrohvid on hügrokoopsemad ja suudavad tänu oma madalale tasakaaluniiskusele rohkem ümbritsevast keskkonnast niiskust imada. Seega omab lubikrohv paremat niiskusereguleerimisvõimet kui väljatoodud võrdlusmaterjalid. Kuna antud materjalide tasakaaluniiskused on lubikrohvi tasakaaluniiskusest tunduvalt kõrgemad, siis seetõttu sobivad need materjalid lubikrohviga

* antud tasakaaluniiskuste juures ei ole täpsustatud, millise suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri juures on vastavad suurused mõõdetud

omavahel ideaalselt. Kui konstruktsiooni satub niiskust, siirdub see alati lubikrohvi, seetõttu võib öelda, et neid materjale koos kasutades konserveerib lubikrohv nii puitu, tellist kui ka savi. Samuti on oluline veel tõdeda, et loomsed kahjurid vajavad reeglina elutegevuseks niiskust 14-18%, seemed üle 20% (<http://savikrohv.ceet.ee>). Seega ei loo lubikrohv selleks soodsat keskkonda.

6.2. Lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime

Pilliroomattide veeauru akumulereerimisvõime katsetused kestsid ajavahemikus 14-15 aprill 2005 a. Lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime määramise kaks katset – AS Uninaks lubikrohvi katse ning traditsiooniline (1:1), harilik (1:3), sõelumata lubjapastast valmistatud lubikrohv (1:3) ja lubitsementkrohvi (1:0,2:3) katse – viidi läbi 28 aprill - 6 mai 2005 a. Katsete meetodikat on kirjeldatud peatükis 5.3.4. Kivistunud mörtide katsete meetodikad.

Eelnevalt labori $40 \pm 5\%$ õhuniiskuse käes seisnud neli pilliroomatti (50×50 cm) paigutati 80%-lise suhtelise niiskusesisaldusega katsekasti. Katsekasti niiskusesisalduse muutused on välja toodud Lisas 10. Järgnevalt on tabelis 9 on välja toodud $0,25 \text{ m}^2$ suuruste pilliroomattide massi muutused 24 h jooksul.

Tabel 9. $0,25 \text{ m}^2$ suuruste pilliroomattide poolt 24h jooksul imatud vee massid (g).

	3h	6h	9h	12h	18h	24h
roomatt 1	4,80	7,80	9,50	10,8	14,20	16,70
roomatt 2	3,70	5,40	6,50	7,40	9,90	12,20
roomatt 3	3,80	5,90	6,80	7,80	10,60	12,80
roomatt 4	4,70	7,10	8,40	10,0	13,20	15,60
keskmine	4,25	6,55	7,80	9,00	11,98	14,33

Siinkohal põhjalikumalt analüüsi pilliroomattide veeimavuse kohta tegema ei hakka, kuna eesmärgiks on uurida lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõimet.

Samamoodi tõsteti ka lubikrohvi katsete puhul eelnevalt labori õhuniiskuse käes ($40 \pm 5\%$) seisnud katsekehade ruumi relatiivne niiskusesisaldus $\sim 80\%$ -ni. Mõlema katse esimese poole sees (12 h) võis täheldada, et suhteliselt raske oli kasti stabiilset õhuniiskust saavutada, kuna materjalid imasid endasse suures koguses vett. Sellest oli tingitud ka suur niiskusesisalduse kõikumine katsekasti niiskusgraafikutel (Lisa 10). Hiljem, katse teises

pooles, muutus imamine väiksemaks ning puudus pidev vajadus veeauru lisamiseks. Lisas 10 on välja toodud katsekasti niiskusesisalduse muutused 24 h jooksul.

Järgnevas tabelis (Tabel 10) on välja toodud katsekehade massi muutused 24 h jooksul.

Tabel 10. 0,25 m² suuruste lubikrohvimattide poolt 24h jooksul imatud vee massid (g).

	3h	6h	9h	12h	18h	24h
AS Uninaks lubikrohv *	20	30	40	50	60	70
traditsiooniline lubikrohv (1:1)	10	15	25	25	35	40
harilik lubikrohv (1:3)	10	15	25	30	40	45
sõelumata lubjapastast lubikrohv (1:3)	15	20	30	35	40	50
lubitsementkrohv (1:0,2:3)	15	25	35	40	50	55

* AS Uninaks lubikrohvi katse puhul on nelja katsekeha poolt imatud vee massist võetud keskmine, mis on ümardatud 5 grammise täpsusega.

Saamaks teada milline vee hulk imati ainult 0,25 m² suuruse lubikrohvi poolt, lahutati eelnevatest andmetest 0,25 m² suuruse pilliroomati poolt seotud keskmine vee hulk (Tabel 11).

Tabel 11. 0,25 m² suuruste lubikrohvide poolt 24h jooksul imatud vee massid (g).

	3h	6h	9h	12h	18h	24h
Pilliroomatt (keskmine)	4,3	6,6	7,8	9,0	12,0	14,3
AS Uninaks lubikrohv *	15,8	23,5	32,2	41,0	48,0	55,7
traditsiooniline lubikrohv (1:1)	5,7	8,5	17,2	16,0	23,0	25,7
harilik lubikrohv (1:3)	5,7	8,4	17,2	21,0	28,0	30,7
sõelumata lubjapastast lubikrohv (1:3)	10,8	13,4	22,2	26,0	28,0	35,7
lubitsementkrohv (1:0,2:3)	10,7	18,5	27,2	31,0	38,0	40,7

* AS Uninaks lubikrohvi katse puhul on nelja katsekeha poolt imatud vee massist võetud keskmine, mis on ümardatud 5 grammise täpsusega.

Parema ülevaate saamiseks on tabelis 12 välja toodud vahe ehk kui palju imasid lubikrohvid niiskust juurde võrreldes eelneva kaalumisega.

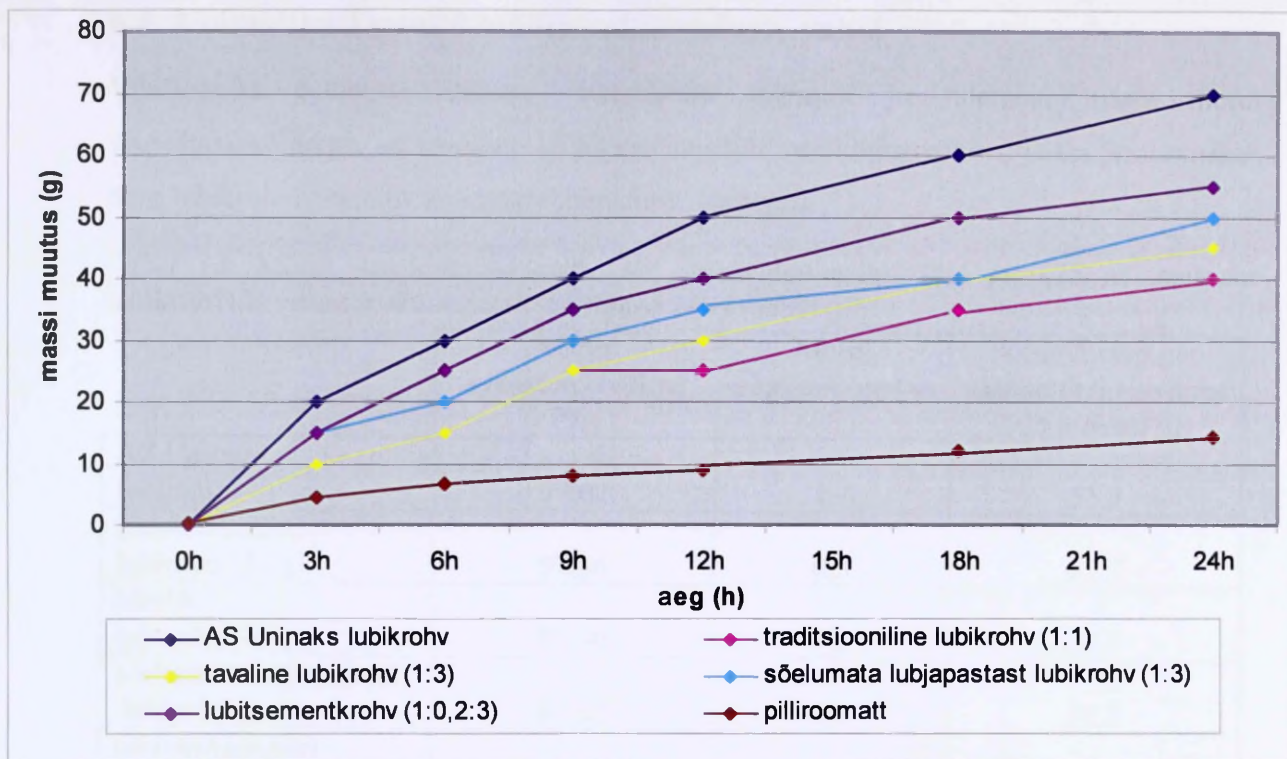
Tabel 12. 0,25 m² suuruste lubikrohvide juurde imatud vee kogus võrreldes eelneva kaalumisega.

	3h	3h	3h	3h	6h	6h	kokku 24h jooksul
AS Uninaks lubikrohv *	15,8	7,7	8,8	8,8	7,0	7,7	55,7
traditsiooniline lubikrohv (1:1)	5,8	2,7	8,7	-1,2	7,0	2,6	25,7
harilik lubikrohv (1:3)	5,8	2,7	8,7	3,8	7,0	2,7	30,7
sõelumata lubjapastast lubikrohv (1:3)	10,8	2,7	8,7	3,8	2,0	7,6	35,7
lubitsementkrohv (1:0,2:3)	10,8	7,7	8,7	3,8	7,0	2,7	40,7

* AS Uninaks lubikrohvi katse puhul on nelja katsekeha juurde imatud vee massist võetud keskmine, mis on ümardatud 5 grammise täpsusega.

Tabelist on näha, et kui esimese 3 tunniga imasid 50×50cm suurused ja keskmiselt 2,5 cm paksused lubikrohvid rohkelt niiskust, siis järgnevate tundide jooksul toimus suhteliselt stabiilne veeauru akumulatsioon. Natuke erinevat veeauru juurdeimavust võib täheldada aga tsementi sisaldavate krohvide puhul. Nimelt, kui nii AS Uninaks lubikrohv kui ka lubitsementkrohv imavad esimese 6 tunni jooksul ligi poole oma lõplikust juurde imatud vee massist, siis teised krohvid kasvatavad juurdeimatud vee massi aeglasemalt.

Piltliku ülevaate saamiseks on joonisel 14 graafiliselt välja toodud 0,25 m² suuruste lubikrohvide (kaal koos pilliroomatiga) ja 0,25 m² suuruse pilliroomati massi muutused 24h jooksul.



Joonis 14. 0,25 m² suuruste lubikrohvide ja 0,25 m² suuruse pilliroomati massi muutused 24h jooksul.

Nii eelnevatest tabelist kui ka ülalolevast jooniselt on näha, et enim on suuteline õhust niiskust akumulierima AS Uninaks poolt toodetud lubikrohvi kuivsegu, eristudes teistest erineva koostise ja seguvahekorraga lubikrohvidest küllaltki ülekaalukalt. Järgmise grupi moodustavad autori poolt valmistatud mördisegudest valmistatud krohvid – lubitsementkrohv (1:0,2:3), sõelumata lubjapastast valmistatud (1:3), harilik (1:3) ja traditsiooniline lubikrohv (1:1), milledest paremini on suuteline õhukeskkonnast niiskust imama lubitsementkrohv. Kuid siinkohal tuleks aga arvestada kahte asjaolu. Esiteks AS Uninaks lubikrohvide ja ülejäänud lubikrohvide veeauru akumulierimiskatsed teostati eraldi katsetena ja olgugi et autor püüdis võimalikult täpselt mõlemat katset läbi viia, võib see siiski mingil määral mõjutada tulemusi. Teiseks kuna kaalu veapiiriks oli 5 grammi ning erinevate katsekehade katsetulemuste vahed on küllaltki väikesed, siis väga kindlat paremust veeauru akumulierimisvõime osas mördisortidel välja tuua ei saa. Siiski kuna kõige selgemini eristub tulemustest AS Uninaks lubikrohv ja mõnevõrra ka lubitsementkrohv, mis omavad lisandina tsementi siis võib teha järelduse, et tsemendi vähene lisamine lubikrohvidele parandab lubikrohvi veeauru akumulierimisvõimet.

6.3. Võimalikud seosed määratud omaduste vahel

Võrdlemaks eelnevate katsete omavahelisi tulemusi ja tulemusi märja mördi veesidumisvõimega, on tabelisse 13 kantud mörtide veesidumisvõimed ja tasakaaluniiskus ning lubikrohvi veeauru akumulereerimisvõime väärtused.

Tabel 13. Mördi veesidumisvõimed (%), tasakaaluniiskus (%) ja 0,25 m² suuruste lubikrohvide veeauru akumulereerimisvõimed 24h jooksul (g).

	Mördi veesidumisvõime (%)	Mördi tasakaaluniiskus (%)	Krohvi veeauru akumulereerimisvõime 24h jooksul (g)
AS Uninaks lubimört	97,02	1,7	55,7
traditsiooniline lubimört (1:1)	97,86	0,3	25,7
harilik lubimört (1:3)	97,49	0,5	30,7
sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	97,62	0,6	35,7
lubitsementmört (1:0,2:3)	97,24	1,4	40,7

Mörtide veesidumisvõime väärtused on omavahel vägagi sarnased, jäädes kõik vahemikku 97,02 - 97,86%. Tulemustele tuginedes hoiab kõige paremini endas vett traditsiooniline lubimört, millele järgneb sõelumata lubjapastast valmistatud lubimört seguvahekorraga 1:3. Halvim võime endas vett hoida on AS Uninaks lubimördil. Kuna traditsiooniline lubimört sisaldab täiteainena purustatud lubjakivi ja sõelumata lubjapastast valmistatud lubimört sisaldab ohtrasti üle ja alapõlenud lubjakivi (mis täidab samuti täitematerjali ülesannet, vt. peatükk 3.1. Mörtide täiteained), siis võib järeldada, et lubjakiviosakeste esinemine täitematerjalina lubjamördis tõstab mördi veesidumisvõimet.

Põhjus, miks kuivamisel peaks mördis veesisaldus olema kõrge on selles, et kui mördist antakse kivistumiseks vajalik niiskus kergesti ära, on mördi karboniseerumine ebaefektiivsem. Selletõttu võtab mördi kivistumine kauem aega, mille tõttu võib ka tasakaaluniiskus kauem kõrge olla. Viimast võib täheldada tsementi sisaldavate AS Uninaks lubimördi ja lubitsementmördi korral (Tabel 13). Antud seost tõestab ka vastupidine olukord traditsioonilise ja hariliku lubimördi puhul. Seega võib järeldada, et

suur veesidumisvõime on positiivne krohvi niiskuseguleerimisvõime osas, kuna sel moel saavutatakse paremini karboniseerunud ja hügrokoopsemad krohvid.

Võrreldes krohvide veeauru akumulereerimisvõimet mörtide tasakaaluniiskustega võib esialgu täheldada mõningast vasturääkivust (Tabel 13). Nimelt kuna traditsioonilise (1:1), hariliku (1:3), sõelumata lubjapastast valmistatud lubikrohvi (1:3) tasakaaluniiskused on madalamad kui tsementi sisaldavate lubikrohvide tasakaaluniiskused (tsemendisisaldusega lubikrohvid on mittehügrokoopsemad), siis peaks tsementi mittesisaldavad lubimördid ka rohkem endasse veeauru akumulereerima, kuid läbi viidud katsed tõestavad vastupidist. Kuid järelikult tekitab tsemendi lisand kivistunud lubimördis suure veeakumulereerimisvõime, mis suuremast tasakaaluniiskusest hoolimata suudab endasse rohkem vett siduda.

Kui aruteluga veelgi kitsamaks minna, siis järgnevalt on vaatluse alla võetud kolm lubikrohvi: 1:3 lubimört, lubitsemmentmört (1:0,2:3) ja 1:1 traditsiooniline lubimört, milledele on Andrus Uuetalu poolt 2003. aastal Tallinna Tehnika ülikoolis mõõdetud standardi EVS-EN 1015-19:1999/A1:2004 „Veeauru-läbilaskvuse määramine kivistunud krohivialusmördis ja krohvimördis“ kohaselt veeauruläbivus (tegelikult on Uuetalu poolt määratud vastavad andmeid rohkematele mördisegudele, kuid need kolm mördisegu ostusid samasugusteks antud uurimuses kasutatud mördisegudega). Veeauruläbivus on oluline seetõttu, et see iseloomustab materjali hingavust ehk difuusset liikumist läbi konstruktsiooni. Järgnevas tabelis (Tabel 14) on kajastatud Andrus Uuetalu poolt määratud auruläbivused ja survetugevused.

Tabel 14. Auruläbivuse ja survetugevuse võrdlus (Uuetalu 2003).

	Auruvoo tihedus (q)		Aurupidavus (R)		Auruläbivus (μ)		Survetugevus 28 p. vanuselt
	mg/hm ²	%	m ² hPa/mg	%	mg/mhPa	%	N/mm ²
harilik lubimört (1:3)	2732	100	0,398	100	0,0753	100	0,78
lubitsemmentmört (1:0,2:3)	1912	76	0,589	135	0,0509	74	1,02
traditsiooniline lubimört (1:1)	2044	75	0,548	138	0,0547	73	1,47

Tabelist on näha, et sõelmetega lubimördi veeauruläbivus on vähenenud 27% ja tsemendi lisand on vähendanud veeauruläbivust 26%, seega nii lubjakivisõelmete kasutamine

täitematerjalina kui ka tsemendi lisamine vähendavad oluliselt mördi veeauru läbivust. Kuna AS Uninaks lubimört sisaldab peale tsemendi ka vähesel määral lubjakivisõelmeid, siis võib oletada, et auruläbivus sellel mördil võib kujuneda veelgi väiksemaks. Survetugevuse seisukohast on olulised eelised traditsioonilisel lubimördil ja lubitsemntmördil. Neist esimese survetugevus 28 päeva vanuselt on ligi kaks korda suurem kui hariliku lubimördil (1:3). Seega, eelpool võrreldud kolme mördi katsetulemustele tuginedes võib teha järelduse, et kasutades lisanditevaba lubimörti lastakse seinakonstruktsioonil paremini hingata, mis kindlasti mõjub positiivselt ka ruumi niiskuserežiimile, kuid samas kaotatakse oluliselt survetugevuses.

7. Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli anda ülevaade lubja kui traditsioonilise sideaine olemusest, lubja kasutamisest ehitusmörtides ning sellega seonduvatest probleemidest. Samuti oli eesmärgiks kirjeldada millist mõju avaldavad ehitusmaterjalid läbi ruumikliima inimese tervisele ning uurida, millist mõju avaldavad traditsioonilisel meetodil toodetud lubjast valmistatud lubikrohvid ruumi sisekliimale, täpsemalt milline on mõju sisekeskkonna ühele olulisemale komponendile - niiskusrežiimile. Selleks määrati viie erineva koostise ja seguvahekorraga lubimördil järgmised omadused: valmimisjärgselt lubimörtidel veesidumisvõime, lubimördist valmistatud kivistunud katsekehadel tasakaaluniiskus ja pilliroomatile kantud lubikrohvil veeauru akumulereerimisvõime. Samuti analüüsiti ruumikliima seisukohast Tallinna Tehnikaülikoolis A. Uuetalu poolt määratud lubimörtide auruläbivust.

Parema kokkuvõtva ülevaate saamiseks on Tabelisse 15 iga määratud omaduse alla paremuse järjekorras kantud töös käsitletud lubimördisordid.

Tabel 15. Töös käsitletud lubimördisegude paremusjärjestus vastavalt määratud omadustele.

Hügrokoopsus	Veeauru akumulereerimisvõime	Veesidumisvõime	Auruläbivus	Survetugevus
traditsiooniline lubimört (1:1)	AS Uninaks lubimört	traditsiooniline lubimört (1:1)	harilik lubimört (1:3)	traditsiooniline lubimört (1:1)
harilik lubimört (1:3)	lubitsementmört (1:0,2:3)	sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	lubitsementmört (1:0,2:3)	lubitsementmört (1:0,2:3)
sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	sõelumata lubjapastast lubimört (1:3)	harilik lubimört (1:3)	traditsiooniline lubimört (1:1)	harilik lubimört (1:3)
lubitsementmört (1:0,2:3)	harilik lubimört (1:3)	lubitsementmört (1:0,2:3)	-	-
AS Uninaks lubimört	traditsiooniline lubimört (1:1)	AS Uninaks lubimört	-	-

Töö tulemusena selgus, et võrreldud lubimörtidest osutusid hügrokoopsemateks traditsiooniline lubimört (1:1), harilik lubimört (1:3) ning sõelumata lubjapastast valmistatud lubimört (1:3), tasakaaluniiskused vastavalt 0,3%; 0,5%; 0,6%. Olulisima määratud omaduse, veeauru akumulereerimisvõime osas oli tulemused aga vastupidised.

40±5 %-lt 80%-ni tõstetud niiskusesisalduse juures suutsid 0,25 m² suurustest krohvimattidest 24 tunni jooksul enim niiskust omandada tsementi sisaldavad lubikrohid - AS Uninaks lubikrohv 55,7 g ja lubitsementkrohv (1:0,2:3) 35,7 g. Kuna ka mördi veesidumisvõime soodustab lubikrohvi niiskusereguleerimisvõimet, siis selles osas osutus parimaks traditsioonilise lubimördi (1:1) veesidumisvõime 97,86%, millele järgnes sõelumata lubjapastast valmistatud lubimört (1:3) 97,62%. Auruläbivuse osas kujunes kolmest mördist parimaks harilik lubimört edestades lubitsementmörti 26 ja sõelmeid sisaldavat lubimörti 27%-ga, samas mehhaanilise omaduse, survetugevuse poolest on neist parimaks mördiks traditsiooniline lubimört.

Katsetulemused olid mõnevõrra üllatuslikud lubimörtidel määratud tasakaaluniiskuse ja veeauru akumulereerimise osas, millede tulemused olid üksteisele vastupidised. Kuna eeldatavalt võib arvata, et madalama niiskusesisaldusega materjal on võimeline endasse rohkem niiskust siduma, siis nii see ei olnud. Järelikult tekitab tsemendi lisand kivistunud lubimördis küllaldaselt suure veeakumulereerimisvõime, mis suuremast niiskusesisaldusest hoolimata suudab endasse rohkem vett siduda.

Lubimörtide üldiseid tulemusi teiste materjalidega võrreldes võib seina kantud kivistunud lubimörti pidada vägagi hügrokoopseks materjaliks, millel on head eeldused ruumi niiskusrežiimi reguleerimise osas.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et uuritud erineva koostise ja seguvahekordadega lubimörtidest on ruumi niiskusereguleerimisvõime osas mõnevõrra eelisseisus tsementi sisaldavad lubimördid. Tsementi küll ökomaterjaliks ei peeta, kuid kuna seda lisatakse üsna väikestes kogustes ja kuna ruumi niiskusrežiim on tervisliku ruumi seisukohast üks olulisemaid kriteeriume ning ehitise tervislikkus on ökoloogilise ehituse üheks peamiseks valdkonnaks, siis võib tsemendi lisamine lubikrohvidele olla teatud tingimustes ka põhjendatud.

Tulemustele laiemalt lähenedes on käesoleva bakalaureusetöö leidnud kinnitust kaasaegse ökoloogilise ehituse olulisemale põhimõttele – ökoloogiliseks teeb hoone ennekõike rakendatavate põhimõtete kooskõla mitte üksnes materjali valik.

Summary

The title of the current work is **“Lime as a traditional construction material and the humidity regulating effect of lime mortar”**.

The aim of the current work was to give an overview of the essence of lime as a traditional binder, of the use of lime in mortars and the problems related to it. It was described how building materials impact human health through indoor climate and it was practically studied how limeplasters made of traditionally produced lime impact humidity regime of a room. For that the following properties of lime mortars of different composition and proportion ratios were determined: water binding ability, equilibrium moisture content and ability to accumulate water vapor. Water vapour permeance determined by A. Uuetalu from Tallinn Technical University was also analysed for indoor climate

As a result it turned out that of all studied lime mortars, traditional lime mortar (1:1) was the most hygroscopic and with the best water binding ability, its equilibrium moisture content was 0,3% and water binding ability was 97,86%. Concerning the ability to accumulate water vapor the best mortars were lime mortars from AS Uninaks that contain cement – lime mortar 55,7 g and lime mortar with cement additive (1:0,2:3) 35,7 g. Concerning water vapor permeance the plane lime mortar (1:3) turned out to be the best of the three, outperforming lime mortar with cement additive by 26% and lime mortar with limestone smalls (traditional lime mortar) by 27%.

The results of the experiments were somewhat surprising because equilibrium moisture content and ability to accumulate humidity turned out to be opposing each other. Hypothetically the author presumed that material with lower equilibrium moisture content is capable to assimilate more humidity, but it was not so. Therefore cement addition in fossilised limemortar generates adequately high ability to accumulate humidity, that in spite of higher moisture content can accumulate more water.

Comparing the general results of lime mortar to other materials we can say, that lime plaster is a very hygroscopic material, which has good preconditions to regulate indoor humidity. Water vapor assimilation is something that modern finishing materials do not guarantee.

Based on these results it can be said that among lime mortars of different composition and proportion ratios, lime mortar with cement additive has the best characteristics to regulate

indoor humidity. Cement is not considered an ecological material, but because it is added in such small amounts and because indoor humidity regime is one of the most important criteria of a healthy room, then using cement in lime mortars can in some conditions be reasoned.

To conclude it can be said that in wider context the current work has proved the most important principle of ecological building – what makes the building ecological is primarily the accordance of implemented principles not only the choice of materials.

Tänuavaldused

Sooviksin tänada oma juhendajat Valdo Kuusemetsa, kes aitas kaasa käesoleva bakalaureuse töö valmimisele, samuti Jaak Järvekülge, kes oli abiks katsete teostamisel. Suured tänud AS Limexile ja OÜ Roomajale, kes varustasid katseteks vajaminevate materjalidega ning AS Limexi esindajale Priit Penule ja TTÜ-s lubimörte uurinud Andrus Uuetalule, kes abistasid uurimusosalaste konsultatsioonidega.



Kasutatud kirjandus

Raamatud ja muud monograafiad

Åkesson, K., 2003. Lubimört 1- Praktilisi juhiseid lubivärvi ja lubimördiga töötamiseks. "Kalkputs 5" tõlge, Tallinn.

Boynton, Robert S., 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone. Second Edition, New York.

Eesti standard. EVS 763-2:2000. Ehituslubi. Osa 2: Katsemeetodid.

Eesti standard. EVS EN 197-3 : 2000. Täitematerjalide füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste katsetamine.

Eesti standard. EVS-EN 998-1:2003. Müürimörtide spetsifikatsioon. Osa 1: Krohvimört.

Eesti standard. EVS-EN 1015-2:2004. Müürimörtide katsemeetodid. Osa 2: Mördiproovide võtmine ja katsemörtide valmistamine.

Hain, A., 1999. Aruanne lubimörtide koostisest ja kasutamisest konserveerimis- ja restaureerimistöodel. Tallinna Tehnika Ülikool, Bakalaureuse töö, Tallinn.

Helves, H., 1996. Ajalooliste lubimörtide uurimise analüütilisi probleeme. Tartu Ülikool, Magistritöö, Tartu.

Jürmann, K., 2003. Lubja kui ehitusmaterjali ja selle erinevate tootmismeetodite keskkonnaalane analüüs. Tartu Ülikool, KKT projekt, Tartu.

Karlsson, M., 1997. Renovation of the Presidential Residency in Tallinn.

Kuusemets, V., 2004. Ökoloogilise ehituse põhimõtted. Keskkonna- ja elutsükli hinnangud ehituses, Tartu Ülikool, lk 6-10.

Lindemann, T., 2004. Savi kui loodussõbralik ehitusmaterjal ja selle õhuniiskust reguleeriv toime. Tartu Ülikool, Bakalaureuse töö, Tartu.

Penu, P., 2005. Isiklikud kontaktid.

Perander, T., 1985. Ancient and Modern Mortars in the Restoration of Historical Buildings, Espoo, Finland.

Perens, H., 2003. Paekivi Eesti ehitistes I, Üldiseloomustus. Lääne-Eesti. Tallinn.

Raado, L., 2001/2002. Mineraalsed sideained 2.

The National Institute of Public Health, 1999. Indoor. Environment & Health: a book for everyone who cares about a healthy indoor environment. Nr.13. Sweden.

Uuetalu, A., 2003. Lubimörtide püsivusomaduste parandamise võimalused. Tallinna Tehnika Ülikool, Magistritöö, Tallinn.

Uuetalu, A., 2000. Lubimörtide püsivusomaduste uurimine. Tallinna Tehnika Ülikool, Bakalaureuse töö, Tallinn.

Ziesemann, G., Krampfer, M. und Knieriemen, H., 1997. Natürliche Farben. AT Verlag, Aarau, Schweiz.

Ajakirjad ja muud perioodilised väljaanded

Kalamees, T., 2001. "Hingav" puitsein ruumide sisekliima mõjutajana. Ehitaja nr. 9, lk. 38-40.

Krooni, P., 2000. Ruum ja tervis: [nõutavad keskkonnatingimused ruumis]. Keskkonnatehnika, nr. 5, lk. 33-34.

Pritchett, I., 2004. The Modern Face of Lime. AECB article.

Samuel, G., 2000. Sisekeskkond ja tervis. Ehituskaar nr. 1, lk. 26-29 ; nr. 2, lk. 20-23 ; nr. 4, lk. 26-27.

Interneti allikad

AS Limexi kodulehekülg.

<www.limex.ee> 15.03.2005

AS Uninaks kodulehekülg.

<<http://www.uninaks.ee>> 17.04.2005

Energiasäästu portaal.

<<http://kokkuhoid.energia.ee>> 06.05.2005

Fassaadivärvid (krohv- ja kivipinnal).

<<http://www.tarmatrade.ee/kasulik3.htm>> 09.04.2005

Konspekt ehitusmaterjalidest.

<<http://www.eau.ee/~mst/ehitusmater.pdf>> 27.03.2005

May, N., 1998. The ecology of lime.

<http://naturalbuildingproductsco.uk/ntitemp.com/ecology_lime.htm> 30.03.2005

Mineraalsed fassaadikrohvid.

<<http://www.tarmatrade.ee/kasulik4.htm>> 06.04.2005

Puidu katsetamine. Tallinna Tehnika ülikooli Ehitusmaterjalide õppetooli praktikum.

<<http://ehitustootlus.ttu.ee/praktikumid/ehitusmaterjalid/puit.pdf>> 09.05.2005

Raado, L., 2005. Ehitusmaterjalid. Loengukonspekt.

<http://ehitustootlus.ttu.ee/Raado/EPM3500_2005.pdf> 25.04.2005

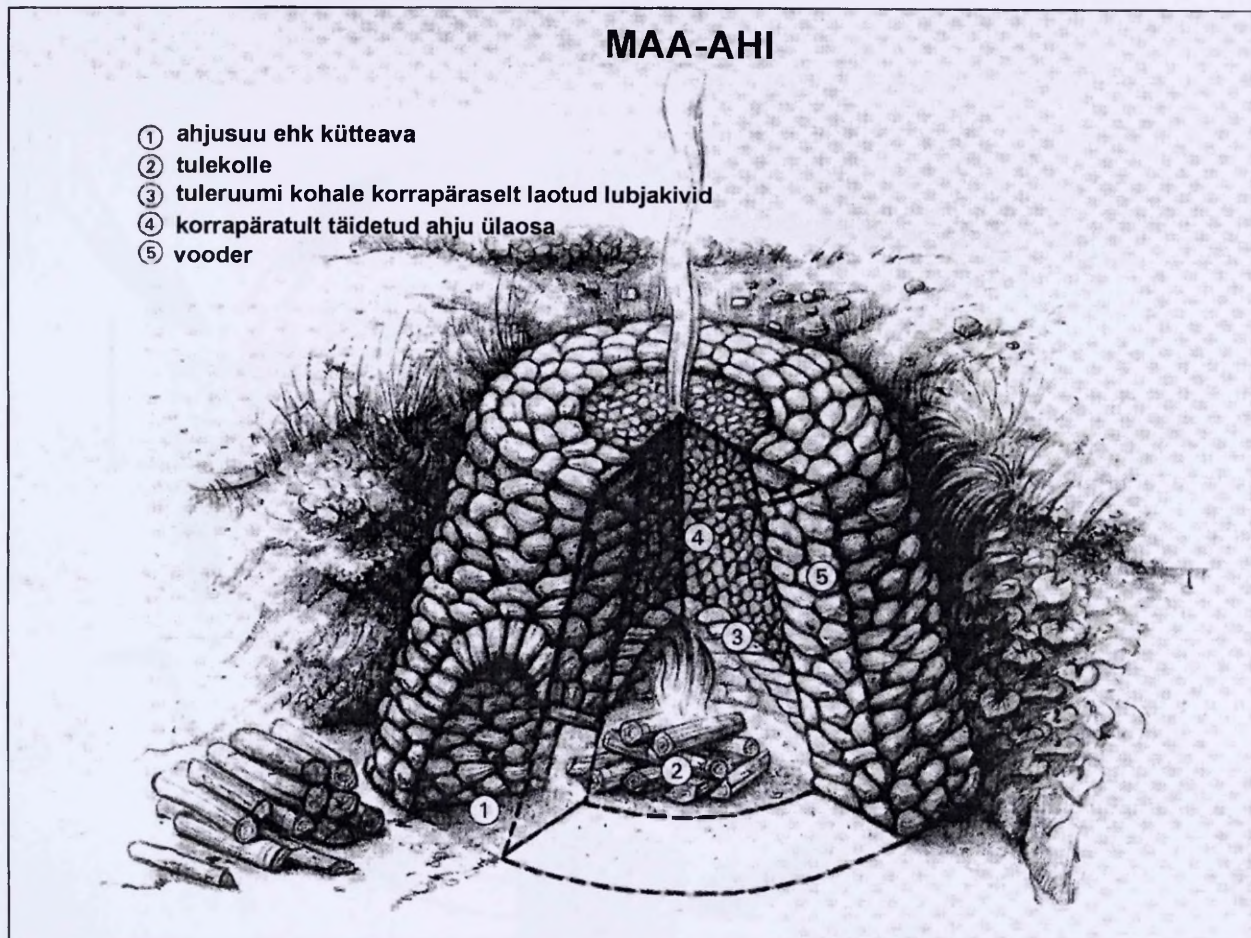
Savikrohvi kodulehekülg.

<<http://savikrohv.ceet.ee>> 18.05.2005

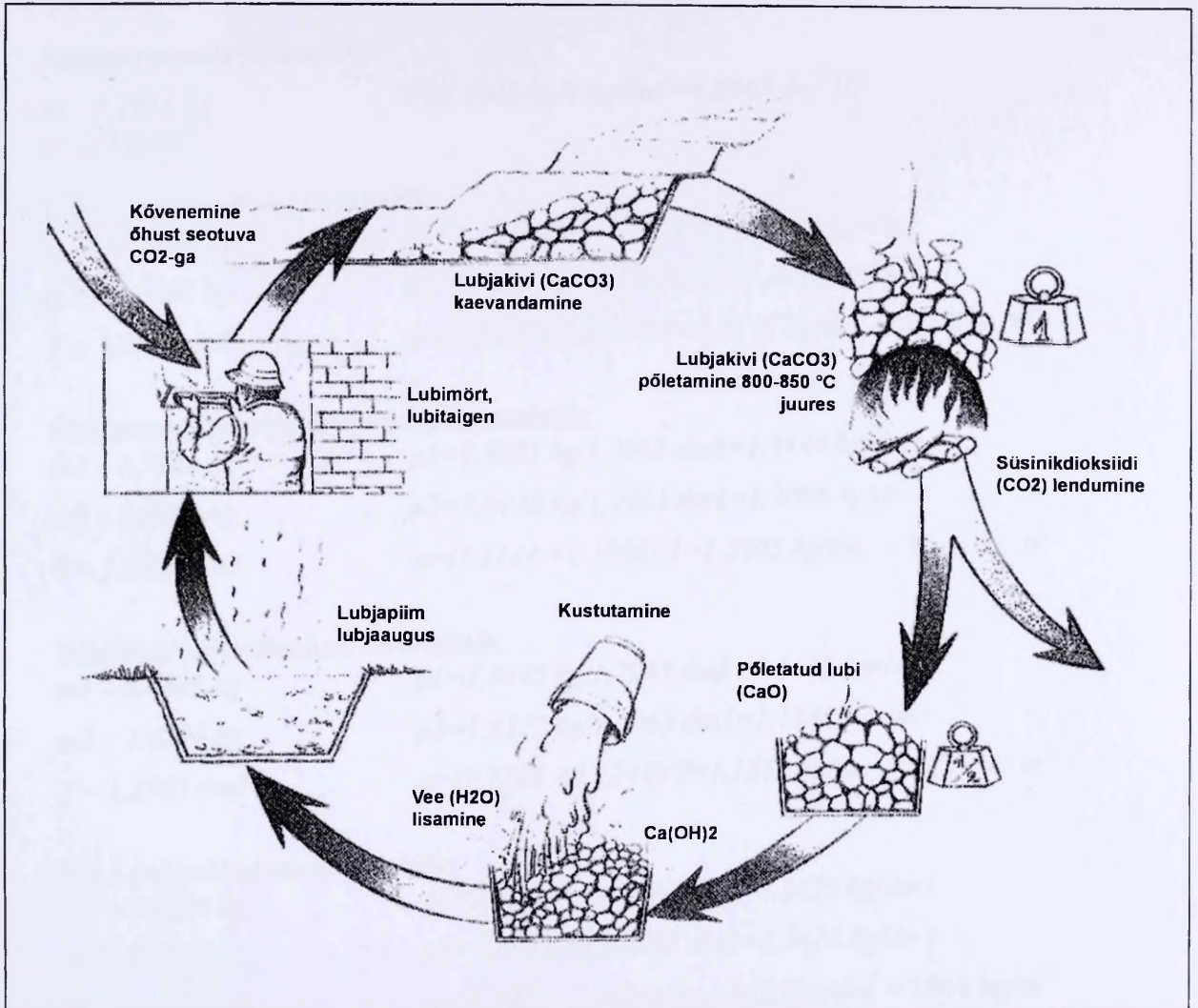
Soon, A., 2005. Sisekeskkond ja tervis. Tartu Ülikooli tervishoiu instituut.

<http://biomedicum.ut.ee/arth/oppetoo/pohiope_arstiteadusk/kohustuslikud_ained/arh.01.044/Sisekeskkond2005.pdf> 01.04.2005

Lisa 1. Maa-ahju olulisemad komponendid (Ziesemann et al. 1997).



Lisa 2. Lubisideaine tootmistsükkel traditsioonilisel meetodil (Zieseemann et al. 1997).



Lisa 3. Katsetes kasutatud materjalide tiheduste arvutuskäigud.

Anuma ruumala määramine:

$$\begin{aligned} m &= 1,2963 \text{ kg} & V &= 1,2963 \text{ kg} / 1 \text{ kg/dm}^3 = 1,2963 \text{ dm}^3 \text{ (l)} \\ \rho &= 1 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned}$$

Lubjapasta tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,6438 \text{ kg} & \rho_1 &= 1,6438 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,2681 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,6527 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,6527 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,2749 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,2681 + 1,2749) / 2 = 1,2715 \text{ kg/dm}^3 \approx 1272 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Sõelumata lubjapasta tiheduseks arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,7083 \text{ kg} & \rho_1 &= 1,7083 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,3144 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,6938 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,6938 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,3066 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,3144 + 1,3066) / 2 = 1,3105 \text{ kg/dm}^3 \approx 1311 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Tsemendi puistetiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,4495 \text{ kg} & \rho_1 &= 1,4495 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,1181 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,4575 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,4575 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,1244 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,1181 + 1,1244) / 2 = 1,1213 \text{ kg/dm}^3 \approx 1121 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Liiva puistetiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 2,0034 \text{ kg} & \rho_1 &= 2,0034 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,5455 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,9984 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,9984 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,5416 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,5455 + 1,5416) / 2 = 1,5435 \text{ kg/dm}^3 \approx 1544 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Lubjakivi sõelmete puistetiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,8387 \text{ kg} & \rho_1 &= 1,8387 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,4184 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,8301 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,8301 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,4117 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,4184 + 1,4117) / 2 = 1,4151 \text{ kg/dm}^3 \approx 1415 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

AS Uninaks kuivsegu puistetiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,4197 \text{ kg} & \rho_1 &= 1,4197 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,0952 \text{ kg/dm}^3 \\ m_2 &= 1,4158 \text{ kg} & \rho_2 &= 1,4158 \text{ kg} / 1,2963 \text{ dm}^3 = 1,0922 \text{ kg/dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,0952 + 1,0922) / 2 = 1,0937 \text{ kg/dm}^3 \approx 1094 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Lisa 4. Lubjapasta veesisalduse määramise arvutuskäigud.

Lubjapasta veesisalduse arvutuskäik:

$$m_1 - 487,7 \text{ g}$$

$$m_2 - 320,1 \text{ g}$$

$$\% = (487,7 - 320,1) / 487,7 * 100\% = 34,37\% \approx \mathbf{34,4\%}$$

Sõelumata lubjapasta veesisalduse arvutuskäik:

$$m_1 - 487,2 \text{ g}$$

$$m_2 - 323,7 \text{ g}$$

$$\% = (487,2 - 323,7) / 487,2 * 100\% = 33,56\% \approx \mathbf{33,6\%}$$

Lisa 5. Katsetes kasutatud seadmed.

1. Standardile EVS 763-2:2000 vastav mördi veesidumisvõime määramise seade



2. Katsekehade kuivatamiseks kasutatud kuivatuskapp



3. Veeauru akumuleerimisvõime määramiseks kasutatud katsekast



4. Katsekast koos katsekehadega (pilliroomatt)



5. Katsekehade kaalumiseks kasutatud kaalud



Lisa 6. Mörtide valmistamiseks kasutatud materjalid ja nende kaalusuhted. Mörtide tihedused ja veesidumisvõimed.

	Mördisegu			Mördi tihedus kg/m ³	Mördi veesidumisvõime %	
	kaaluline koostis					
Traditsiooniline lubimört (1:1)		lubjapasta (kuivainena)	sõelmed	liiv	3066	97,86
	Suhe	1,0:	:3,16	:4,16		
		lubjapasta (veesisaldusega)	sõelmed	liiv		
	Suhe	1,0:	:2,07	:2,73		
	kaal (kg)	2,8	5,8	7,6		
Harilik lubimört (1:3)		lubjapasta (kuivainena)	liiv		2944	97,49
	Suhe	1,0:	:3,0			
		lubjapasta (veesisaldusega)	liiv			
	Suhe	1,0:	:1,97			
	kaal (kg)	4,2	8,3			
Lubimört (1:3) (sõelumata lubjapastast)		lubjapasta (veesisaldusega)	liiv		2928	97,62
	Suhe	1,0:	:3,0			
		lubjapasta (kuivainena)	liiv			
	Suhe	1,0:	:1,99			
	kaal (kg)	4,2	8,4			
Lubitsementmört (1:0,2:3)		lubjapasta (veesisaldusega)	tsement	liiv	1936	97,24
	Suhe	1,0:	:0,2	:3,0		
		lubjapasta (kuivainena)	tsement	liiv		
	Suhe	1,0:	:0,13	:1,97		
	kaal (kg)	4,1	0,53	8,1		
Lubimört AS Uninaks		kuivsegu	vesi		2047	97,02
	Suhe	1,0:	:0,2			
	kaal (kg)	46,6	9,3			

Lisa 7. Mörtide tiheduste määramise arvutuskäigud.

Traditsioonilise lubimördi (1:1) tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1,4197 \text{ kg} & \rho_1 &= 3,9698 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 3,0624 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ m_2 &= 1,4158 \text{ kg} & \rho_2 &= 3,9791 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 3,0696 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (3,0624 + 3,0696)/2 = 3,066 \text{ kg}/\text{dm}^3 \approx \mathbf{3066 \text{ kg}/\text{dm}^3} \end{aligned}$$

Hariliku lubimördi (1:3) tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 3,8166 \text{ kg} & \rho_1 &= 3,8166 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,9442 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ m_2 &= 3,8116 \text{ kg} & \rho_2 &= 3,8116 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,9404 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (2,9442 + 2,9404)/2 = 2,9441 \text{ kg}/\text{dm}^3 \approx \mathbf{2944 \text{ kg}/\text{dm}^3} \end{aligned}$$

Sõelumata lubjapastast lubimördi (1:3) tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 3,7892 \text{ kg} & \rho_1 &= 3,7892 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,9231 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ m_2 &= 3,8006 \text{ kg} & \rho_2 &= 3,8006 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,9319 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (2,9231 + 2,9319)/2 = 2,9275 \text{ kg}/\text{dm}^3 \approx \mathbf{2928 \text{ kg}/\text{dm}^3} \end{aligned}$$

Lubitsementmördi (1:0,2:3) tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 2,5133 \text{ kg} & \rho_1 &= 2,5133 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 1,9388 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ m_2 &= 2,5046 \text{ kg} & \rho_2 &= 2,5046 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 1,9321 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (1,9388 + 1,9321)/2 = 1,9355 \text{ kg}/\text{dm}^3 \approx \mathbf{1936 \text{ kg}/\text{dm}^3} \end{aligned}$$

AS Uninaks lubimördi tiheduse arvutuskäik:

$$\begin{aligned} m_1 &= 2,6557 \text{ kg} & \rho_1 &= 2,6557 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,0487 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ m_2 &= 2,6513 \text{ kg} & \rho_2 &= 2,6513 \text{ kg}/1,2963 \text{ dm}^3 = 2,0453 \text{ kg}/\text{dm}^3 \\ V &= 1,2963 \text{ dm}^3 & \rho &= (2,0487 + 2,0453)/2 = 2,0470 \text{ kg}/\text{dm}^3 \approx \mathbf{2047 \text{ kg}/\text{dm}^3} \end{aligned}$$

Lisa 8. Mörtide veesidumisvõime määramise arvutuskäigud

Traditsioonilise lubimördi (1:1) veesidumisvõime arvutuskäik:

$$m_1 - 13,7 \text{ g}$$

$$m_2 - 22,2 \text{ g}$$

$$m_3 - 1678,1 \text{ g}$$

$$m_4 - 2075,9 \text{ g}$$

$$WRV = 100\% - [(22,2\text{g} - 13,7\text{g}) / (2075,9\text{g} - 1678,1\text{g}) * 100\%] = 97,86\%$$

Hariliku lubimördi (1:3) veesidumisvõime arvutuskäik:

$$m_1 - 13,4 \text{ g}$$

$$m_2 - 22,8 \text{ g}$$

$$m_3 - 1677,9 \text{ g}$$

$$m_4 - 2052,2 \text{ g}$$

$$WRV = 100\% - [(22,8\text{g} - 13,4\text{g}) / (2052,2\text{g} - 1677,9\text{g}) * 100\%] = 97,49\%$$

Sõelumata lubjapastast lubimördi (1:3) veesidumisvõime arvutuskäik:

$$m_1 - 14,0 \text{ g}$$

$$m_2 - 22,6 \text{ g}$$

$$m_3 - 1679,4 \text{ g}$$

$$m_4 - 204,02 \text{ g}$$

$$WRV = 100\% - [(22,6\text{g} - 14\text{g}) / (2042,0\text{g} - 1679,4\text{g}) * 100\%] = 97,62\%$$

Lubitsementmördi (1:0,2:3) veesidumisvõime arvutuskäik:

$$m_1 - 13,6 \text{ g}$$

$$m_2 - 23,9 \text{ g}$$

$$m_3 - 1678,2 \text{ g}$$

$$m_4 - 2051,4 \text{ g}$$

$$WRV = 100\% - [(23,9\text{g} - 13,6\text{g}) / (2051,4\text{g} - 1678,2\text{g}) * 100\%] = 97,24\%$$

AS Uninaks lubimördi veesidumisvõime arvutuskäik:

$$m_1 - 13,7 \text{ g}$$

$$m_2 - 25,0 \text{ g}$$

$$m_3 - 1678,2 \text{ g}$$

$$m_4 - 2057,9 \text{ g}$$

$$WRV = 100\% - [(25,0\text{g} - 13,7\text{g}) / (2057,9\text{g} - 1678,2\text{g}) * 100\%] = 97,02\%$$

Lisa 9. Kivistunud lubimörtide tasakaaluniiskuse määramise arvutuskäigud.

Traditsioonilise kivistunud lubimördi (1:1) tasakaaluniiskuse arvutuskäik:

$$m_1 - 407,4 \text{ g}$$

$$m_2 - 406,2 \text{ g}$$

$$\% = (407,4 \text{ g} - 406,2 \text{ g}) / 406,2 \text{ g} * 100\% = 0,3\%$$

Hariliku kivistunud lubimördi (1:3) tasakaaluniiskuse arvutuskäik:

$$m_1 - 351,6 \text{ g}$$

$$m_2 - 349,9 \text{ g}$$

$$\% = (351,6 \text{ g} - 349,9 \text{ g}) / 349,9 \text{ g} * 100\% = 0,5\%$$

Sõelumata lubjapastast kivistunud lubimördi (1:3) tasakaaluniiskuse arvutuskäik:

$$m_1 - 358,2 \text{ g}$$

$$m_2 - 356,0 \text{ g}$$

$$\% = (358,2 \text{ g} - 356,0 \text{ g}) / 356,0 \text{ g} * 100\% = 0,6\%$$

Kivistunud lubitsementmördi (1:0,2:3) tasakaaluniiskuse arvutuskäik:

$$m_1 - 356,7 \text{ g}$$

$$m_2 - 351,8 \text{ g}$$

$$\% = (356,7 \text{ g} - 351,8 \text{ g}) / 356,7 \text{ g} * 100\% = 1,4\%$$

AS Uninaks kivistunud lubimördi tasakaaluniiskuse arvutuskäik:

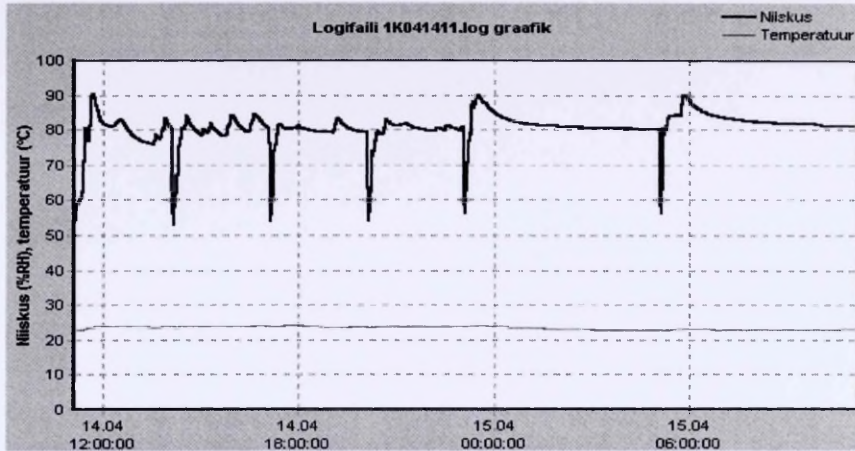
$$m_1 - 367,0 \text{ g}$$

$$m_2 - 360,9 \text{ g}$$

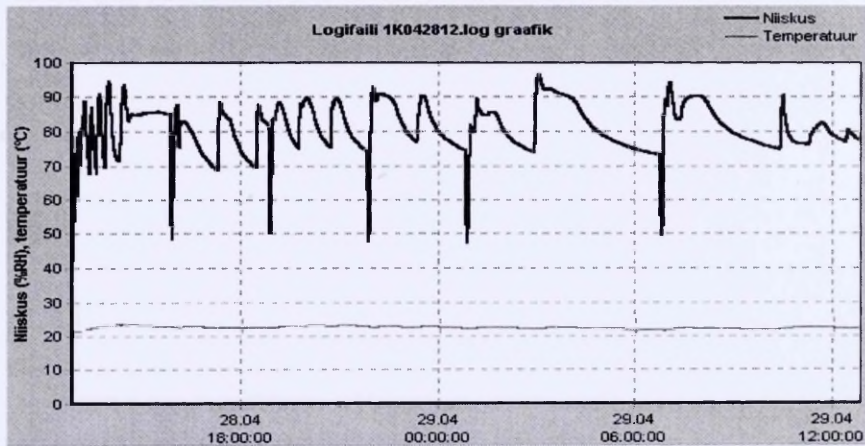
$$\% = (367,0 \text{ g} - 360,9 \text{ g}) / 360,9 \text{ g} * 100\% = 1,7\%$$

Lisa 10. Niiskuse akumuleerimisvõime määramise katsete katsekasti relatiivse niiskuse tase.

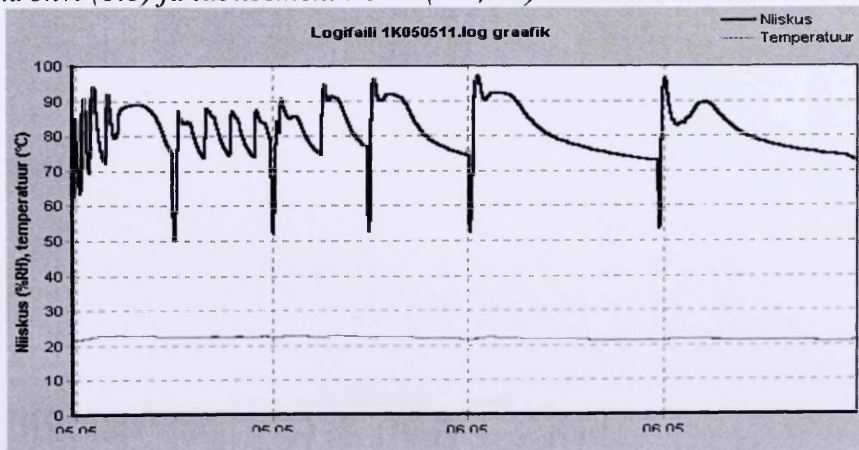
1. Pilliroomattide veeauru akumuleerimisvõime katse



2. AS Uninaks lubikrohvi veeauru akumuleerimisvõime katse



3. Traditsioonilise (1:1), hariliku (1:3), sõelumata lubjapastast valmistatud lubikrohvi (1:3) ja lubitsementkrohvi (1:0,2:3) veeauru akumuleerimisvõime katse



RETSENSIOON

Tartu Ülikooli Bioloogia-Geograafia teaduskonna keskkonnatehnoloogia üliõpilase **Kermo Jürmani** bakalaureuse tööle “Lubi kui traditsiooniline ehitusmaterjal ja lubikrohvi õhuniiskust reguleeriv toime”.

Bakalaureuse töö on vormistatud nõuetekohaselt 60 leheküljel, millele on lisatud täiendavalt lisasid 10 lk mahus. Illustreerivat materjali on esitatud piisavalt 15 joonist, millest autori looduid on vaid kaks. Andmed on organiseeritud kujul ka 15 tabelis, kus originaal andmeid esitakse pooltel juhtudel. Töö koostamisel on kasutatud 34 algallikat, millest 1 on elektroonilise päritoluga. Võõrkeelsetest on kasutatud kuute inglise ja ühte saksa keelset infoallikat. Töö lõpus on esitatud ka vajalik ingliskeelne – summary.

Bakalaureuse kraadi taotleja pakub tiitellehel välja bakalaureusetöö ökotehnoloogias, kahtlen, kas komisjon on pädev välja andma vastavat Tartu Ülikooli diplomit, sest riiklikult akrediteeritud õppekava 6420010 on siiski Keskkonnatehnoloogia. Bakalaureusetöö kompositsiooniline ülesehitus ja proportsioonid ei ole harmoonias: 27 lehekülge sissejuhatust, mis moodustab 49% töö sisulisest mahust, muutus retsensendile koormavaks, sest retsenseeritakse ikkagi lõputööd, mitte laiaulatuslikku krohvimisalast käsiraamatut.

Kirjatöö teises pooles jõutakse ka eksperimendini, mis toimusid käesoleva aasta kevadkuudel. Arvestades, et proovikaalumised toimusid ööpäeva kestel kolme tunniste intervallidega, siis võib eeldada, et teadmistejanu kustutamiseks tuli veeta vähemalt üks ööpäev järjepanu laboris?! Eksperimendi osa on kindlasti ka kõige väärtuslikum osa tööst, kahju ainult, et isiklike eksperimendaandmete korralikuks analüüsiks ning lahti seletamiseks enam piisavalt aega ja energiat (või teadmisi?) enam ei jätkunud.

Keeleline ja tehniline korrektsus

Keelekasutusega võib rahule jääda ja olulisi kirjavigu retsenseerija kiirlugemise käigus ei avastanud. Suhteliselt palju esineb töös kaudset viitamist, kohati esineb vajaka jäämist viitamise loogikas, näiteks: lk. 8 ülareas: „lubjakivi sisaldab 56% CaO ja 44% CO₂ (Pritchett 2004)?!; ja samas lk. 28 keskosas „Saksa teadlased tõestasid, et vanade puuraamidega akende.....“ – kuskohal loogiliselt vajalik allikaviide sootuks puudub.

Üldmärkuste loetelu:

- a) üldiselt tabelite pealkirjad ei lõpe punktiga;
- b) ökotehnoloogilises töös oleks oodanud ka paberi säästlikumat kasutamist, s.t. suured tühimikud lk. 9, 24, 31;
- c) lk.16 on Tabel 2. pealkiri on lehekülje üleminekuga eraldunud tabelist;
- d) kõik kasutamist leidnud võõrad joonised on kenasti algallikale viidatud, kuid joonis. 8. korral viide autorile puudub puudub;
- e) jooniste hall taust ei ole õnnestunud valik, eriti joonis14 (lk 50) loetavuse tagamiseks.

Sisulised küsimused:

Üldkäsitluslikud

- a) Töö sissejuhatuses on toodud mõiste „primaarenergia“, mis vajaks siiski täpsemat lahti defineerimist. Kuidas tekib suurtööstuse ja väiketööstuse vahel 130 kordne erinevus (joonis 2, lk 7), kuigi 1 kg lubjapõletamine vajab võrdse koguse soojusenergiat?!
- b) lk. 8 väidate, et kui lubjatootmiseks kasutatakse soojusenergia allikana puitu, siis jääks C-bilanss ökosüsteemis tasakaalu, palun täpsustage seda seisukohta s.t. millistel tingimustel?
- c) Töö eesmärkideks oli uurida „lubimörtide mõju õhuniiskuse reguleerimise osas ruumi sisekliimale“ (lk 32.). Kas antud uurimistöös oli ka tähtsust, kas tööruum või eluruumi erinevad osad?
- d) lk. 39 kasutate mõistet „kuppel“ kas see on Teie insenertehnilise töö korral õige mõiste?

Metodoloogilised

- a) lk 42. Valmistati kaheksa lubikrohvi matti, neli traditsioonilist (4 kordust?) ja teised kõik ühes korduses? Hiljem katseandmete tabelites (7, 8) ei selgu, et traditsioonilise lubimördil oleks kasutatud nelja korduse keskmist s.t. see variant ikkagi ka ühes korduses? Tabel 10 märgitakse, et AS Uninaksi lubikrohvi imatud vee kaalud on toodud nelja keskmisena. Kuna ka lisades korduste vahelist variatsiooni ei esitata, tekib küsimus, kas variandisene (s.t. korduste vaheline erinevus) oli väiksem, võrdeline või suurem kui erinevate lubikrohvi tüüpide vahel?
- b) lk 42 Kuidas Te veendusite, et massi stabiliseerumine vältas täpselt 47 tundi?
- c) Tabelis 14 auruläbivuse andmed põhinevad Teie katses kasutusel olnud krohvimattide andmetel või analoogse tehnoloogiaga Uuetalu enda poolt valmistatud krohvimattidel?
- d) Arutelus ja kokkuvõttes ei viidata selgelt konkreetsele füüsikalisele näitajale, milline kehade veesidumisvõimet kõige rohkem mõjutab. Mis on ikkagi see fenomen, et „tsemendi lisand tekitab kivistunud lubimördis tekitab suure veeakumuleerumisvõime, mis suuremast tasakaaluniiskusest hoolimata suudab endasse rohkem vett siduda“ lk 52. Või lk 55. „Kuna eeldatavasti võib arvata, et madalama niiskusesisaldusega materjal on võimeline endasse rohkem niiskust siduma, siis nii see ei olnud“?

Pika teoreetilise ülevaatega alanud bakalaureuse tööst võis eeldada, et kokkuvõtteks tekib tugev sünergia, teooria ja praktika vahel. Paraku peab retsenseerija nentima, et need kaks poolust jäid kahjuks väga heaks tervikuks kokku sünteesimata. Kindlalt on bakalaureuse kraadi taotleja **väga heal** tasemel töömehena ja eksperimentaatorina, aga teadusmehele vajalik analüütiline pool jääb tunduvalt nõrgemaks *ca* **heale** kuni rahuldavale tasemele.

30.05.2005. Tartus

Lugupidamisega retsensent

 Arno Kanal
Mullateaduse dotsent