

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja tehnoloogiateaduskond

Keemia instituut

Analüütilise keemia õppetool

Maiu Varner

**PINNAKATETE ROLL TAHVELMAALIDE STABILISEERIMISEL**

Magistritöö

Juhendaja: Ph.D. Ivo Leito

Tartu 2010

## SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	3
1 TAHVELMAALE OHUSTAVATEST TEGURITEST.....	4
2 KATSE JAOKS VALITUD MATERJALID.....	8
2.1 Tahvli materjal.....	8
2.2 Tahvlite esikülgedel kasutatud materjalid.....	8
2.3 Tahvlite tagakülgedel kasutatud materjalid.....	9
2.3.1 Üldist.....	11
2.3.2 Pinnakatetest eraldi.....	13
3 EKSPERIMENTAALNE OSA.....	22
3.1 Tahvlid.....	22
3.2 Kasutatavad vahendid ja nende usaldusväärsus.....	24
4 TULEMUSED.....	28
4.1 Üldist.....	28
4.2 Katsetahvlitest liigiti.....	30
4.2.1 Referentstahvlid.....	30
4.2.2 Pinnakatetega tahvlid.....	31
5 KOGUTUD ANDMETE ANALÜÜS.....	36
6 EKSPERIMENDI TULEMUSTE VAATLEMINE ÜLDISES KONTEKSTIS.....	44
7 JÄRELDUSED.....	48
8 KOKKUVÕTE.....	50
9 KASUTATUD KIRJANDUS.....	51
Summary.....	61
LISAD.....	62
Lisa 1. Märkused.....	62
Lisa 2. Ajaloolistest kaitsemeetmetest maaltahvlitele ja nende eestikeelsest esmatutvustusest.....	69
Lisa 3. Graafikud ja mõõtmistulemused.....	95
Lisa 4. IP-spektrid.....	118
Lisa 5. Selgitused fotomaterjali juurde.....	143
Lisa 6. Fotod (ainult elektroonilises versioonis)	

## SISSEJUHATUS

Käesolev töö sai alguse autori osalusest EL Struktuurifondide poolt kaasfinantseeritud Varnja ikoonide restaureerimisprojekti EU22498. Autori rolliks oli selle projekti koostamine, organiseerimine ja juhtimine. Mitmete probleemidega tuli tegeleda ilma näidislahendusteta ning Eesti kohta enneolematu mastaabis.

Tahvelmaalide halb säilimine aegajalt köetavates kirikutes on üleilmselt tuntud probleem ning see on aktuaalne ka Eestis. Niisketes Peipsi-äärsetes vanausuliste palvelates asub ligi 700 muinsuskaitsealust ikooni. Palvelaid köetakse teenistuse jaoks külmal ajal kord nädalas. Suhteline õhuniiskuse tase Varnja palvelas tavaliselt vahemikus 50–85% ning on keskmiselt ca 78%. Tahvelmaali jaoks sobivaks õhuniiskuseks loetakse vahemikku 55–60%. Stabiliseerida saab tahvelmaale ka kõrgematel õhuniiskustel, kuid sel juhul suureneb nende tundlikkus õhuniiskuse kõikumiste suhtes (Richard et al. 1995) ja kasvab bioloogiliste kahjustuste oht. Niiskuse tugevdab ka tolmusaaste mõju ja see kiirendab objektide vananemist (Koller 1990). Inimtegevusest tulenevad järsud kliimakõikumised on puitalusel tahvelmaalile ülimalt kahjulikud nagu paljud uurijad on tuvastanud (Koller 1990, Legrum 1994, Camuffo et al. 1999, Kappock 2004, Berger ja Russell 2005, Bratasz et al. 2005 ja 2007, Allegretti ja Raffaelli 2008). Vanemate arhitektuurimälestiste kliimat ei lubata Eestis kliimaseadmetega reguleerida, ühtlasi on kulukad mitte ainult vastavad seadmed, vaid ka nende hooldus. Silikageeli baasil töötavad spetsiaalsed kattedehered ikoonide tagakülgedele (nt. Artsorb) on piiratud niiskumahtuvusega ning vajavad niiskuse jätkuvaks reguleerimiseks pidevat hooldust, mis ei ole paljude kõrgel asuvate ikoonide rasket ligipääsetavust ja väikeste koguduste piiratud ressursse arvestades võimalik. Et ikoonid on eraomandis ja eesmärgipäraselt kasutusel, ei ole võimalik neid koopiatega vastu vahetada.

Seega seisib Varnja ikoonide restaureerimisprojekt suure probleemi ees – kuidas tagada restaureerimistöö säilimine niivõrd ebasoodsates tingimustes? On ju kultuuripärandi haldamise põhiprintsiipideks kultuuripärandi piiratud hulk, haruldus, uuendamatus ja väärtuslikkus (Spennemann, Look 1994 - Konsa järgi, 2007) ning sellega kaasnev vastutus sunnib kultuurimälestiste kaitsjaid pakkuma oma parimat. Nagu rõhutavad Rothe ja Marussisch (1998), peavad konservatorid alati arvestama objekti tulevase asukohaga - objektid, mis lähevad kontrollimatute tingimustega kliimasse, vajavad

struktuurilist stabiilsust, liikumisvabadust ning mingis vormis, kuid keeruliste konstruktsioonideta niiskusbarjääri. Restaureeritud maalid võivad olla tundlikumad õhuniiskuse kõikumiste suhtes kasutatud lahustite sidemeid osaliselt lõhkuva mõju tõttu ja see suurenenud tundlikkus avaldub eriti kergesti ebastabiilsetes tingimustes (Jaeschke ja Jaeschke 1990). Palvelas oli ka üks hoiatav näide, varasem Muinsuskaitseameti tellimisel restaureeritud ikoon, mis aasta jooksul pärast restaureerimist lõhenes tagaküljelt. Oli ilmne, et puittahvlite stabiilsust tuleb antud olukorras reguleerida kattekihtidega või mingit laadi hüdrofoobse töötusega maalinguta külgedel. Kahjuks aga ei toodeta vastavaid spetsiaalseid pinnakatteid ja puudub isegi võimalike alternatiivide ulatuslikum pingerida. Ka Plummer ja Hulbert (1979) on tõdenud, et ühtegi olemasolevat lakki ei saa soovitada kui ideaalselt sobivat niiskesse reguleerimata kliimasse. Niisiis tuleks probleemi lahendamiseks uurida mittespetsiaalseid pinnakatteid ning püüda mõista nende toimet. Tööstuslikke pinnakatteid on kaasanud sarnastesse uurimustesse ka Brewer (1991). Lisaks pinnakatete kaitsevõime testimisele tuleks uurida, kuivõrd on valitud materjalid potentsiaalselt suutelised ohustama maalingut, osaliselt difundeerudes puittahvli tagaküljelt esiküljele (selline küsimus tõstus Eesti Muinsuskaitseametis).

Käesolevas töös uuritakse erinevate pinnakatete toimimist maalitahvli niiskusvahetuse reguleerimisel. Töö põhiosaks oli tahvelmaali mudelitega läbi viidud aastase kestusega eksperiment kõigi tahvlite jaoks sarnastes, kliimakambri abil sihilikult ebastabiilseks reguleeritud tingimustes. Katsetahvlid olid esiküljelt kaetud tahvelmaalile analoogiliste kihtidega, muudelt külgedelt aga erinevate pinnakatetega. Töö tulemused võiksid olla aluseks järgnevate uurimissuundade määratlemisel ning praktiliselt kasulikud nii restauraatoritele kui klassikalise tahvelmaali harrastajatele.

## **1 TAHVELMAALE OHUSTAVATEST TEGURITEST**

Esmase kaitse annab kunstiteosele tehnoloogiliselt õige lahendus.

Säilitusmeetmeteta säilinud ürgsete koopajooniste puhul on juhuslikult saavutatud ideaalne tulemus – tuhanded aastad säilivust. See tulemus lihtsa tehnika puhul näitab säilivuse põhitingimusi, milleks on aluspinna stabiilsus ning ülejäänud kihtide minimaalsed pinged ja keemilised reaktsioonid. Säilitamine muutub tõsiseks

probleemiks mitmekihilise erinevate ainete kombinatsiooni puhul nagu seda on tahvelmaal, eriti kui ta on eksponeeritud muutlikele tingimustele.

Puidu hügrooskoopsus põhjustab tema mõõtmete ebastabiilsust erineva niiskuse (ja temperatuuriga) keskkonnas. Ideaalis tuleks hoida puidu niiskusesisaldus muutumatu, et vältida puidu pragunemist (Saarman ja Veibri 2006). Vähem kui tund aega kestvatele fluktuatsioonidele ei jõua enamik orgaanilisi materjale reageerida, samuti pole kuigi ohtlikud aastaajalised õhuniiskuse kõikumised, millega materjalid aeglaselt kohanevad, küll aga on ohtlikud suure amplituudiga järsud kõikumised (Konsa 2007).

Niiskuse liikumine puittahvlisse sõltub suuresti pinnakattest (Brewer 1991). Ei ole teada pinnakatet, mis oleks niiskusele läbimatu ning samas nakuks puiduga (Schniewind ja Arganbright 1984). Argipäevane kogemus näitab, et puidust uks võib kuival perioodil liikuda vabalt ning vihmaperioodil paisuda raskesti suletavaks. Selle vastu ei aita ka paks värvikiht, kuigi õlivärv peaks olema üsna hea niiskusetõkestaja – siiski pääseb niiskus peagi läbi. Kuigi kattekiht toimib niiskusbarjäärina, esineb kõigis kelmetes kapillaare ja poore, mida mööda liiguvad vesi, hapnik ja soolad, juhitud kontsentratsioonigradiendist (Cohen 2004). Parimadki niiskuskindlad materjalid ei kaitse puitu üldise liigniiskuse eest, kuid mahendavad siiski järske šokke (Buck 1961). Tahvelmaal erineb uksest mitte ainult otstarbe ja kasutuskoha, vaid ka valdavalt tasakaalustamata pinnakihtide poolest. Ühe külje pinnakihtid – maali jaoks vajalikud kihid – on tehnoloogia läbi ette antud, tagaküljel ja külgservadel esineb aga tavaliselt vähem niiskuskindel materjal või on maalinguta pinnad täielikult kattekihtideta. Seega on tagakülje niiskusvahetus on kiirem ning tahvli ristlõikes tekib niiskuse asümmeetriline gradient (Hoadley 1998, Dionisi Vici et al. 2005, Bratasz et al. 2005). Mahuliselt suurem, niiskusrikkam tsoon puidus jääb tahvli esiküljele. Tüüpiline ikoonitahvel kaardub seega maalinguküljelt kumeraks (vt. joonis Lisas 1.1). Sageli pannakse puidu “lõpuni kuivamise” ja tangentsiaalsest lõikesuunast põhjustatud deformeerumise arvele maalitahvlite tegelikult niiskuse asümmeetrilisest gradiendist põhjustatud kaardumist, mis ohustab ka radiaalsuunas lõigatud tahvleid (Hoadley 1998). Tahvelmaalid tervikuna reageerivad niiskuse muutumisele küllaltki aeglaselt ja ei jõua faktiliselt iialgi tasakaaluseisundisse (Legrum 1993 – Unger järgi 2001). Pindmistes kihtides võivad toimuda aga väga kiired mahulised muutused, erinevalt sisemusest (Bratasz et al. 2007). Puittahvli eri piirkondade erinev mahumuutus põhjustab pingeid ja kahjustusi. Kõetavates hoonetes asuvad puitesemed teevad sesoonsete kliimakõikumiste

mõjul läbi mitneprotsendilisi mahulisi muutusi (ristikiudu), kuid seejuures on elastse deformatsiooni võimalik suurus alla 1% (Hoadley 1978). Väga niiske vana puidu tugeval kuivatamisel võivad pehmenenud rakuseinad järele anda ja kollabeeruda (Sakai 1991 - Unger järgi 2001). Selline puit ei saavuta uuesti oma vormi ka suurema niiskuse mõjul – kõrvuti võivad esineda kollabeerunud rakkude ja normaalselt paisuvate rakkude tsoonid. Seega võib dramaatiline kliimakõikumine põhjustada parandamatu püsikahjustuse. Sageli on tahvel valmistatud mitmest lauast, mille liitekohad lahknevad puidu mahuliste muutuste, pingete ja niiskuse mõjul. Oletus, et puittahvli vananedes väheneb tema hügrooskoopsus ja mõõtmete kõikumine niiskuse mõjul, ei pea praktilises mõttes paika (Buck 1952, Hoadley 1998).

Schniewind ja Arganbright (1984) on formuleerinud puidu pinnakatte eesmärgid järgnevalt: 1) ära hoida niiskuse gradientide teket puidus ja seeläbi vältida puidu deformeerumist. 2) kaitsta puitu ootamatute ja ööpäevaste kliimakõikumiste vastu. 3) kaitsta puidu pinda mehaaniliselt. 4) kaitsta puitu muude aurude ja gaaside eest 5) tasakaalustada niiskuse liikumist puidus ja sellega seotud pingeid, hoides ära kaardumist. Viimase punkti puhul on eriliselt silmas peetud tahvelmaale.

Asümmeetrilise gradiendi vältimine võib tunduda lihtne – maalinguta külgede kaitsekihi niiskuskindlus peaks olema sama suur kui esikülje kihtide oma kokku, et niiskuse liikumine tahvlisse oleks tasakaalus (sellega seotud raskustest vt. Lisa 1.1.). Püüdlused üles ehitada tasakaalustatud pinnakatete süsteemi ilmuvad ja kaovad tahvelmaali ajaloos (vt. Lisa 2), olles üsna hästi vastavuses kunstilise väljendusvormi kõrgaegadega. Ootuspäraselt on see teema käesoleval ajal tagaplaanil, samas ei ole tagakülje pinnakatete teema iseendast midagi uut ka restaureerimisvaldkonnas.

Et käesolev uurimus on tugevasti inspireeritud praktilisest kogemusest raskesse olukorda sattunud kunstiväärtustega, vaatlemegi maalitahvlite restaureerimiseelse olukorra näitena Varnja ikoone tehnoloogilisest aspektist.

Varnja vanausuliste palvela ikonostaasi (1908) juhtiva autori F. Mõznikovi kunstiline stiil oli eriti rikkalik ja esteetiline ning tahvlid olid kahtlemata oskuslikult valmistatud. Varnja ikonostaasi väiksemate ikoonide põõnad olid täielikult tahvlisse süvistatud, mis muutis tahvli kompaktsuks. Oksakohad olid tahvlitest välja lõigatud ja asendatud nelinurksete puitklotsidega. Tahvlid ei olnud maalinguta külgedelt sugugi kaitseta. Ikoonide ülemine ja alumine serv olid krunditud (et täita poore kõige aktiivsemalt

niiskust imaval suunal) ning värvitud punakaspruuni värviga; kõik muud maalinguta pinnad olid kaetud punakaspruuni pigmendiga toonitud poolläbipaistva kattedkihiga, mis hiljem tahvlite tugevdamisel Paraloidi-atsetooni lahuses osaliselt lahustus.

Nagu 20. saj. alguse ebapiisavalt kuivatatud puidule tüüpiline, osutus see ikonostaas soodsaks pesitsuspaigaks puidukahjuritele niiskes, soisele pinnasele ehitatud, aegajalt soojaks köetavas kirikus. Suuri kahjustusi põhjustanud putukaliik oli tõenäoliselt mööbli-toonesep ( *Anobium punctatum* ). Tahvlitel oli hulgaliselt lennuavasid ning sisemuses esines palju pulbristunud piirkondi.

Mõned aastad enne restaureerimistöid töödeldi enamust Varnja kaitsealustest ikoonidest putukamürk deltametriiniga ( $C_{22}H_{19}Br_2NO_3$ ). Raskemini ligipääsetavad ikoonid jäid kahjuritevastase töötluseta ja nende edasine kahjustumine võib kauaks märkamata jääda.

Varnja ikoone õnnestus restaureerimistöode raames tugevdada vaakumimmutuse teel Paraloid B72 lahusega, kuid looduslike või sünteetiliste polümeeridega tugevdatud putukatest kahjustatud puit ei ole edaspidi kaitstud putukkahjustuste eest, sest kahjurid suudavad läbida sünteetilisi materjale ja jõuda toitainerikkamatesse piirkondadesse tahvlis (Unger 2001). Mis puutub seenkahjustuste võimalusse, siis Blanchette (1998) leiab, et kahjurite ja hallituse vältimiseks on vajalik kontrollitud õhuniiskus alla 60%, Saarman ja Veibri (2006) soovivad seenkahjustuste vältimiseks hoida puitu ümbritseva õhu suhteline niiskus alla 75%, mis Varnja palvelas ei ole võimalik. Samas ei tohi unustada, et Varnja palvelas kasutatud deltametriinil, vaatamata Eesti Muinsuskaitseametit nõustavate spetsialistide vastupidisele arvamusele, puudub mõju seentele. Deltametriin võib soodustada hallitusseente arengut (Tu 1980). Deltametriin mõjutab tugevasti K ja Na ionide tasakaalu närvisüsteemis (Husain et al. 1996), sellel põhineb ka mõju putukatele. Seentel närvisüsteem puudub. Mõningate kahjurite tõhusamaks hävitamiseks – küll mitte kultuuriväärtustega seotud juhtudel – koguni kombineeritakse kindlat liiki hallitusseene ja deltametriini toimet (Bahense et al. 2006). Seega peaks kaitsev pinnakate niiskes keskkonnas asuvate tahvelmaalide jaoks – nagu seda on Varnja väärtuslikud ikoonid - olema kas kombineeritav fungitsiidse töötlusel või sisaldama fungitsiidi. Seda aspekti peavad oluliseks ka Rowell ja Youngs (1981). Pinnakatete ja fungitsiidide kombineerimine võib osutada keeruliseks. Seepärast on korrektne enne fungitsiidita pinnakatete kasutamist uurida, kas ja kuidas mõjutavad nende omadusi fungitsiidid.

## 2 KATSE JAOKS VALITUD MATERJALID

### 2.1 Tahvli materjal

**Tammepuit.** Varnja palvelasse, varguse läbi kannatanud ikonostaasi maaliti projekti EU22498 käigus 27 asendusikooni tammest tahvlitele. Euroopas oli tamm 15. saj. valdavamaid maalitahvlite materjale. Lisaks sellele on ta – pidades silmas madalat kahjustatavust – üsna sobiv materjal kahjuriterohkesse niiskesse keskkonda, võrreldes ikoonialusena enam levinud pärnapuiduga. Pärn ei ole kuigi vastupidav mädanikele ja kahjuritele ning looduslikult leidub teda Eestis ainult ligikaudu 90 hektaril (Roos 2009). Kvaliteetset pärnapuitu Eestis ei müüda. Põhjustest, miks nii asendusikoonide kui katsetahvlite jaoks kasutati imporditud tamme, vt. Lähemalt Lisa 1.2.

Tamm on ka üks restauraatorite poolt uuritumaid puite, seega oli võimalik leida andmeid tamme vanandamiskatsete kohta, mis aitasid kujundada katseseeria režiimi. Keemilised elementide sisaldused on kõikidel puuliikidel peaaegu samad, üldine proportsioon on 50% süsinikku, 43% hapnikku, 6% vesinikku, 0,1% lämmastikku ja 0,4% tuhka (Roos 2009). Kuivõrd puit on ka liigisiselt küllalt kõikumate omadustega ja samas koosneb ta ikkagi kõigi liikide puhul sarnastest põhikomponentidest – tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist ning on sarnase ehitusega – ütlevad üht liiki puiduga läbiviidud pinnakatete katsed palju ka puidu käitumise kohta sarnastes katsetes üldiselt, eeldusel, et valitud puiduliik ei ole ekstreemsete omadustega. Näiteks puidu dielektrilised omadused on väga vähe mõjutatud puu liigist (James 1975).

Rakuliikide jaotus tammes on ligikaudu järgmine:

trahheed laiusega 0,02 – 0,04 mm ja pikkusega mõned millimeetrid 8%;

puidukiud laiusega 0,01 – 0,03 mm ja pikkusega 0,5 – 1,7 mm 58 %;

parenhüümrakud laiusega 0,002 – 0,050 mm ja pikkusega 0,01 – 0,16 mm 34 %

Puidu kuivamisel rakud kahanevad. Puidu poorid töötavad sageli filtrina mitmesugustele lahustatud ainetele. Võib eeldada, et suurte trahheede tõttu näitab tamm küllaltki ilmekalt oma reaktsiooni kliimakõikumistele. Puidu niiskuse vähenemise 1% võrra kahaneb tammepuidu maht 0,45%, mis on lähedane mitmete puuliikide, sealhulgas pärna samalaadsetele näitajatele (Puusaag 1991). Tanniini (tammepuidus leiduv polüfenool) fenoolrühmad on aldis mitmesuguste metalliioonidega, sealhulgas  $Fe^{2+}$  ga komplekse moodustama (Iglesias et al. 2001). Veest seistes muutub tamm

tumedaks ja eriti vastupidavaks mainitud ühendite moodustumise tõttu.

Tamme pH on (sarnaselt paljudele puuliikidele) 3,8 – 4,2. Absoluutselt kuiva tamme dielektriline läbitavus ristikiudu on 2,4 ja tangentsiaalselt 2,9 (Saarman ja Veibri 2006).

Kuiva puitu niiskusesisaldusega kuni 5% iseloomustab väga madal elektrijuhtivus, lähedane elektriisolatsioonimaterjalidele. Niiskuse suurenedes elektrijuhtivus kasvab. Õhukuiv puit on pooljuht (Võrumaa Kutsehariduskesuse õppematerjalid, 2009).

Tamme, nagu mitmete teiste kõvade lehtpuude, kuid ka pärna struktuuris võivad esineda külmalõhed (Puusaag 1991), mis tekivad puu tüvel talvel madalate temperatuuride mõjul, hiljem aga pealt kinni kasvavad. Selline õhuga täidetud kinnikasvanud külmalõhe võib soodustada maalitahvli pragunemist kliimakõikumiste mõjul ning jääda tahvli valmistamisel märkamatuks.

## ***2.2 Tahvlite esikülgedel kasutatud materjalid***

**Loomne liim.** Koostises ca 37 % glütsiini, 15-16 % proliini, 13-14 % hüdroksüproliini, 11 % glutaamhapet, 11 %alaniini, 9% arginiini ja väiksemates kogustes valiini, leutsiini, isoleutsiini, seriini, treoniini, aspargiinhapet, lüsiini, väävlit, fenüülalaniini, türosiini ja histidiini (Unger 2001). Loomsel liimil baseerub enamik traditsioonilisi maalikrunte ja seda kasutatakse restaureerimises puidu väikeste piirkondade lokaalseks tugevdamiseks, liimimiseks, maali- ja krundikihi kinnitamiseks ning krundi koostises. Loomse liimi kokkutõmbumispinge on suur (Werner 1979). Hügroskoopsuse tõttu võib materjal saada ebasoodsates, niisketes tingimustes toitainerohkeks keskkonnaks hallitusseentele nagu juhtus 1980-ndatel aastatel kleebistega kaetud Toomkiriku vapp-epitaafiledega (Mäeväli ja Tromp 2008), samuti nõrgenevad niiskuse mõjul adhesiivsed omadused. Sageli eelistavad puidukahjurid liimiga immutatud puitu toitvate proteiinide sisalduse tõttu ja ründavad neid vööndeid tahvlis esimesena (Unger 2001), seega on avanenud liimühendused eriti ohustatud.

Vaatamata sellele ei ole võimalik loomset liimi välja vahetada just maalingualuste ettevalmistavate kihtide (riie, krunt) sideainena klassikalises temperamaali tehnoloogias. Ka Peipsi-äärsete palvelate ikoonid on ohustatud hallitusest, kuid kuna sealsete ikoonide maali- ja krundikihid on klassikaliselt loomsel liimil põhinevad, otsustati Varnja ikoonide maalikihti siiski kinnitada loomse liimiga, et tagada lisatava materjali originaalmaterjalidele sarnased füüsiko-keemilised omadused nagu soovitab ka Pertsev

(2001). Naturaalsete liimide kasuks on sarnastes olukordades otsustatud ka nende hõlpsama pöörduvuse tõttu (Bisacca 1995). Ebasoovitavate mõjude eest pidid ikoone kaitsma tingimustele vastavalt valitud kattekihid kõigil mälestise pindadel.

**Krunt.** Ajalooliselt on krundi sideaineks olnud loomne liim (tavaliselt naha- või pärgamendiliim), täiteaineks lõunamaades (Itaalia, Hispaania, Balkanimaad) kips, kuid mitte kaltsiumsulfaadi poolhüdraat, vaid kas looduslik kips (2-hüdraat) või sellest kuumutamise teel valmistatud veevaba kaltsiumsulfaat. Kesk-Euroopas, Skandinaavias ja Inglismaal kasutati täiteainena kriiti ning Prantsusmaal, Bütsantsis ja Venemaal mõlemaid (Grenberg 1987). Üldistatult võib öelda, et põhja pool Alpe kasutati tavaliselt krundi koostises kriiti ja lõuna pool kipsi (Plather 2006). Praktiline erinevus neil kahel täiteainel niiskuse läbilaskvuse osas puudub (Allegretti ja Raffaelli 2008).

**Maalikiht.** Täiteaineks naturaalne sienna (Leningradi värvitehase pigment), suurtahlite numbrid maalitud sama tootja ookriga, sideaineks emulsioon (kelmeta munakollane, 15 tl destilleeritud vett, 1 tl 30% äädikat).

Naturaalne sienna ja ooker on levinumaid pigmente traditsioonilises ikoonimaalis.

### **Šellak.**

Šellakit on ikoonimaalis (nt. Palehi koolkonnas – andmed ikoonimaali õppejõult Nikolai Merkurjevilt 2003) kasutatud esimese lakina maalingu kaitseks ettenägelikult juhuks, kui välistingimustega enam kokkupuutuv pealmine kattelakk vananeb ja vajab vahetamist. Pealmise kattelakina kasutatakse mõnda teist tüüpi lakki ning erinevate lakkide erineva lahustuvuse tõttu saab sel juhul pealmist lakikihti eemaldada maalingut avamata. Ka meie katses on šellak esimene lakk, millega kaetakse maaling. Šellakist põhjalikumalt vt. järgmises sektsioonis 2.3 Tahvlite tagakülgedel kasutatud materjalid.

**Konserveerimislakk.** Pealmiseks kattelakiks akrüül/ketoonvaigul põhinev Conserv-Art Varnish fimalt Winsor&Newton, spekter langeb 85% ulatuses kokku polüisobutüülmetakrülaatidega.

## ***2.3 Tahvlite tagakülgedel kasutatud materjalid***

### ***2.3.1 Üldist***

Katsetahvlite tagaküljele ja külgservadele on kantud erinevaid polümeere.

Polümeersed kattedehid võivad muuta värvi, muutuda rabedaks, nõrgaks, lahustumatuks, praguneda, kooruda, kokku tõmbuda, olla märdumisaltid ja reageerida objektiga pikema või lühema aja järel. Tavaliselt teevad suurimat kahju oksüdeerumisreaktsioonid. Naturaalsete vaikude puhul kasvab hapniku absorbeerimisel pinnakatte polaarsus ja kaal. Kaksiksidemed, mis soodustavad oksüdeerumist, on paljude tööstuslike polümeeride probleemiks (Horie 1987). Juba oksüdeerumise algjärgus võib ilmuda kolletumine, põiksidestumine, ahelate lagunemine ja polaarsuse kasv.

Maalinguta külgede pinnakatetena osalesid eksperimentis neli alküüdi (neist kaks uretaanalküüdi), kaks metakrülaati, šellak, taruvaik, vaha ja kolm erinevat õli.

Akrüülvaikude ajalugu algab 1931. aastaga (Peets 2005). Ka alküüdvaigud on tuntud alates 1930-ndatest ja viimasel paarikümnel aastal ei ole nende valdkonnas suuri uuendusi toimunud. Samas on akrüülvaigud jätkuvalt kiires muutumises ja arenemises. Mõlematel annab suur molekulmass kelmele vastupidavuse, kuid nad saavutavad selle erineval viisil. Akrüülvaikude pikad molekulid jõuavad lõpliku molekulmassini valmistamisel, alküüdvaigud valmistatakse aga keskmise molekulmassiga ning vajalikule tasemele viivad selle lisatud poolküllastumata õlid; kelme moodustumisel toimub ka põiksidestumine. Võiks küll eeldada alküüdvaikude väiksemat vastupidavust, sest nende kelme on põiksidestumise tõttu rabedam ja kelmesse võib jääda reaktsioonivõimelisi jääkrühmi, mis hiljem probleeme põhjustavad. Siiski on olulisi faktoreid, mis mõjuvad vastupidiselt. Et alküüdvaik alustab kelme moodustamist madalamast molekulmassist, on võrdse pealekandmise korral alküüdi kelme ca 37% akrüülvaigu kelmest tihedam. Poorsete ja ebaühtlaste pindade puhul – nagu puit – on alküüdide eeliseks parem imuvus, seega parem katvus ja nakkumine. (firma Resene kodulehekülj 1983). Akrüülvaikude niiskuskindlus on halvem (Heras Alarcon et al. 2007). Kuigi kivist aluspind on mõõtnetelt tunduvalt stabiilsem kui puit, on akrülaadid osutunud kõlbmatuks skulptuuride restaureeritud fragmentide kattedehina – nakkumine

on ebapiisav ja kahjustuste teke ilmastiku mõjul sage. Kõik polümeerid oksüdeeruvad ja see on jälgitav ka väga stabiilse Paraloid B72 puhul.

Polüuretaani ehk polüisotsüanaadi arendas esmalt välja Bayer 1937.a. (Quye ja Williamson 1999). Kasutusse tulid polüuretaanid 1940-ndatel aastatel lennunduses puitdetailide sideainena. Ungeri andmetel (2001) on nad väga tugevad, üpris niiskus- ja temperatuurikindlad, kuid põiksidestuvad pöördumatult ning on hiljem raskesti eemaldatavad. Esmane kahjustusmehhanism on oksüdatsioon, kuid polüestril põhinevat polüuretaani (polüuretaani aluseks võib olla teatavasti kas polüester või polüeeter) ohustab ka polümeeri põhisedemete katkemine ja teiseste vesiniksidemete moodustumine niiskuse mõjul (Quye ja Williamson 1999). Fotolüütilise ja soojusliku oksüdatsiooni vältimiseks lisatakse tavaliselt stabilisaatoreid. Sageli lisatakse alküüdvaike (uretaanalküüdid) vastupidavuse ja nakke parandamiseks, mis võib kaasa tuua ebastabiilsust. Polüisotsüanaatidega on restaureerimises tugevdatud puitu, savi, klaasi ning polüuretaanil põhinevaid laiatarbetooteid on kohandatud naha liimimiseks ja kinnitamiseks (Horie 1987). Üldiselt uretaanlakid ajaloolistele objektidele pöördumatusse tõttu siiski ei sobi. Uretaanvahtude sisse võivad asuda hallitusseente kolooniad, kuigi nad uretaanvahtu ei kahjusta.

Kliimamõjutustele avatud puitobjektide välispindade katmisel on polüuretaanlakid kasutusel (Unger 2001). Tavaliselt kasutatakse pinnakateteks heksametüleen-diisotsüanaati (Horie 1987). Uretaan võib toimida ülimalt efektiivse niiskusbarjäärina seetõttu, et tema kelmet saab peale kanda 5-10 korda tihedamalt kui muid pinnakatteid (Schniewind ja Arganbright 1984). Breweri katsetes erinevate puiduliikidega näitas polüuretaan end väga hea niiskusbarjäärina just tammepuidul, millest oli võimalik üldistada, et ta sobib paremini tihedamatele puiduliikidele (1991). Siiski tuleb arvestada, et Brewer tegi katseid vaid ühe tööstusliku uretaanlakiga, mis tõenäoliselt ei olnud õliga modifitseeritud. Uretaanalküüde on väga mitmekesise toime ning koostisega ning käesolevas töös olid kasutusel just õliga modifitseeritud polüuretaanid.

Tavalisemate puidu pinnakatete klasside puhul on arvatud järgmised veeauru läbilaskvuse väärtused (g.cm)/(cm<sup>2</sup>/s/Pa):

Alküüdidel  $6,9 \times 10^{-14}$ , uretaanidel  $18,2 \times 10^{-14}$  ja akrülaatidel  $24 \times 10^{-14}$  (Nilssoni ja Hanseni andmete alusel 1981 – Schniewindi järgi 1984).

### 2.3.2 Pinnakatetest eraldi



**Pinotex Ultra.** Koostises: alküüdvaik ca 40%, lakibensiin 45 – 55%, bentoniitpulber 2 – 10%, SiO<sub>2</sub> 1%, tolüülfluaniid < 1% ja muud lisandid < 1%. Tootja ES Sadolin. Puit krunditi vastavalt juhisele värvitu kaitsekrundiga Pinotex Base, mille sideaineks on alküüdvaik ja

lahustiks lakibensiin, kuivainet 5% ja mis sisaldab fungitsiide.

Tartu Ülikooli Katsekoja ekspertarvamuse kohaselt on materjal sobilik rasketes tingimustes asuvatele restaureeritud puitobjektidele (Ilomets ja Timotheus 2007).



**Paraloid B72** ehk Akrüloid B72 on polüetüülmetakrülaat - restaureerimises kasutusel alates 1950. aastast (Robson, 1993 – Ungeri järgi 2001) 1970.a. on sellega kinnitatud mitmeid ikonostaase Bulgaaria kirikutes (Unger 2001). Paraloid B72 vajab lahustumiseks suuremat hulka aromaatsset lahustit (Mills ja White 2006). 1988.a.

leiti, et polaarne atsetoon on efektiivsem lahusti kui mittepolaarne toluen (Schniewind - Ungeri järgi 2001). Normaalsetel tingimustel ei muutu paraloid lahustumatuks (Feller, 1978 – Horie järgi, 1987). Isegi paraloidiga töödeldud terve puit on rünnatav puidukahjurite vastsete poolt ja temaga tugevdatud putukkahjustustega puitobjektidel ei ole erilist vastupanuvõimet uutele putukkahjustustele. On ka kindlaks tehtud, et 5, 10 ja 20% Paraloid B72 lahusega konsolideeritud pärnapuidul ei ole vastupanuvõimet hallitusele (Unger 2001). Õigupoolest on erinevad uurimused (nt. Abdel-Kareem 2000) näidanud, et ükski restaureerimises kasutatavatest konsolidantidest, sealhulgas metakrülaadid, ei anna materjalidele hallituskaitset. Paraloid B72 suutlikkus pidurdada kaitstava objekti niiskusevahetust on ligi kaks korda madalam kui parafiinil ning sarnaneb PVA vastavale näitajale (Richard 1978 – Schniewindi järgi 1984). Konsolidandi mõju puidu hügrokoopsusele sõltub otseselt sellest, kas tema molekulid

on suutnud siseneda puidu rakku või jäävad sellest väljapoole. Molekulmass 3000 on maksimaalne, mis seda suudab, seepärast on ootuspärane, et Paraloid B72-ga immutatud puidu puhul ei täheldatud mingit mõju puidu hügroskoopsusele nagu näitasid Schniewindi 1990. a. avaldatud praktiliste katsete tulemused (Schniewind 1998). Hiljem on oletatud, et lisaks sellele kaldub Paraloid moodustama mitte seotud kelmet, vaid üksteisest lahusolevaid kogumeid, jättes osa piirkondi niiskusele avatuks (Schniewind ja Eastman 1994 - Schniewindi järgi 1998).

Unger kirjeldab Paraloidi küllaltki põhjalikult kinnitava ja tugevdava ainena, mitte aga pinnakattena. Horie (1987) mainib, et vaatamata mõningasele põiksidestumisele kasutatakse Paraloid B72 ka maalilakina. Miinuseks on elektrostaatilisus ning seega tolmu kogumine pinnale.

Antud katse jaoks valmistati ca 15 %-line Paraloidi lahus atsetoonis, jälgides, et pealekantav lahus sarnaneks konsistentsilt teiste kasutatud lahustipõhiste pinnakatetega.



**Plexisol P 550** on n-polübutüülmetakrülaat. Kasutamise algusaegadel tarvitatud variandid olid pikema aja jooksul küllaltki põiksidestuvad. Materjali kasutades on välja töötatud madala temperatuuri või survega, mahedat dubleerimismetoodikat lõuendite jaoks (Bria 1986). Polübutüülmetakrülaate on kasutatud ka segus parafiiniga (lahustiks benseen või lakibensiin) temperatehnikas seinamaalide kattedehina (Pertsev 2001). Üldiselt on Plexisol

P 550 kasutusel puidu kinnitamiseks, fossiilide kinnitamiseks, adhesiivina jne. Talle eelistatakse sageli stabiilsemaid Paraloid B72 või polüvinüülatsetaati (Horie 1987).

Kuna BMA keemistemperatuur on kõrgem kui MMA-l, siis on tema aurumiskaod polümeriseerumisel väiksemad võrreldes MMA-ga (Unger 2001).

Polübutüülmetakrülaat kogub enam tolmu kui polüetüülmetakrülaat, kuid on metakrülaatidest elastsem (Synthetic Materials Used in Conservation, 1979).

Antud katse jaoks valmistati ca 15 %-line Plexisoli lahus atsetoonis.



**Unica Super** on firma Tikkurila OY toodetav polüuretaanlakk, mille IP-spekter langeb üldiselt hästi kokku uretaanvaigu ja linaõlirohke

uretaanalküüdi spektritega. Tootja keeldub lähemaid andmeid koostise kohta avaldamast. Unica Super sisaldab etüülmetüülketoksiimi ja koobaloktanoaati. See külmakindel lakk on ette nähtud paatide, pörandate, uste ja aknaraamide kaitseks. Pindu soovitatakse hoolduslakkida 2–4 aasta järel. Lahustiks on lakibensiin. Kuivanud lakk ei talu nitrolahustit.



### **Poolmatt kriimustuskindel poliüuretaanlakk firmalt Nelf.**

Lakk on mõeldud nii sise- kui välistöödeks; tema IR-spekter langeb üle 80 % kokku uretaanvaigu, kookosõlialküüdi ja õliga modifitseeritud poliüuretaani spektritega. Kelme paksus tootja andmetel 30  $\mu\text{m}$ . Lahustiks lakibensiin.



**Kolorex Akva** on poliakrülaadiga modifitseeritud alküüdvaik, mille IR-spekter langeb üle 80 % kokku vees dispergeeritud alküüdvaigu ja ka õli sisaldava alküüdvaigu spektritega. Lakk on vesialuseline ning saavutab lõpliku kulumiskindluse umbes 1 kuu jooksul normaaltingimustes. Seentevastase toimega. Sisaldab: 5-kloor-2-metüül-2H-isotiasool-3-ooni ja 2-metüül-2H-isotiasool-3-ooni segu (3:1), 2-oktüül-4-isotiasool-3-ooni, 3-jood-2-

propüüülbutüülkarbamaati (0,1%). Lakk on ette nähtud aknaraamide välispindade, verandade, lipuvarraste, aiamaööbli jm. kaitsmiseks. Tootja andmetel ei moodusta ühtlast kelmet. Proov klaasil kuivas siiski kelmeks, millest oli võimalik elastseid tükke lõigata.



**Šellak** on teatud eksootilistel taimedel elavate lakitäide korbataoline eritis: 75% vaigulisi aineid, 5% vaha, 6% värvainet, lisaks vett, tselluloosi jms. Šellaki vaiguline iseloom arvatakse tulenevat vesiniksidemetest molekulide vahel. Šellaki koostises on hüdroksühapped, mille polaarsed rühmad paiknevad molekuli pinnal ja võimaldavad tugevasti nakkuda siledade materjalidega (Sharma et al. 1983). Rafineeritud vormis on ta polüestervaik, mille põhikomponendid on lineaarne aleuritiinhape (9, 10, 16 tri-

hüdrosüpalmitiinhape), mida on ca 29% (Xia et al. 2006) ja jalariinhape (mis keemiliselt olemuselt on kolmetsükliline seskviterpeen). Šellaki keskmine molekulmass on 1006 (Sharma et al. 1983), mõnedel andmetel aga ca 2100 (Mills ja White 2006). Šellak sisaldab ligi 67.9% süsinikku, 9.1% vesinikku ja 23.0% hapnikku, empiiriline valem on  $C_4H_6O$ , arvestades molekulmassi suurusega 1000 -  $C_{60}H_{90}O_{15}$ (Zimmer). Väidetavalt jõudis šellak Euroopasse juba 17. sajandil (Schramm ja Hering 1995). Euroopas laialdaselt kasutusel alates 19. sajandist mööblilakina, olles üks tuntumaid piirituslakke (nt. tuntud “prantsuse polituur” koosneb šellakist ja mesilasvahast). Põiksidestub mõningal määral. Šellaki kelme on poorne ja absorbeerib niiskust (Townend ja Clayton 1936). Veeaurule on šellak läbitavam kui PVA, polüetüleen või polüester (Hagenmaier ja Shaw 1991). Šellak on ka rabadavõitu (Xia et al. 2006); tema positiivne omadus, mis pärast teda siiski on nii meeleldi immutamiseks kasutatud, on vähene kokkutõmbumine kuivamisel. Seejuures on loodetud sügavama immutuse efektidele, mida ei ole ilmnenu, selle asemel on täheldatud objekti tumenemist ning kaalu liigset suurenemist. 1994. a. kirjeldas Zillich kaardunud tahvelmaalide sirutamise meetodit, mis seisnes puidu pooride piirituses lahustatud šellakiga täisimmutamises. On dokumenteeritud juhtumeid, kus šellakiga impregneeritud tahvlisse on elama asunud puidukahjurid (Unger 2001).

Šellaki hallituskindlus on tunduvalt väiksem kui akrülaatidel (Lehmann, 1984 – Ungeri järgi 2001). Oma osa on selles ilmselt elektriisolatsiooniomadustel, mis paneb šellaki koguma staatilisi laenguid, selle tulemusel aga korjab objekt tolmu, millega koos võivad esineda hallitusseente eosed. Lisaks sellele kandub elektrostaatiliste laengute kaasabil objektile lisakogus vabu radikaale, mis kiirendavad materjali vananemist (Ioanid et al. 2005). Tema ionisatsioonikonstant on  $1,8 \times 10^{-5}$  (Zimmer).

Katse jaoks lahustati firma Noris kuldoranži šellaki helbeid 96% etanoolis suhtes 1 : 5.



**Taruvaik.** Vaikainet 50-55%, vaha kuni 30 %, eeterlikke õlisid v. palsameid 10 %, lisaks orgaanilisi happeid, antibiootikume, vitamiine, mikroelemente (Al, V, Fe, Ca, Si, Mn ja Sr), looduslikke ensüüme (Drapak et al. 2004). Erinevaid komponente võib ühes näidises olla üle saja. Iseloomulikud on flavonoidid, fenoolhapped ja nende estrid, alifaatsed ning aromaatsed happed ja nende estrid,

terpenoidid (A.Savickas et al. 2005). Vaiguline komponent koosneb flavonoididest ja vastavatest fenoolhapetest (Cao et al. 2004). Tavaliselt toodetakse ühes tarus hooaja jooksul 50-150 g taruvaiku. Meie piirkonnas korjavad mesilased taruvaigu baasaineid papli, kase, haava, paju, kastani, lepa saare jt. puude pungadelt, võrsetelt, lehtedelt ning mõnedelt rohttaimedelt; töötlevad lõuanäärmete nõrega ja lisavad ca poole võrra vaha. Ümbertöötamise tulemusel tekib lähtematerjalidest teatud omadustega kompleks. Ükski taruvaigu komponent ei ole eraldi võetuna antibiootikumidest tugevama toimega, kuid koos moodustavad nad olulise mõjuga segu, mille suhtes ei saa mikroorganismidel kujuneda resistentsust. Vaik kogutakse just noorte võrsete kasvamise aegu ning tal on bakteritsiidne toime seoses vajadusega kaitsta võrseid välismõjude eest. Taruvaigu kvaliteeti tõstab taimsete vaikainete ülekaal võrreldes vaha ja õietolmuga. Tugevaim toime on ereoranžil, nõrgim hallil taruvaigul. Mesilased kasutavad taruvaiku pragude kittimiseks, mitmesuguste taru osade liitmiseks, seinte lakkimiseks, looduslike kärgede tugevdamiseks ja nende siseseinte poleerimiseks, vajadusel surmatud sissetungijate mumifitseerimiseks. Kui on vaja tihendada suuri (üle 3,5 mm) pragusid, lisavad mesilased taruvaigule tavalisest rohkem vaha. Andmed eelmisest viitest siiani pärinevad väljaandest „Taruvaik“ (2002). Teaduslikult on uurinud taruvaigu antibakteriaalset toimet tahvelmaalidele Hayashi (2009), võrreldes selle 20%-lise lahuse mõju kahe erineva biotsiidiga, kantuna mitmesugustele puittahvlitele. Hallituskaitset ta ei andnud ning kaitse puidukahjurite vastu oli mõõdukas. Üldise hallituvastase toime on leidnud Pepeljnjak et al. 1982, Dobrowolski et al. 1991, Digrak et al. 1995, Otta et al. 2001, Sawaya et al. 2002 (Garedew 2003). Erinevad uurimused annavad erineva päritoluga taruvaigunäidiste antibakteriaalse toime kohta üsna erinevaid tulemusi, näiteks Kim (2001) on oma katsetes täheldanud tugevat toimet. Ka vähese fenoolsete ühendite sisaldusega taruvaigu antibakteriaalne toime võib jääda võrreldavaks kõrge sisaldusega näidistega ning sarnase fenoolsete ühendite koguhulga korral võivad ilmned erinevused toimes sõltuvalt bakterite liigist (Savickas et al. 2005). Kokkulangevaid tulemusi saadakse ses osas, et taruvaik mõjub gram-positiivsetele bakteritele ning mõju gram-negatiivsetele bakteritele, kui üldse, võib ilmned alles suurte kontsentratsioonidel (Yaghoubi et al. 2007). Antioksidatiivsed omadused sõltuvad suuresti teatud rühmade paigutusest flavonoidide struktuuris (Kumazawa et al. 2007). Taruvaik on veest raskem ja lahustub selles, olenevalt temperatuurist ja ajast 6-11% ulatuses, piirituses 40-75% ulatuses. Vesilahuste toime on nõrgem (Garedew 2003).

Kasulikuks omaduseks on taruvaigu antistaatilisus. 96%-lises etüülalkoholis lahustatud taruvaigust kuivamisel moodustunud kelme on looduslik pooljuht, mille üheks eeliseks sünteesitud pooljuhtide ees on väiksem takistus (Drapak 2004).

Taruvaik ei kuulu otseselt kattedkihtide ega restaureerimises kasutatavate materjalide hulka. Arvatavasti kasutasid Itaalia renessanssmeistrid taruvaiku kuldamisel (Higgitt 2008). Legendi kohaselt peetakse taruvaiku klassikalise itaalia viiulilaki komponendiks ning mõned viulimeistrid püüavad teda kasutada tänapäevalgi (Fulton 1997). Kindlasti on intrigeeriv teada, et pealmise õlilakikihi all asub klassikalisel viisil valmistatud 17. - 18. sajandi keelpillide kõlakastidel kiht mikrofotodel nähtava teralise struktuuriga ainet (Echard ja Lavédrine 2008), millel arvatakse olevat otsustav mõju puidu stabiilsusele. Hea kõla eest peetakse vastutavaks pigem puidu keemilist töötlust kui instrumendi ehitust ning seda seostatakse tol ajal kasutatud kahjuritevastaste puidukaitsevahenditega, mille koostist ka viulimeistrid ei pruukinud teada (Mukhopadhyay 2007). Hayashi (2009) tegi kindlaks, et taruvaik ei imbu puitu sisse, vaid jääb puidu pinnale ja seondub eriti tugevasti keemiliselt puidu pinnaga. Taruvaik osteti Ivo Kitsemetsalt. Katse jaoks lahustati taruvaik 96%-lises etanoolis, mistõttu antud lahuses võib väheses koguses esineda ka vaha. Lahusti ja kuivaine vahekord valmistamisel oli ligikaudu 1 : 5. Tekkis ohtralt setet.



**Vaha** empiiriline valem on  $C_{15}H_{51}COOC_{30}H_{61}$ . Vaha koostisse kuuluvad palmitaat, palmitoleaat, hüdroksüpalmitaat, ja alifaatsete pikaahelaliste alkoholide estrid. Vaha võib olla lahustuv ka tuhandete aastate pärast (nagu Egiptuse haudadest pärinevate leidude puhul) (Horie 1987). Vahad on täielikult küllastunud ja seetõttu keemiliselt märkimisväärselt stabiilsed (Rivers ja Umney 2003).

Vahad on väga laialdaselt kasutusel matistava aina lakkide koostises; segus vaikudega ning tärpentiniga ka väikeste putukkahjustatud puitpindade kinnitamiseks (Unger 2001). Vaha mainitakse pinnakattena vettinud ja seejärel kuivatatud arheoloogilise puidu jaoks (May ja Jones 2006). Vahatamine on vene restaureerimistraditsioonis üsna levinud, kaitsmaks ikoone maalinguta pindadelt. Vaha hea niiskuskindlus pinnakattena on korduvalt tõestust leidnud (Buck 1961, Brewer 1991). On aga märgatud, et vaha-

parafiini seguga immutatud kahjustatud puit kaldub märgatavalt niiskust juurde võtma ning paisub. (Cuany 1989 – Unger järgi 2001). Aja jooksul võib vaha muutuda rabedaks ja lõheneda. Vaha täielik eemaldamine puitpinnalt on raskendatud, mistõttu mõjutab tema hüdrofoobsus oluliselt järgnevaid töölusi, lisaks sellele kogub vaha tolmu ning mustust, mis niiskuses võib soodustada hallituse teket. Mesilasvaha hallituskindlus on tunduvalt väiksem kui akrülaatidel (Lehmann 1984 – Unger järgi 2001).

Katses kasutatud mesilasvaha spekter sarnaneb riisikestade vahaga. Eesti mesinikult saadud kärp, mis oli ehitatud vahast valmistatud kunstkärjele, sulatati ja emulgeeriti pineenis. Peale kanti soojendatult. Selliselt ettevalmistatud vaha on käitunud ootuspäraselt ja analoogiline vaha oleks kergesti kättesaadav. Selle tõttu eeldati, et selle vaha koostises ei olnud mingeid erilisi, toimet moonutavaid aineid ning koostist ei ole lähemalt uuritud, seda enam, et enamuse teiste pinnakatete täpsem koostis jääb tootjate tahtel samuti saladuseks.



**Mooniõli** on rasvhapete triglütseriidide segu rasvhappelise koostisega küllastunud rasvhappeid 10 %, oleiinhapet 25 %, linoolhapet 65 %. Mooniõli tihedus on 0,92-0,93 g/cm<sup>3</sup>. Kuivab pikemat aega kui linaõli ning annab ka vähem vastupidava kelme (Jabrova 1976). Kolletub vähem, mistõttu on heledate pigmentide sideainena kasutusel alates 17. sajandist. Mooniõlil esineb süneresi - kõvastunud sideaine taaspehmenemist (Schramm ja Hering 1995). Antud mooniõli on mõeldud sisetingimustesse tarbeesemete õlitamiseks, tootja on Faxe AS

(Taani).



**Tiikõli.** Tootja HERDINS täiendavat infot ei anna, nii et tiikpuuõli sisaldus tootes ja lisandite vahekord pole teada. Tootja soovib õuemööbli, välisuste, paatide välimise puitpinna, impregneeritud puidu jms töötlemiseks. Lahusti koostises on petrooleeter.

Tiikpuu ise on väga kasulike omadustega. Puit on keskmise raskusega, niiskuse muutudes on deformatsioonid väikesed, talub hästi kuumust ja temperatuurikõikumisi, on tule- ja

happekindel, samuti vastupidav putukatele ja seentele. Kulumiskindlusest, mida põhjustab ränisisaldus (Pott 2005), ületab tiikpuu kõik euroopa puiduliigid.

Tiikpuu õli on teatud võrtsilõhnaga ja konserveeriva toimega. Kokkupuutel metallosadega kaitseb ta puitu metalli sööbiva toime eest.

Väga võimalik, et ei eristata piisavalt, millised tiikpuu kasulikud omadused on tema õliga vahendatavad ja millised mitte. Valvsust võiks tekitada see, et erinevate tiikpuuõli tootjate põhjalikumates juhistes soovitatakse töödeldavat objekti õlitada iga 3 kuu järel. Kolm kuud on lühike aeg.



**Linaõli** on glütserooli rasvhapete estrite (enamasti küllastumata rasvhapete) keeruline segu rasvhappelise koostisega ligikaudu 52 % linoleenhapet, 22 % olehapet, 17 % linoolhapet, 5 % palmithapet ja 4 % stearhapet (Unger 2001).

Linaõli tunti tõenäoliselt 3000 a e.m.a. Taanis, antiikajal oli ta mõnede andmete järgi juba maalimiseks sideainena kasutusel (Schramm ja Hering 1995). 19. saj. kasutati linaõli mitmete lakkide koostises, põhjalikumalt linaõli kohta vt. Lisa 2.

Unger (2001) mainib, et Serbia ikoonitahvleid keedeti enne kasutamist linaõlis. Unger annab haarava, kokkusurutud ülevaate

linaõli kasutamisest restaureerimises, milles kajastub mitmetes kirikutes paljude restauraatorite poolt tehtu, mitmete puitobjektide immutamised ja erinevate linaõli baasil lakkidega katmised eesmärgiga kaitsta rasketes tingimustes asuvaid tahvelmaale kahjustuste eest ning ülevaade lõpeb tõdemusega, et linaõliga immutamine ei kaitse kord kahjustatud puitu uute putukkahjustuste eest ning et immutusvahendina tal tänapäeval restaureerimisesalane tähtsus puudub, küll on ta aga jäänud kasutusse pinnakatete koostises.

Unger on käsitlenud ka linaõliga immutamises tekkinud kahjustusi. Kui suurte putukkahjustustega puitset immutada rohke linaõliga, hakkab viimane aeglaselt oksüdeerudes ja kaalu kasvatades kõvenema. See protsess võib kesta aastaid, suunaga eseme välispinnalt seesmiste piirkondade poole ning kuivanud väliskihid võivad ühel hetkel rebeneda, lekitades vedelat linaõli. Samuti on oht, et eseme sisemuses läheb linaõli enne tahkumist rääsuma. Linaõliga immutatud esemed tumenevad tugevasti ning koguvad pinnale tolmu (Unger 2001).

Antud katses kasutatud linalõli pärines firmalt Sibirskaja Masljanaja Kompanija.



**Tulekaitse ja biotsiid Holz-Prof.** Toimeaineks on 30%  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  vesilahuses, vahend sisaldab veel 0,5% Brill 721-0,1 ja 1% sidrunhapet. Vahend on läbinud testid ja on määratud tuletundlikkuse klass B-s 1-d0 (EN 13823:2002, ISO 11925-2 ja ISO 5660). Vahendil on ka antibakteriaalne toime.

Holz Prof seondub tugevasti puiduga ning muutub eemaldamatuks kuni nädala möödudes. Suurendab puidu

tugevusnäitajaid, ei takista edaspidist puidu liimimist või värvimist, säilitab puidu tekstuuri ja niiskusevahetuse keskkonnaga. Vahendi pH on 1,5.

Paljud lahustuvad süttimisvastased ained on happelised (Little et al. 2002).

Üldiselt on mitmed puuliigid orgaanilistele ja mineraalhapetele küllalt vastupidavad, aluselised lahused on puidule lagundavamad kui happelised ja oksüdeerivad happed kahjustavad puitu enam kui mitteoksüdeerivad. Kõvemad puuliigid on hapetele ja alustele vähem vastupidavad kui pehmed, mille koostises on rohkem ligniini (Unger 2001). Katseliselt on leitud, et kiudude lagunemine algab siis, kui pH väärtus langeb alla 2. Liigiti ei ole erinevused tugevuse vähenemises erinevate puuliikide mitmesuguste hapetega mõjutamisel väga suured, ühena mõnedele hapetele vähem vastupidavatest puuliikidest võib välja tuua pärna (Saarman ja Veibri 2006).

Fosfaadid on tulekaitsena laialdaselt kasutusel. Ka Nikitin (1990) mainib, et puiduimmutuseks mõeldud tulekaitse on enamasti fosfaadi või ammoniumsulfaadi, ka booriühendite baasil, näiteks kasutatakse naatrium- ja ammooniumvesinikfosfaate.

**Vesi.** Et tema roll on katses oluline, olgu vee kohta meenutatud, et vesi esineb puidu struktuuris nii rakuõõnsustes kui rakuseintes; kuivamisel kaotab puit esmalt rakuõõnsuste vett. Väga oluline muutus puidu omadustes ilmneb siis, kui väheneb ka rakuseintesse seotud vee hulk. Vee molekuli diameeter on 0,3 nm ning puidurakkudesse imbudes astub ta interaktsiooni tselluloosi ja hemitselluloosi hüdroksüülrühmadega (Unger 2001). Vesi on puidus seotud erineval viisil. Esiteks on olemas vaba vesi, millega meie tahvlite juures tegemist ei ole, sest see on kuivatamisel lahkunud ja tahvlite niiskusesisaldus katses on siiski alla küllastuspunkti. Teiseks on olemas teiste

vee molekulidega elektrostaatiliselt seotud vesi, eelmisest raskemini auruv, järgmiseks vesiniksidemetega seotud vesi, mille sidemete lõhkumiseks on vajalik lisaenergia, ning kõige raskemini eemaldatav keemiliselt seotud vesi. (Florian 2002).

Puitu tunginud vesi lahustab puidu struktuurist ioone, mistõttu puidu elektrijuhtivus muutub. Sellel nähtusel põhinevad puidu niiskusesisalduse elektrilised mõõtmisviisid.

### 3 EKSPERIMENTAALNE OSA

#### 3.1 Tahvlid

Katsetahvlite valmistamiseks kasutati niiskusesisalduselt (ca 8 %) mööblipuidu nõuetele vastavat ameerika punast tamme (*Quercus rubra*), mis osteti 2006.a. märtsis koos Varnja palvela asendusikoonide jaoks mõeldud puiduga; vahepealsetel aastatel oli puit ladustatud talvel köetavates tööruumides, seega oli katses kasutatud puit saanud veel 2 aastat stabiliseeruda. Kõigi uuritavate pinnakatetega on katseks valmistatud mitu tahvlit, et vähendada juhuslike struktuuridefektide (nt. külmalõhed) mõjusid katsetulemustele. Tahvlid lõigati tangentsiaalselt. Tangentsiaalse ja radiaalse lõikesuuna erinevustest vt. Lisa 1.3. Katsetahvlid kaeti tahvelmaali esikülge imiteerivate kihtidega lülipuidu poolselt küljelt nagu seda tehakse traditsiooniliselt ka ikoonide puhul.

Ühest pikast lauast valmistati 30 katsetahvlit mõõtmetega 10cm X 15cm X 1cm (kõrgus X laius X paksus), edaspidi ST ehk suurtahvlid.

27 neist kaeti esiküljelt traditsiooniliste tahvelmaali kihtidega, pidades vajalikke vahemikke kuivamiseks: esmalt immutati tahvlit liimiga, seejärel liimiti kangas, mis kuivanuna lõigati ära mõned millimeetrid enne tahvli servi ning, tahvlile kanti 18 õhukest tihedat kihti krunti, mis lihviti siledaks. Kruntimistöid teostas professionaalne kruntija Aleksander Muljarov, kes on mitmete ikonostaaside jaoks tahvleid ette valmistanud enam kui 10 aasta jooksul.

Maalikihid kanti peale munatempera tehnikas ja kaeti pärast kuivamist kahe kihi šellaki ja ühe kihi konserveerimislakiga. Tahvlite numeratsioon maaliti esikülje maalingule kollase ookri ning munaemulsiooniga, tagaküljele kanti vahetult puidu pinnale hariliku pliatsiga. Neist tahvlitest 24 kaeti tagakülgedelt ja külgservadelt testitavate

pinnakatetega (vt. Tabel 1), referentstahvleid jäi 6, millest kolm lihtsalt puutükid ning 3 tagakülje kattekihtideta.

**Tabel 1.** Ülevaade tahvlite numeratsioonist ja pinnakatetest.

Pinnakate	ST number	VT number	Fe(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -ga töödeldud VT number
Puuduvad	1, 2	-	-
Puuduvad, tagaküljele kantud NaC(CN) <sub>3</sub> lahust	3	-	-
Traditsioonilised kihid esiküljel; muudel külgedel pinnakatted puuduvad	4, 5	-	
Traditsioonilised kihid esiküljel; tagaküljele kantud NaC(CN) <sub>3</sub> lahust	6	13, 19	-
Pinotex Ultra, eeltöötlus vahendiga Pinotex Base	7, 8	1	-
Paraloid B72, polüetüülmetakrülaad	9, 10	2	14
Plexisol 550, n-polübutüülmetakrülaad	11, 12	3	15
Unica Super (uretaanalküüd) firmalt Tikkurila)	13, 14	4	16
Uretaanalküüd firmalt Nelf	15, 16	5	-
Kolorex Akva (vesialuseline akrülaadiga modifitseeritud alküüd firmalt Vivacolor)	17, 18	6	-
Šellak (kuldoranž, helbed firmalt Noris,	19, 20	7	17
Taruvaik (eesti mesinikult, lahuse jaoks võetud ligikaudu 1 osa taruvaiku 5 osa 96% etanooli kohta; lahustamisel sadenes taruvaigust ligi kolmandik)	21, 22	8	-
Vaha (kasutatud kunstkärg eesti mesinikult, emulgeeritud pineenis)	23, 24	9	-
Tiikõli firmalt Herdins	25, 26	10	18
Mooniõli firmalt Tikkurila	27, 28	11	-
Linaõli	29, 30	12	-

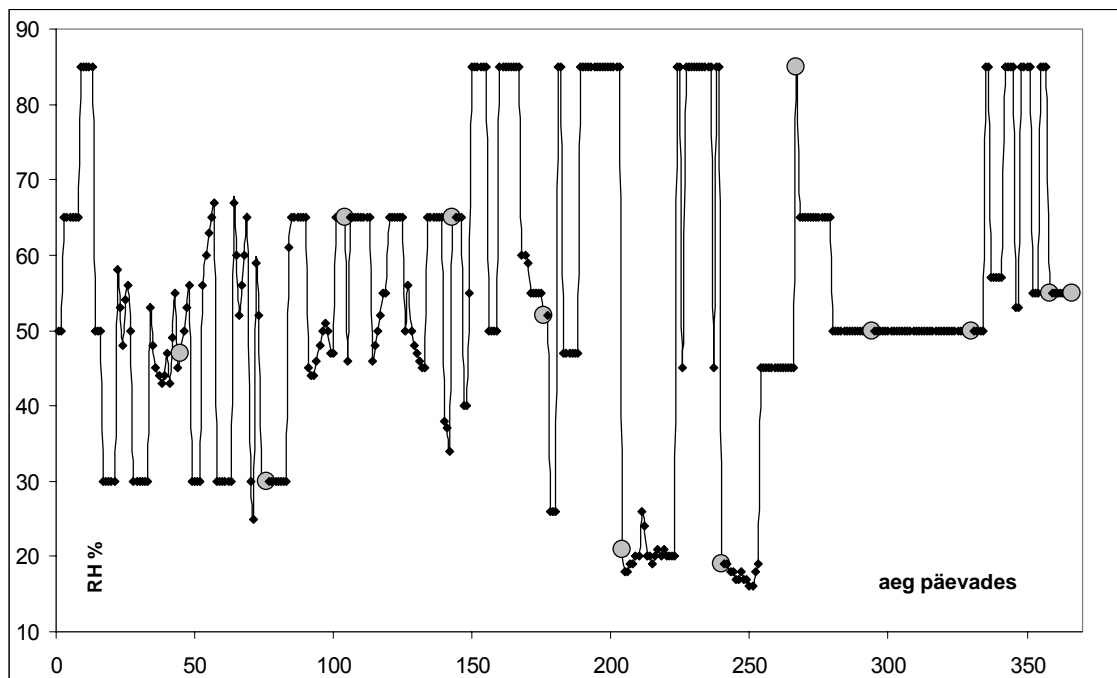
Lisaks suurtahvlitele valmistati 19 tahvlit mõõtmetega 5cm X 5cm X 0,5cm (kõrgus X laius X paksus), edaspidi VT ehk väiketahvlid. Nad krunditi esiküljelt otse puidule ning krunt lihviti. Kõik tahvlid nummerdati mõlemalt poolelt hariliku pliiatsiga. Nendest tahvlitest 17 tagaküljele kanti kas mõni pinnakate või esmalt tulekaitselahus ja pärast 24 tunni möödumist pinnakate. Kõigi tahvlite külgservad jäid pinnakatteta. Kaks ülejäänud tahvlit immutati tagaküljelt  $\text{NaC}(\text{CN})_3$  vesilahusega, et uurida puitu eeldatavasti hästi imenduva aniooni  $\text{C}(\text{CN})_3^-$  liikumist katse vältel. Anioon on valitud selle järgi, et teda naturaalses puidus ei sisaldu, ta on stabiilne ja IP-spektroskoopia abil hästi detekteeritav.

Tahvlid valmisid 12. juunil 2008 ning kliimakatse toimus 2008. a. 18. juunist 2009. a. 18. juunini.

### 3.2 Kasutatavad vahendid ja nende usaldusväärsus

Kliima loomiseks kasutati kliimakambrit WK 111-340, tootja Weiss Umwelttechnik GmbH, ning tubast keskkonda. Niiskusrežiim on esitatud joonisel 1. Mustade punktidega on tähistatud päevad, mil võeti ainult suhtelise õhuniiskuse näite ning suured hallid punktid on kõikide ülejäänud andmete kogumise päevad.

**Joonis 1.** Suhteline õhuniiskus (RH) kliimakatse jooksul.



Tsüklite põhiosadeks olid 30%-line RH, 65%-line RH ja 85%-line RH 25 C juures, millele vastavad puidu tasakaalulised niiskusesisaldused on 6,1%, 11,8% ja 17,8%, arvutatuna U.S. Forest Products Laboratory niiskuskalkulaatori abil, mis asub leheküljel <http://www.woodbin.com/ref/wood/emc.htm>.

Niiskuse tasakaalustumist tahvlites enne kliimatingimuste muutmist katses ära ei oodatud, sest reaalses olukorras, mida me imiteerida püüdsime, ei ole samuti tavaks sellest hoolida. Tahvleid hoiti vertikaalselt alusel, mis tagas õhu juurdepääsu kõigilt külgedelt ning suurtahvlite positsioone alusel vahetati igal mõõtmiskorral, et vähendada tahvli asukoha võimalikke mõjusid.

Temperatuur hoiti kliimakambris 25 kraadi lähedal ning toas oli see ligikaudu 20 kraadi. Kui ei olnud võimalik kliimakambrit kasutada ja tubane õhk oli liiga kuiv, paigutati tahvleid mitteköetavasse ruumi, mis oli vastavalt jahedam ja niiskem. Temperatuuri mõjudest vt. Lisa 1.4.

Tahvlite kaalumiseks kasutati kangkaalusid VLT täpsusega  $\pm 10$  mg ( $k = 2$ ).

Pinnakateteta võrdlustahvlite kaalud olid ca 200g, kõigi kattedkihtidega tahvlid kaalusid ca 220g. Kogu eksperimendi vältel muutus erinevate tahvlite kaal vahemikus 10g (taruvaik) kuni 12g (pinnakateteta tahvlid). Enim suurendas määramatust pikaldane mõõtmisprotsess. Kõikide tahvlite kaalumine kestis paar tundi ja mõnikord võis õhuniiskus tööruumis järsult erineda tahvlite eelmisest keskkonnast. Seega olid esimesed kaalutavad tahvlid lähedasemad kliimakambri mõjudele ning mida edasi, seda enam kohanesid tahvlid uue keskkonnaga. Väga tõenäoliselt on niisutavate tsüklite järgsetel kaalumistel õlitatud tahvlite kaalud tegelikust veidi väiksemad. Siiski ei olnud need muutused nii suured, et võiksid mõjutada materjalide pingerida. Mõned intrigeerivamad paarid, nt. Paraloid ja Pinotex, taruvaik ja šellak, asusid mõõtmise järjekorras lähestikku, järsku aurumist kaalumise ajal püüti vähendada kattedkiledega ning seeria lõpus kaaluti veelkord 1., 4. ja 15. tahvlit, et kindlaks teha võimalik kaalumuutus kaalumise ajal.

Kaalumisandmete põhjal eristusid erinevate pinnakatetega paarid üksteisest selgesti, mis kinnitab, et niiskusesisaldus puidus sõltus tõepoolest peamiselt pinnakatetest.

Eristumine oli üldiselt väga hea, kuid oli kaks tahvlite paari, kus üks tahvlitest käitus väga ebastabiilselt ning lähemal vaatlusel tuvastati struktuuridefektid. Seetõttu ei arvestatud katses tahvleid 12 ja 30 (ühte Plexisoliga ja ühte linaõliga kaitstud tahvlit).

Defektide iseloomust vt. lähemalt Lisa 1.5. Etteruttavalt võib öelda, et nii Plexisol kui linaõli toimised ka normaalsetel tahvlitel pinnakatetena halvasti; defektsete tahvlitega seotud andmete sissejätmine oleks niigi madalaid tulemusi alandanud veelgi, üldpilti oluliselt muutmata.

Puiduniiskuse mõõtja GANN HYDROMETTE COMPACT.

Puiduniiskuse mõõtepiirkond on 5 - 20 % ning mõõtjat saab seadistada erinevatele puuliikidele, valides kahe seadistuse vahel. Näit vastab puidu temperatuurile 20C. Aparaat mõõdab elektrooniliselt voolutugevust puidu sisse ristikiudu torgatud nõelte vahel ning näit kuvatakse niiskuse kaaluprotsentides. Vooluallikaks on 9 V patarei. Katses mõõdeti niiskusesisaldust elektriliselt tahvlite tagakülgedelt tahvli keskosast. Tekkinud augud suleti pärast mõõtmist väikese koguse vastava pinnakattega ning eemaldati jäägid. Samu auke erinevatel mõõtmiskordadel ei kasutatud. Vahetult pärast esmast mõõtmist samadest aukudest mõõtmisel oli teine näit ca ühe ühiku võrra eelmisest madalam, tõenäoliselt kontakti tiheduse, võibolla aga väliskeskkonnale avatud pinna väga kiire esmase niiskusvahetuse tõttu. Arvestades, et kogu katse jooksul mõõdetud näidud jäid vahemikku suurusega 7,5 ühikut, tähendab näitude erinevus 1 ühiku võrra samal mõõtmisel väga suurt määramatust. Samaliigiliste tahvlite näidud ei korreleerunud graafikutel hästi. Siiski on see ainus mõõtmismoodus, mis andis tulemuse puidu niiskusesisaldusena protsentides, määratledes võrdlemisi selgelt tahvlite üldise olukorra viimaste kliimakõikumiste mõjul. Teine kasulik info, mida saab nende andmete graafikutelt välja lugeda, on pinnakatte hügroskoopsus, mis võib näitu permanentselt kõrgendada ka kuivatavate tsüklite ajal.

Kuna tekkis vajadus usaldusväärsema puidu elektriliste omaduste toetava niiskusemõõtmise järele, hakati alates neljandast katsekuust kasutama percomeetrit. Percomeeter firmalt Adek kasutab dielektrilise läbitavuse mõõtmiseks raadiolaineid sagedusega 50 MHz. 90% signaalist sõltub niiskusesisaldusest 1 cm ehk katsetahvli paksuses materjalis. Tema mõõtetäpsus on  $\pm 0.02$  pf (lühiajaline stabiilsus) kuni  $\pm 0.1$  pF (pikaajaline stabiilsus) (Plakk 2008). Dielektriline läbitavus iseloomustab ainete polariseerumisvõimet - puidu puhul näitab kui palju suureneb puitkondensaatori mahutavus, võrreldes õhkkondensaatoriga. Kuivade ainete ning nende tahkete koostisosade dielektriline läbitavus  $\epsilon_r$  on ca 2...5, õhul 1 ja vabal veel ca 80, seega

mõjutab vee sisaldus tahke keha dielektrilist läbitavust väga oluliselt (Plakk, viide 16. 05. 2010). Puidu dielektriline läbitavus suureneb puiduniiskuse tõustes, kuid seos ei pruugi olla lineaarne.

Katses mõõdeti erineva niiskusesisaldusega tahvlite dielektrilist läbitavust, kasutades režiimi nr 7. Mõõteseeria alguses fikseeriti tausta signaal ehk õhu dielektriline läbitavus, mis lahutati automaatselt järgmistest andmetest. Seejärel võeti näidud uuritava tahvli tagakülje kuuest erinevast punktist, aparaat eemaldas nende seast suurima ja vähima näidu ning arvutas nelja näidu keskmise. Pooltunnise vahega tehtud kordusmõõtmised näitasid percomeetrit väga täpse mõõteriistana, sest kuigi 6 punkti tahvli tagaküljel valiti käsitsi, olid tulemused sama tahvli puhul väga lähedased, jõudes enam kui 10% tahvlite puhul täieliku kokkulangemiseni 2 komakoha ulatuses. Percomeetriga võttis kõigi 30 ST näitude fikseerimine aega ca 30 minutit. Mõõtmisel arvestati, et percomeeter võib korjata osa signaalist ka 2 cm kauguselt ning tagaküljelt mõõdetava tahvli alla pandi alati teine samaliigiline tahvel. See, kas üksteise peal oli kaks või kolm samaliigilist tahvlit, ei avaldanud näidule mõju.

Erinevate pinnakatetega paarid eristusid graafikutel üksteisest hästi, välja arvatud õlid.

Kaardumisindeksit hakati mõõtma siis, kui pärast esimesi kuid oli märgata erinevate pinnakatetega VT-de erinevat kaardumist. Püsti asetatud tahvlite ülemisest ja alumisest servast joonistati paberile jäljend, mõõteseeria skaneeriti ning suurendati 200%. Väljatrükil tõmmati kaartele otsmiste punktide puutujad ning jagati otsmiste punktide vaheline sirgjoon neljaks. Saadud kolmest punktist mõõdeti digitaalkaliibri abil kaare sügavust risti sirgega. Asümmeetrilise kaare korral mõõdeti keskmise punkti asemel sügavus tegelikust maksimumist. Saadi iga tahvli kohta 6 arvu (2 profiili 3-st punktist), mis kokku liites andsid kaardumisindeksi, mida sai kasutada erinevate tahvlite võrdlemiseks. Pinnakattematerjalid eristusid kaardumisindeksite abil üllatavalt selgelt. Üldiselt mõjutas tahvlite kaardumist niiskuse asümmeetriline gradient, mis oli eriti ilmikas tagaküljelt katmata võrdlustahvlite puhul. Kõik sünteetilised pinnakatted ja enamused naturaalseid olid niiskusele enam läbitavad kui krundikiht tahvlite esiküljel ning lasid tahvritel kaarduda. Vaid kahe materjali puhul (taruvaik, vaha) võis väga suurtel niiskustel täheldada väikest vastupidist kaardumist, s.t. kumerdus pinnakatte pool. Võib küsida, kuidas saab hügrokoopse sideainega krundikiht olla näiteks uretaanlakist

tõhusamaks niiskusbarjääriks, kuid peene täiteaine tihe ja kihiline pakkimine oskuslikul kruntimisel teeb selle võimalikuks.

Muutuste dünaamikat kajastavaid graafikuid koostati nii samaliigiliste tahvlite keskmiste näitajate alusel kui ka iga tahvli kohta eraldi, samuti normaliseeriti erinevaid näitajaid ning võrreldi erinevate näitajate dünaamikat teineteise suhtes, erilist tähelepanu pöörates sellele, kuidas mõjutab niiskuse kasv dielektrilist läbitavust.

IP spektrite registreerimiseks kasutati spektromeetrit Nicolet 6700 ja programmi Omnic. Üldjuhul võeti spektreid 512 skaneerimisega ning see osutus piisavaks. ST-delt võeti proove eriliste probleemide korral, näiteks keemilise reaktsiooni esinedes. VT-delt võeti proovide spektrid kliimakatse alguses ja aasta pärast, kliimakatse lõpus, samuti võeti spektreid testioonist, puidust, krundist, maalikihist ning klaasil kuivada lastud ja sellelt eraldatud pinnakatetest.

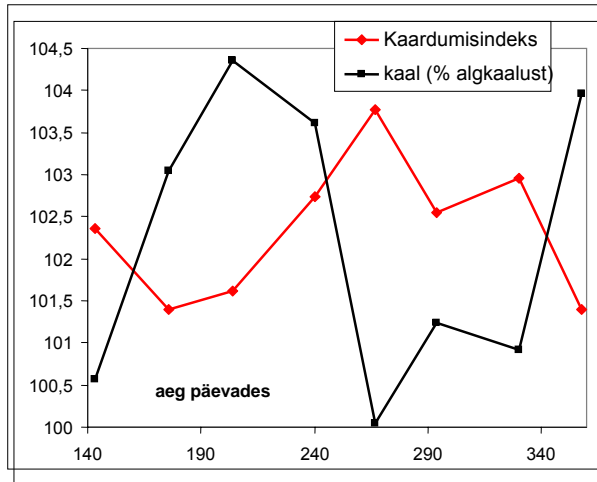
Pildistamiseks kasutati digitaalset fotoaparaati Olympus C-370.

Mikroskoopilisteks uuringuteks kasutati mikroskoobe Nikon AZ 100M ja 80I. Uuriti ainult paari problemaatilist proovi kuni 60-kordse suurendusega.

## **4 TULEMUSED**

### ***4.1 Üldist***

Esimestes tsüklites andsid tooni tugevad, kuid veel mõõdukad niisutavad ja kuivatavad mõjud mitmete järsemate muutustega ning poole aasta jooksul ei esinenud tahvlitel konkreetseid kahjustusi, kuid oli võimalik jälgida erinevaid kaalumuutusi ning VT-de kaardumist. Kindlasti ei tähenda see seda, et tahvlid taluvad õhuniiskuse kõikumist 30% ja 65% vahel hästi. Pigem võib öelda, et rasketes tingimustes katkevad esmalt pikemat aega nõrgestatud sidemed ning kahjustuste ilmumine hilisema, pika, tugevalt niisutava tsükli ajal ei tulene üksnes selle tsükli ajal toimuvast, vaid ka tahvli varasematest, näiliselt tagajärgedeta jäänud pingetest ja deformatsioonidest. Huvitavat informatsiooni andis nelja erineva näitaja – algkaalu suhtes toimunud kaalumuutuse, pinnalähedase elektrijuhtivuse, tahvlite dielektrilise läbitavuse ja kaardumisindeksi normaliseerimine (vt. Lisa 3).

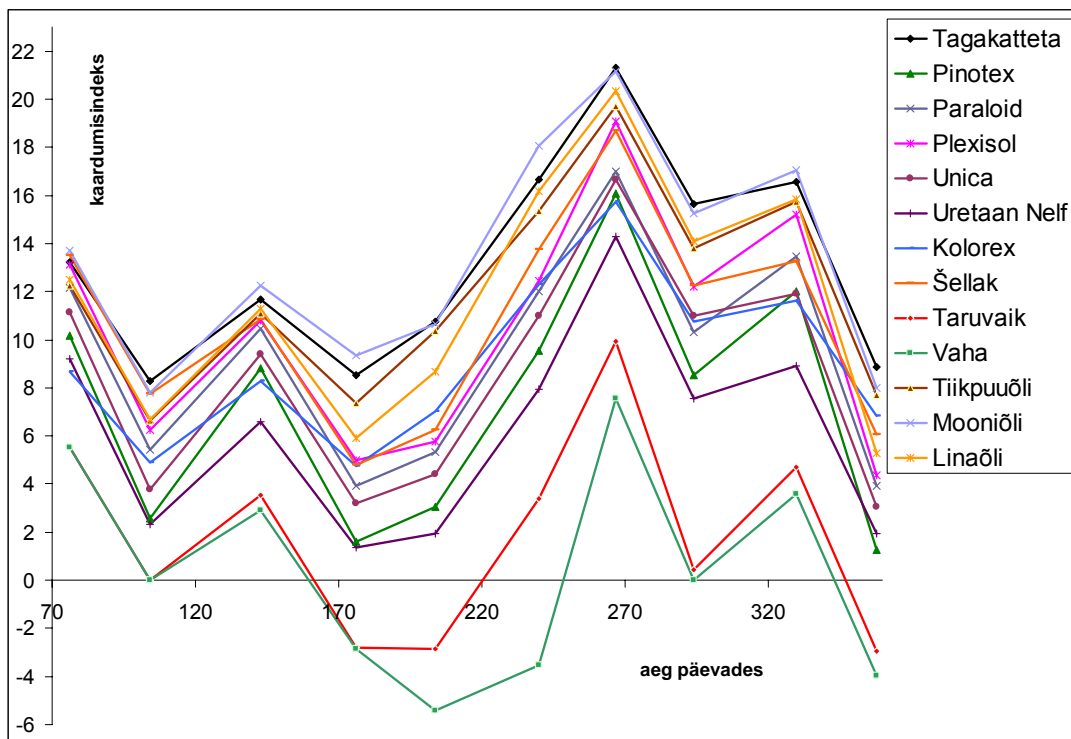


**Joonis 2** Kõigi ST-de keskmine mass ning kõigi VT-de normaliseeritud kaardumisindeksi keskmine mõõtmiskordadel alates 140. päevast. Jooniselt 2 näeme, et ootuspäraselt kaarduvad õhuniiskuse alanedes tahvlid enam ning nende mass väheneb. See viitab sarnastele muutustele erinevat tüüpi ja erineva aparatuuriga

jälgitud tahvlite niiskusesisalduses ning sellele, et jälgimismeetodid olid piisavalt head.

VT-de kaardumisindeksid (v.a. tulekaitsega eeltöödeldud) on esitatud joonisel 3.

**Joonis 3.** Kaardumisindeksid.



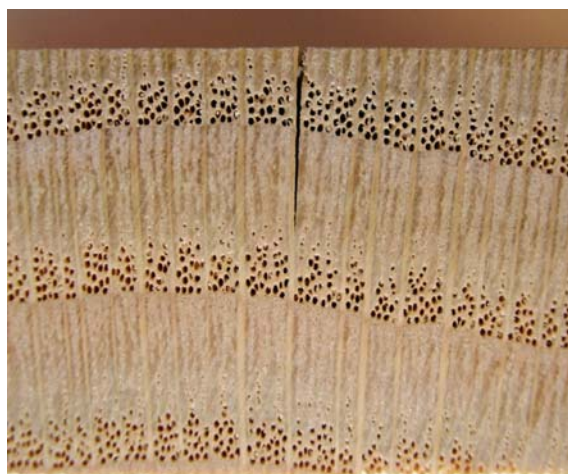
X-telje 0 tähistab ideaalselt sirget olekut. Negatiivne kaardumine, mis mõnedel VT-del kõrgematel niiskustel ilmnes, on nõgususe teke tahvli krunditud esiküljel. Näeme, et tahvlite mitteelastse deformatsiooni osakaalu (ehk neile osaks saanud pingete) tõttu paigutuvad kaardumisindeksid “riiulitesse” ning ka suure niiskuse korral ei muutu tagakatteta VT-d sirgeks, kuigi niiskuse pääsu tahvlisse ei takista tagaküljelt miski.

## 4.2 Katsetahvlitest liigiti

### 4.2.1 Referentstahvlid

ST 1, 2, 3. Kõigilt külgedelt katmata võrdlustahvlites tekkinud pinged avaldusid sel küljel, mida oli torgitud elektroodidega (suurenes külje niiskusvahetuses osalev eripind). Esimesena kõigist katsetahvlitest lõhenes tahvel 1 ülalt tagakülje keskelt. Joonisel 4 on fotod tahvli ristlõikest kliimakatse 176. ja 360. päeval.

**Joonis 4a** ST 1 katse I poole lõpus.



**Joonis 4b.** ST 1 katse lõpus.



ST 4, 5, 6. Vaid esiküljelt (traditsiooniliste maalikihtidega) kaetud tahvlid olid kaaluliselt läbi katse kõige kuivemate seas, kuid kahjustused ja suur VT-de kaardumisindeks näitavad, et tahvlites kujunes eriti tugev niiskuse asümmeetriline gradient. ST-de ülemistele ja alumistele servadele tekkisid 240-ndaks katsepäevaks silmakujulised lõhed (joonis 5), millesarnaseid ei esinenud muud liiki tahvlitel. Maalikihi kahjustused olid katse lõpuks ulatuselt keskmised.

**Joonis 5.** ST 5, 240. katsepäeval



#### 4.2.2 Pinnakatetega tahvlid

Järgnevalt vaatleme neid tahvleid, mis olid kaitstud mõne pinnakattega maalinguta külgedelt. Kui kateteta tahvlite puhul olid kahjustused tagaküljel ja tagakatteta tahvlite puhul eelkõige ülemisel ja alumisel ristlõikel, siis pinnakattega tahvlite kahjustused ilmnesid maalinguga esiküljel. Kaks referentstahvlite gruppi kujutasid kaalumisanndmete graafikutel endast kahte äärmust (tavaliselt läks tahvlite 1,2 ja 3 kaal kõige kergemini üles ning 4,5 ja 6 püsisid kõige kuivemad), mille vahel paiknesid pinnakatetega kaitstud tahvlite graafikud. Kõige tõsisemalt kahjustus maaling nendel pinnakatetega kaitstud tahvlitel, mille kaalukõikumise graafik kulges kõige lähemal kas ühele või teisele referentstahvlite grupile. Enamus esimestest krakelüüridest jooksid piki puidukiudu alumise serva keskosas. Hiljem võis näha krundi ja maalikihi irdumist nurkades (eriti ülannurkades) või külgservadel, irdunud serv võis ristipidiselt lõheneda; mõnedel juhtudel ilmusid veel erinevat liiki krakelüürid. Ainult kolm paari tahvleid püsisid kahjustusteta enam kui 9 katsekuud. Nende pinnakatted olid Pinotex Ultra, Unica Super ja taruvaik. Tahvlipaare, mille mõlematel tahvlitel ilmnesid juba 240. päevaks kahjustused, oli kaks, kuid nende seast oli Plexisoli üks esindaja puidudefektiga ja ei ole teistega hästi võrreldav, seega võiks maalikihi kahjustuste arenemise alusel teistega võrreldes halvemaks pinnakatteks pidada šellakit. Üldiselt aga võis 8. katsekuul ehk 240. katsepäeval täheldada maalikihi kahjustusi ühel tahvlil kahest samaliigilisest. Nii käitusid paraloidiga, firma Nelf uretaanalküüdiga, Kolorex Akvaga, vahaga, tiikpuuõliga ja mooniõliga kaitstud tahvlid, mille puhul seda edaspidi ei ole eraldi mainitud, vaid on kirjeldatud erilisi kahjustusi.

Üllatavalt vastupidavaks osutus väiketahvlite krunt, mis oli sageli eksponeeritud igasuguse kaitseta õhuniiskusele 85%, kuid ilmutas lagunemise märke paaril üksikjuhul kogu katse vältel. See kinnitab nii krundi kvaliteeti kui nende kahjustuste tõsiseltvõetavust signaalina tagakülje pinnakatte ebasoodsate mõjude kohta.

ST 7, 8 – Pinotex Ultraga kaitstud tahvlid talusid kliimakatset hästi, esimesed märgid maalikihi irdumisest ühe tahvli nurgas ilmusid 294. katsepäevaks. 358. päevaks ilmusid üksikud katkendlikud krakelüürid, mis markeerisid krundialuse tekstiili serva. Pinotexile on iseloomulik see, et ta laseb suhteliselt hästi niiskusel auruda ning RH langemisel on ka tahvlite kaalukaotus suur.

ST 9, 10 – Paraloidiga tahvlite kõige silmapaistvam erisus oli puitu tumendav reaktsioon mõlema tahvli ülemisel ja alumisel ristlõikel, mida täheldati esmakordselt 267. päeval. Tumenenud kohtadest võetud proovidel seenetaolisi struktuure ei tuvastatud. Seened oleksid ka eelistanud tahvlite alaosa, kuhu koguneb niiskust ja kus õhk liigub vähem. Et reaktsioon oli intensiivsem tahvlite ülemistel otstel ning ilmnes tahvlite kuivamisega, on ta seostatav vee aurumisega.

**Joonis 6a.** Vaade tahvlite 10 (Paraloid, ülal) ja 8 (Pinotex, all) otstele 330. katsepäeval.



**Joonis 6b.** Fragment tahvli nr. 10 ülemise serva keskosast katse teisel poolel.

Joonisel 6a on korruga pildistatud Pinotexiga kaetud tahvlit ja Paraloidiga kaetud tahvlit, samuti näeme joonisel 6b fragmenti kahjustustest.



**Joonis 7.** (vasakul) ST kahjustus 358. päeval.

**Joonis 8.** krundi kihiline irdumine Plexisoliga töödeldud VT-1 294. päeval.



ST 11, 12 – Plexisol käitus Paraloidile väga sarnaselt, VT-de kaardumisindeksid olid väga lähedased, krakelüürid ilmusid samaks ajaks ning olid ulatuslikumad, tumendav reaktsioon ilmus samuti, kuid vähemal määral ja hiljem (294. päevaks). Maalikihi ja krundi kahjustused arenesid ulatuslikeks (joonised 7 ja 8).

ST 13, 14 – Unica Super-iga kaitstud tahvlid püsisid krakelüürideta 294. päevani. Siiski täheldati 267. päeval ka nende tahvlite ülemistel servadel algavat tumendavat reaktsiooni, küll nõrgemat kui metakrülaatide puhul. VT kaardumine oli suhteliselt vähene. Eeltöötlus tulekaitsega suurendas VT kaardumist tunduvalt ning IP-spektris võis näha, et C=O valentsvõnkumine 1710 pöördsentimeetri juures oli tunduvalt nõrgem kui tulekaitseta uretaanil. Et see neeldumismaksimum on uretaani moodustumise indikaator (Hyun Lee et al. 2002), võib järeldada probleeme uretaankelme moodustumisel. Et katalüsaatori deaktivatsioon on tavaline probleem, mis võib takistada uretaani teket ja fosfaatanioon võib seda mõningates süsteemides kergesti põhjustada (Florio 2004), võib oletada ka siin  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  fosfaataniooni toimet katalüsaatorile.

ST 15, 16 – uretaanalküüd firmalt Nelf. Tumendavat reaktsiooni võis täheldada mõlema tahvli ülaserval 294. päevast. Samas oli see matarjal, mille VT oli silmapaistvalt väikese kaardumisindeksiga ning ST kõrge dielektrilise läbitavusega, seega suutis ta tagada üsna ühtlast niiskusjaotust tahvlis.

ST 17, 18 – Kolorex Akva pinnakate osutus hügrokoopseks, millele viitas süstemaatiliselt kõrge Gann Hydromette näit. Ka reageeris see pinnakate mingil määral puiduga, sest puusüü muster omandas tumehalli varjundi ja muutus kontrastsemaks kogu kaetud pinnal pärast pinnakatte kuivamist.

Kaardumisindeks muutus kitsamas vahemikus kui paljudel teistel pinnakatetel, kuid oli küllaltki suur. VT näitas ka teiste tahvlitega võrreldes kõige varasemaid ja tõsisemaid krundikahjustusi. ST-l varem ilmunud kahjustused olid ulatuslikult edasi arenenud 294. päevaks; 330. päevaks ilmusid väga iseloomulikud vertikaalsed krakelüürid, mis markeerisid tekstiili serva krundi all esiküljel, mõne mm kaugusel tahvli külgservadest. Sarnaseid krakelüüre serva kogu pikkuses teiste pinnakatetega tahvlitel ei esinenud.

ST 19, 20 – šellakiga kaitstud ühe tahvli külgserval võis 294. päeval märgata krundi- ja maalikihi irdumist aluspinnast täies pikkuses. Kaardumisindeks oli üks suuremaid, kuid

õlide omadest siiski väiksem. Samas andis kombinatsioon Holz Prof-iga ühe väikseimatest kaardumisindeksitest. Kuna šellaki puhul avaldus tulekaitse mõju kõige enam, on kohane siinkohal puudutada ka tulekaitse mõju teistele pinnakatetele. Mõningaid VT-sid immutati tagaküljelt  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  -ga ning järgmisel päeval kaeti mõne valitud pinnakattega. Töötamise mõju kaardumisindeksile võrdluses töötlemata, sama pinnakattega kaetud VT-dega, on esitatud tabelis 2.

**Tabel 2.** Tulekaitsega töödeldud ja töötlemata VT-de keskmised kaardumisindeksid.

Pinnakate	Eeltöötluseta VT-d	Esmalt $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ töödeldud, seejärel pinnakattega kaetud VT-d	Kaardumisindeksi vähenemine
Šellak	10,711	4,408	6,303
Paraloid	9,396	9,823	-0,427
Plexisol	10,425	10,395	0,03
Unica Super	8,548	12,936	-4,388
Tiikpuuõli	11,999	13,503	-1,504

Kuivõrd keskmine kaardumisindeks kõigi tahvlite kokkuvõttes kõikus vahemikus 0,378 (vahaga VT) kuni 13,576 (üks tagakatteta VT-dest), võib keskmise kaardumisindeksi muutust 6,3 ühiku võrra pidada väga suureks muutuseks. Sisuliselt astus šellaki kaardumisindeks viimaste seast esimeste sekka. Kahjuks ei saa siiski seda muutust tervitada üheselt positiivsena, sest stabiliseerumine ei olnud ühtlane, vaid tahvlite jäi pisut lainjaks vastavalt tangentsiaalsele lõikemuustrile. Toimus küll kuju (oluliselt!) fikseeriv keemiline reaktsioon puidu, fosfaadi ja šellaki osalusel, kuid vajalikku reagenti on suvepuidus ja sügispuudus (aastarõngaste erinevates osades) nähtavasti erineval määral.

ST 21, 22 – taruvaik. Nende tahvlite kaal kõikus katses kõige väiksemas ulatuses ning tahvlite niiskumise tempo vähenes just õhuniiskuse suurel tõusul. Esimesed märgid arenema hakkavatest kahjustustest leiti 294. päeval.

ST 23, 24 – vaha oli kõige niiskuskindlam materjal katses ning tagas sellega niiskuse väga ühtlase jaotumuse tahvli paksuses, ka VT kaardumisindeks oli väike ning mõnedel mõõtmistel isegi negatiivne, mis näitas, et teatud juhtudel ületab vahakiht niiskuskindlusest krundikihti. Seega oli tema niiskuskindlus ligilähedane traditsioonilistele kihtidele maalingupoolel. Tahvlite dielektriline läbitavus oli kõrge.

Kuid alates 267. päevast võis jälgida krundi irdumist koos maalikihiga ühe tahvli nurgas, mis on toodud joonisel 9.

**Joonised 9a, 9b ja 9c** (vasakult paremale).

Vahaga kaitstud tahvel 267., 330. ja 358. katsepäeval.



ST 25, 26 - tiikpuuõliga kaitstud tahvlitele olid iseloomulikud küll enamuse tahvlitega samaaegselt tekkinud, kuid mõnevõrra aeglasemalt arenevad kahjustused.

Kaalukõikumine ja kaardumisindeks olid suured; tulekaitsega töötlemine suurendas kaardumisindeksit mõõdukalt.

ST 27, 28 – mooniõli. Esines probleeme koheste kahjustustega – nimelt tekkisid pärast tahvli külgservade õlitamist maalikihi otsaservadesse tumedad laigud. Õlitamise ajaks oli juba esikülg lakitud ja kuivanud. Õli imendus trahheede kaudu ülemisest ja alumisest servast läbi puidu, tekstiili, krundi ja maalikihi. Edaspidi toimis tahvli mõõtmete kasv ja kahanemine nagu pump ning märtsiks õlilaigud laienesid, eriti tahvlite allosas.

ST 29, 30 – linaõli. Arvestati ainult tahvli 29 näitajaid, sest tahvel 30 näitas nii halbu tulemusi, kaasa arvatud puidu lõhenemine 176. päeval, et tuli kahtlustada eespool mainitud struktuuridefekte. 29. tahvli maalikihi kahjustused ilmnisid küll hilja, 294. päeval, kuid arenesid kiiresti ning tahvli kaal kõikus suures vahemikus; laienevad õlilaigud maalikihis olid eriti silmapaistvad ja VT kaardumisindeks oli suur.

Kontrollimaks materjalide imendumist puitu, võeti pärast katset materjalidest ja puidu pindmistest kihtidest nende all IP-spektreid. Ühegi pinnakatte jälgi ei olnud näha juba pinnalt võetud laastu pöördelt võetud spektrites. Testiooni  $C(CN)_3$  jälgi võib leida kaugemal, pisut enam kui poole mm sügavusel. Õlide kohta täpset infot ei ole, sest nende spektrid, eriti väiksematel kontsentratsioonidel, on puidu spektri poolt varjutatud.

## 5 KOGUTUD ANDMETE ANALÜÜS

Ioonide liikumise suund puidus on ilmselt seesmusest väljapoole ja pinnakatetest pärinevate ainete difundeerumine sügavale puitu on raskendatud – kui vesi on suuteline neid kandma, siis viib ta aurudes need ained pindmistesse kihtidesse.

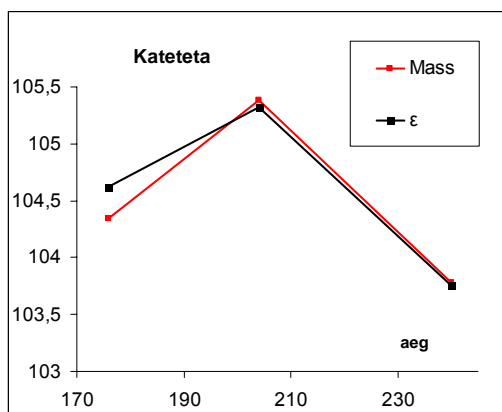
Otsime vastust küsimusele, miks ilmnes kõigil metakrülaatidega ja uretaankattega tahvlitel tumendav reaktsioon. Seosele aurumisega viitavad reaktsiooni ilmumise aeg ning esinemine eelistatult tahvlite ülaserveral. Otsest seost materjalide kaitsevõimega ei paista olevat, sest uretaanlakid esinesid üldiselt väga hästi ja metakrülaadid halvasti. Samas ka nende materjalide seas, mille puhul reaktsiooni ei täheldatud, oli häid ja halbu (kui võtta kriteeriumiks kahjustused maalikihis). Samuti ei reageerinud kindlasti materjal ise - eriti problemaatilised metakrülaadid olid läbi katse keemiliselt väga inertsed, muutusi IP-spektrites ei esinenud. Tumenenud kohtade spektritest ei õnnestunud mingeid erilisi maksimume leida. Kuid ionide liikumises puidus on sarnasusi ehitusfüüsikas hästi tuntud nähtusega. Kõetavates kirikutes on kliimakõikumiste mõjul toimuvad kristalliseerumistsüklid suureks ohuks näiteks freskodele (Camuffo et al. 1999). Kapillaarvesi poorsetes ehitusmaterjalides sisaldab lahustunud mineraale, mis enamasti transporditakse kapillaar- ja pinnadifusiooni abil välispinnale. Kui kapillaartoru menisk on pinna sees, pääseb välja ainult aur ja lahustunud mineraalid kogunevad meniski taha. Üleküllastuse juures hakkavad mineraalide kristallid poorides kasvama, tekitades survet, mis võib materjali purustada (Timusk 2006). Ka puittahvlis liigub niiskus pidevalt sisse ja välja, seejuures lahustades puidust ioone, mida ta aurumisel kannab välispinna lähedale. Mida on ühist „headel“ uretaanidel ja „halbadel“ metakrülaatidel, see on suur molekul ja probleemid nakkumisel puitpinnaga. Niiskus kandub läbi kelme siis, kui veeauru rõhk kelme erinevatel külgedel on erinev. Kui pinnakate on aluspinnaga hästi nakkunud, siis on see erinevus väga väike ja pinnakate jõuab tasakaaluseisundisse kiiresti – aurumine ühelt küljelt toimub samas tempos niiskumisega teiselt küljelt. Halva nakke korral aga võib vesi koguneda tühimikesse pinnakatte all (Coughlin 2004). Nii võib saada puidu pinnalähedasest rakust reservuaar aurumisel üha kangemaks muutuva ionide lahusega, ning sel juhul on aurumise tulemuseks soolade kristalliseerumine. Tammes võivad kergesti moodustuda just mustjad ühendid. Need probleemid puudusid kõigil peenema

struktuuriga või hea nakkega pinnakatetel – Pinotexil, õlidel, taruvaigul ja vahal. Ka Price ja Brimblecombe (1994) tõdevad, et soolade kristalliseerumine põhjustab poorsetele materjalidele tõsiseid kahjustusi, lõhkudes nende struktuuri ning muutes välimust. Autorid selgitavad, et kui on täpselt teada, millised soolad võivad hakata kristalliseeruma, siis on võimalik valida kindel RH ja temperatuuri vahemik, milles see on nende konkreetsete soolade puhul välistatud, ning hoida kliimatingimused selles vahemikus. Selline meetod on aga näiteks Varnjas ulatuslike kliimakõikumiste tõttu kasutamiskõlbmatu.

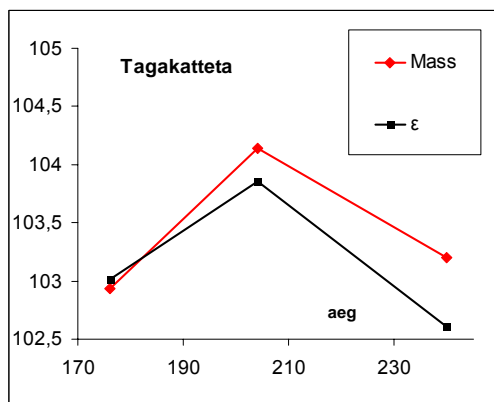
Järgnevalt vaatleme katse käigus kogutud mõõtmistulemusi.

Me jälgisime ST kaalumuutusi, elektriliste omaduste muutusi ja VT kaardumist. Nende andmete normaliseerimine võimaldas otsustada selle üle, kas erinevad näitajad muutusid sünkroonselt (vt. Lisa 3). Võis tõdeda, et sõltuvalt pinnakattest oli tahvlite dielektrilise läbitavuse muutus kaalumuutuse suhtes erinev ka sarnase kaalumuutuse korral.

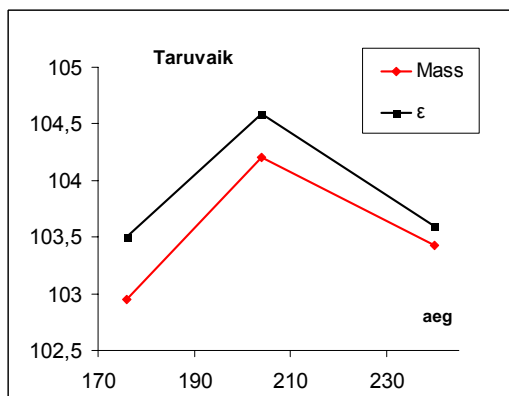
**Joonis 10a.** Võrdlustahvlid 1,2 ja 3.



**Joonis 10b.** Võrdlustahvlid 4, 5 ja 6.



**Joonis 10c.** Tahvlid 21 ja 22.



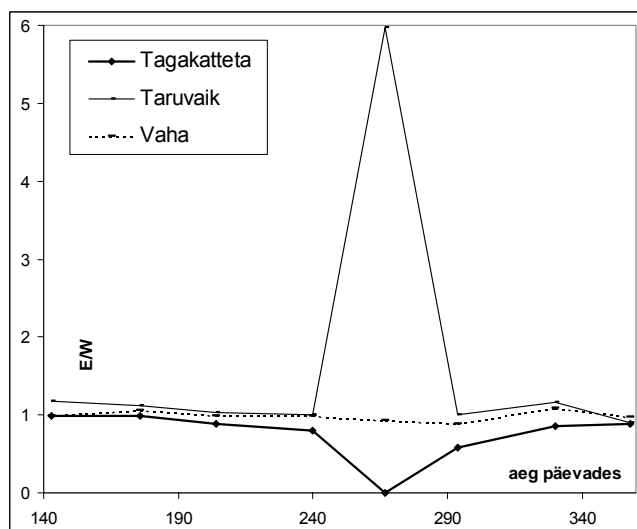
**Joonis 10d.** Tahvlid 9 ja 10.



Isegi kui dielektrilise läbitavuse ja kaalumutuuse seos ei ole päris lineaarne (mida ta sellises väikeses vahemikus praktiliselt on), peaks ligikaudu sarnane muutus toimuma samal materjalil sarnase skeemi järgi. Vaatleme aga väljavõtet olulisest käänupunktist, kus intensiivne niisutav tsükkel asendus intensiivse kuivatava tsükliga (joonis 10). Väljavõtte hõlmab umbes kahte kuud ja sellel on kujutatud nelja tüüpi ST-de massi (% tahvlite massist katse alguses) ning normaliseeritud dielektrilise läbitavuse graafik. Näeme, kui erinevalt käituvad minimaalse ja maksimaalse asümmeetrilise niiskuse gradiendiga tahvlid ning et ka erinevate pinnakatetega tahvlid käituvad erinevalt. Tahvlitel, mis käitusid erandlikult – nimelt rohkem sümmeetrilise niiskusjaotusega tahvlite moodi – oli kahjustusi vähem ja sama pinnakattega VT-de kaardumisindeks oli väiksem. Seega on alust väita, et dielektrilise läbitavuse ( $\epsilon$ ) ja kaalu ( $M$ ) suhe on kõrgem, kui niiskus on jaotunud tahvlis ühtlaselt ning oleme leidnud parameetri, mis võimaldab antud eksperimendis hinnata, kas tahvlis on kujunenud asümmeetriline niiskuse gradient. See on väga otsustav info suurtahtlite kohta, mille pinnakatted on alles testimisel, mille sisse me ei näe ja mille kaardumine ei ole nii suur, et seda saaks kasutada erinevate pinnakatete võrdlemiseks. Võrreldes kõigi tahvlite  $\epsilon/M$  suhte muutumist eksperimendi jooksul, võime näha, et normaaloludes on erinevused väikesed, kuid võivad olla erakordselt ilmekad kriitilises situatsioonis (joonis 11). Teoreetilist põhjendust aitab ehk leida asjaolu, et rööpühenduse korral kondensaatorite mahtuvused liituvad, jadaühenduse korral on kogumahtuvuse pöördväärtus võrdne erinevate kondensaatorite mahtuvuste pöördväärtuste summaga. Ebäühtlane elektrolüüdi jaotus tahvli paksuses sarnaneb pigem mitmele jadaühendatud kondensaatorile (A.R. 2009).

**Joonis 11.** Dielektrilise läbitavuse ja massi suhe kolme tüüpi tahvlite puhul alates 140. katsepäevast.

Veel võib öelda, et pinnakatte hügroskoopsus (nt. Kolorex Akva puhul) või elektrit juhtivad lisandid häirivad seda signaali müra (sellest probleemist põhjalikumalt vt. Lisa 1.8)



Järgmise sammuna sooviti võrrelda omavahel eriliigiliste tahvlite vastuseid keskkonnale erinevatel mõõtekordadel. Selleks seoti ühte parameetrisse kaalumuutus, normaliseeritud kaardumisindeks ja normaliseeritud  $\epsilon/M$  (üksikasjalikumalt vt. Lisa 1.6). Iga materjali kohta arvutati tema kaitsevõime dünaamika indeks ( $KId$ ) erinevatel mõõtmiskordadel, kasutades valemit:

$$KId = \frac{(E - E_{min}) \cdot (M_{maxsuht} - M_{min})}{(M - M_{min}) \cdot (E_{maxsuht} - E_{min})} - \frac{(K - K_{min})}{(K_{max} - K_{min})} - \frac{(M - M_{min})}{(M_{max} - M_{min})}$$

kus

M = Samaliigiliste tahvlite kaalude keskmine antud mõõtekorrall, väljendatuna protsentides nende tahvlite algkaalust katse esimesel päeval

M<sub>min</sub> = Madalaim M kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

M<sub>max</sub> = Kõrgeim M kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

E = Samaliigiliste tahvlite dielektrilise läbitavuse keskmine antud mõõtekorrall

E<sub>min</sub> = Madalaim E kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

E<sub>max</sub> = Kõrgeim E kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

M<sub>maxsuht</sub> = M, mis osaleb maksimaalses  $\epsilon/M$  suhtes vaadeldaval perioodil

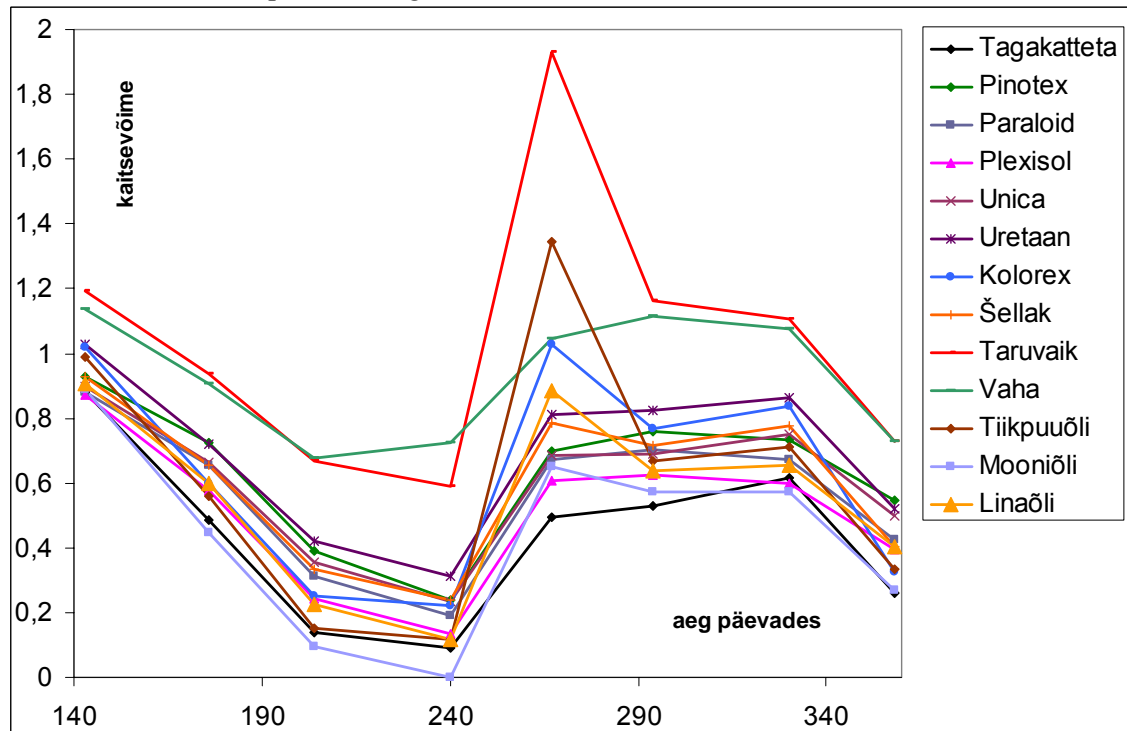
E<sub>maxsuht</sub> = E, mis osaleb maksimaalses  $\epsilon/M$  suhtes vaadeldaval perioodil

K = Antud pinnakattega tahvli kaardumisindeks antud mõõtmiskorrall, kahe referentsi puhul nende keskmine antud mõõtmiskorrall

K<sub>min</sub> = Madalaim K kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

K<sub>max</sub> = Kõrgeim K kõigist mõõtmistest vaadeldaval perioodil

**Joonis 12.** Erinevate pinnakatetega tahvlite kaitsevõime dünaamika indeksid.



Kuna mõningaid andmeid hakati koguma hiljem, saab ühisparameetri arvutada välja 215 päeva jaoks, kuid mitmed olulised kliimakõikumised jäid sellesse perioodi.

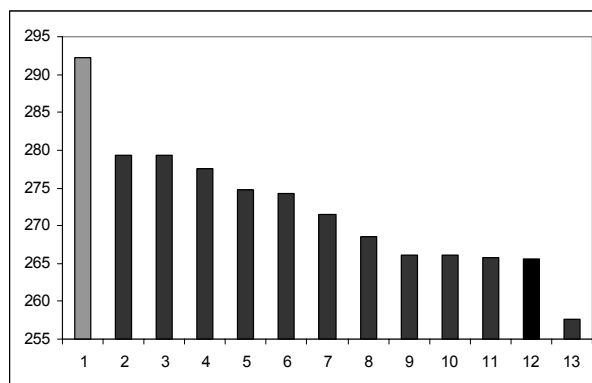
Kui selle parameetri väärtus on kõrge, siis võime arvestada, et antud liiki tahvlites on antud mõõtekorrall niiskus jaotunud ühtlaselt, tahvlid on sirged, aga siiski üsna kuivad, ning kui see parameeter on madal, siis prevaleerivad ebasoodsad mõjud. Näeme, kui omapärane on taruvaigukattega tahvlite käitumine järsul kuivatamisel, võrreldes teiste tahvlitega (joonis 12).

Pärast tutvumist eriliigiliste tahvlite käitumismustritega võib öelda, et mõningatel neist paistab olevat teiste ees selgeid eeliseid ning tekib vajadus veelgi üldistatuma võrdluse järele, mis reastaks pinnakatted. Kogutud andmete hulk on suur ja neid on raske ühtses süsteemis väljendada. Kaalukõikumise üldise diapasoni asemel kasutati olulise näitajana tahvlite seisundile antud numbrilist hinnet. Ülejäänud kaks näitajat selles parameetris olid kaitsevõime dünaamika indeksile sarnased, sest tõepoolest saab kasutada samaliigiliste tahvlite keskmist kaardumisindeksit (soovime, et tahvlid oleksid üldiselt sirged ja nende kaardumisindeksid kõikusid enamasti igaüks oma „riiulis“) ning keskmist dielektrilise läbitavuse ja kaalu suhet (soovime, et tahvlites ei kujuneks niiskuse asümmeetrilist gradienti). Lähemalt sellest parameetrist ja tema arvutuskäigust vt. Lisa 1.7. Tulemuseks on teatav materjalide pingerida (tabel 3 ja joonis 13).

**Tabel 3.** Pinnakatete kaitsevõime.

Asetus	Kaitsevõime	Pinnakate
1	292	Taruvaik
2	279	Uretaan
3	279	Tiikpuuõli
4	277	Pinotex
5	275	Vaha
6	274	Unica
7	271	Kolorex
8	269	Mooniõli
9	266	Linaõli
10	266	Paraloid
11	266	Šellak
12	266	Tagakatteta
13	258	Plexisol

**Joonis 13.** Pinnakatete kaitsevõime diagramm.



Diagrammil vastab iga tulba all olev arv vastava pinnakatte asetusele tabelis 3. See pingerida ei

arvesta materjalide erilisi nõrkusi teatud situatsioonides, mille tõttu võib mõni eespool olev materjal (nagu vaha) rasketes tingimustes siiski ebasobivaks osutada. Küll aga saab väita, et pingerea lõpus olevatel pinnakatetel ei ole potentsiaali ilmutada raskes olukorras ühtäkki suurepäraseid omadusi.

Vaha on näide materjalist, mille näitajad on head ja ometigi tekkisid maalikihis suured kahjustused. Vahale sai saatuslikuks nimelt niiskuskindlus. Vaha oli ainus materjal, millega töödeldud tahvlite kaal ei langenud kogu eksperimendi vältel nende algaalust allapoole. Vaha kui niiskusbarjääri testimisel jõudis Buck (1961) järeldusele, et väga heade niiskustõkkeomadustega materjal võib tahvli peaaegu täielikult isoleerida lühiajaliste kliimakõikumiste mõjudest, kuid osutada hämmastavalt ebaefektiivseks pikaajaliste mõjutuste suhtes. Nii ka antud juhul - kui vähem veekindlad pinnakatted võimaldasid niiskusel auruda siis, kui õhuniiskus, küll niisutava tsükli raames, ajutiselt lühikeseks ajaks langes, siis vaha seda ei võimaldanud. Tulemusena kogunes pika tsükli lõpuks tahvlisse suur hulk niiskust (vt. Lisa 3, kaalumisanndmete graafik), mis järsul kuivatamisel leidis kergema väljapääsutee külgservast krundikihtide vahelt. Seega osutub hästi mõistetavaks Cuany tähelepanek, et vahatatud objektid koguvad niiskust. Vaha oleks väga sobiv liigkuivadesse tingimustesse, näiteks kaitsmaks keskküttega korteris asuvat tahvelmaali. Ka muuseumides, kus stabiilset režiimi võivad häirida lühiajalised avariid, toimiks ta kasulikult.

Taruvaigu kaitsevõime füüsikalised näitajad olid parimad. Eriti üllatav oli see, et ta küll hoiab tahvlite sirget vormi (sama efektiivselt nagu niiskuskindel vaha), aga laseb niiskust välja siis, kui niiskuskindlatel pinnakatetel on sellega raskusi (sel juhul käitudes pigem nagu niiskust kergesti läbi laskev šellak). Mida enam tõuseb õhuniiskus, seda enam väheneb taruvaiguga kaitstud tahvlite kaalutõus, võrreldes muude tahvlitega, s.t. kaal muidugi tõuseb, kuid teistest aeglasemini. Sarnase taruvaiguga töödeldud puidu vastupanu niiskumisele tõusva RH korral on fikseerinud ka Hayashi tema testitud nelja erineva puuliigi puhul (2009, lk. 71), pööramata sellele oma teise rõhuasetusega töös suuremat tähelepanu. Eriti üllatav meie katses on aga tahvli sümmeetriline niiskusjaotus olukorras, kus tahvel on kuivanud läbi tagakülje pinnakatte.

Selline nähtus peab tähendama, et taruvaigu niiskuskindlus on olemuslikult teise mehhanismiga kui lihtviisiliselt umbse vaha puhul. Tuleb järeldada, et tahvel püsib sirge seeläbi, et mingil viisil hoitakse tagakülje pinnakatte lähedal puidus esikülje potentsiaalset kumerust tasakaalustav kogus vett, sest teisiti tahvel nii vähese veesisalduse korral sirge olla ei saa. Kuid milline tegur saab niiviisi vastu töötada niiskuse asümmeetrilise gradiendi tekkele?

Mis eristab – IP-spektris – taruvaiku teistest pinnakatetest, on fenoolsete komponentide rohkus. On tuntud nende võime püüda vabu radikaale ja moodustada laenguülekanedega

komplekse. On teada, et taruvaik võib käituda orgaanilise pooljuhina (Drapak et al. 2004, 2005, 2007). Teisalt on teada, et niiskuv puit muutub isolaatorist juhiks ning meid huvitavas niiskusvahemikus ei ole ta ei üks ega teine. Et temperatuuri tõustes puidu elektrijuhtivus suureneb, järeldeb James (1988), et puidu elektrijuhtivus on vähemalt osalt iooniline (tegemist peab olema laengukandjatega, mille arv või liikuvus soojusenergia läbi suureneb). Mõneteist-protsendilise niiskusesisaldusega puit on p-tüüpi pooljuhile sarnaste omadustega. Põhilisteks laengukandjateks osutuvad seal positiivsed ioonid (Simons et al. 1998). Sellal kui niiskuv puit rikastub liikumisvõimeliste positiivsete laengutega vesilahuses, samas kui negatiivsed ioonid on pigem puidu struktuuri seotud, täieneb ka taruvaik laengutega juhtivustsoonis, sest fenoolsed komponendid lähevad niiskuse tõustes pinnakattest osaliselt lahusesse. Fenoolsed ioonid tekivad vees või nõrgas happes lahustunud metallikompleksidest (Harborne 1968). Nad on head elektronide doonorid. Võib oletada, et nad asuvad moodustama lahuses leiduvate, puidust pärinevate ionidega laenguülekandega komplekse. Võimalik, et lahustunud ja lahuses moodustunud fenoolseid ühendeid ei uhuta puidu sisemusse nende võime tõttu liituda ahelateks, kus erinevate molekulide benseenituumad on seotud üksteisega lapiti. Fenoolsete ühendite iseorganiseerumisvõimet on kirjeldatud mitmetes orgaanilisi pooljuhte puudutavates artiklites, näiteks Boudreault et al. 2007.

Tekib olukord, kus pooljuht (taruvaik) ei lasu enam isolaatoril, vaid otsekui teisel pooljuhil (niiske puit). Laenguülekandega kompleksidest juhtivustsooni lisandunud laengud on kaasatud benseenituumade ühendatuse tõttu taruvaigukihhi ühtsesse süsteemi. Seepeale peaks taruvaik polariseeruma. Vähemalt teatud tingimustel on ka puidul suur kalduvus polariseeruda – selleks peab väline elektriväli varieeruma aeglaselt ning puidu niiskus peab olema vähemalt üle 10% (James 1975). Kahe erineva pooljuhi – või pooljuhi ja elektrolüüdi – kokkupuutepiirkonnas peaks aga moodustuma elektriline kaksikkiht, mistõttu erimärgilised laengud ei saa vabalt seguneda, kuid mõjuvad üksteisele jõuga, mis vastab laengute suurusele. Koos taruvaigu all niiskes puidus leiduvate ionidega hoitakse kinni ka niiskust. Mida enam suureneb niiskuse tungimine tahvlisse, seda enam suureneb jõud, millega osa niiskusest taruvaigukihhi lähedal hoitakse, sest seda enam ilmub taruvaigus laenguid juhtivustsooni. Süsteem toimib otsekui elektrilise kaksikkihi kondensaator. Loodusliku puidu poorne struktuur on samuti soodne sellise kondensaatori toimimiseks (Asakura et al. 2004).

Kontsentratsioonigradiendi alanemise tõttu aeglustub õhuniiskuse tungimine puitu, kuid

aurumine läbi pinnakatte takistatud ei ole. Otseselt sellise mehhanismi abil toimivat pinnakatet ei teata, kuid fenoolsete komponentide võimet muuta järsult materjali elektrijuhtivust on palju täheldatud (orgaanilised pooljuhid sisaldavadki tavaliselt benseenituumaga komponente või vähemalt esineb konjugatsiooni). Näiteks on uuritud teatud troopilise taime seemnekatete toimimist orgaanilise pooljuhina ning on täheldatud pöörduvaid HOMO-LUMO üleminekuid ja elektrilise mälu efekte, mida selgitati kinoidsete struktuuride tekkega fenoolsete ühendite redoksprotsessis (Kipnusu 2009). Samuti on jälgitud erinevate lisanditega rikastatud uretaanide elektriliste omaduste muutusi, mille põhjustajatenä tuvastati uretaanide fenoolsed komponendid (Watanabe 2007). Elastne uretaanmaterjal paindus, olenevalt lisanditest, katoodi või anoodi poole. Kui uretaan oleks olnud fikseeritud ja katood või anood kergesti liigutatav, tekib juba kujutluspilt, mis viitab taruvaigu ja puidus liikuva positiivsete ionide vesilahuse hüpoteetilisele vastasmõjule. Märkusena olgu lisatud, et meie katses olevatel uretaanidel on fenoolseid komponente suhteliselt vähem ning materjalide IP-spektrites avaldus aromaatsete tuumade suur osakaal selgelt ainult taruvaigul.

Eriti huvitav on taruvaiguga tahvlite kuivamisel toimuv. Veendusime, et nende intensiivsel kuivatamisel jäävad tahvlid sirgeks, kuid kaal alaneb jõudsalt ning dielektriline läbitavus võib tõusta ebaproportsionaalselt suureks võrreldes tahvlite kaaluga. Vaatleme uuesti joonist 11, millel näeme 267. katsepäeval fikseeritud taruvaiguga kaitstud tahvlite kõrget dielektrilist läbitavust (kondensaatori mahtuvust) ebaloomulikult väikese tahvlite kaalu (veesisalduse) kohta. Seletus on järgmine.

Olukorrale eelnes pikk ja intensiivne niisutav tsükkel, mis viis puidus palju positiivseid ioone lahusesse ning seejärel intensiivne kuivatav tsükkel, mille käigus paljud neist ionidest kanti koos veega tahvli tagakülje lähedale, kuhu nad pärast vee aurumist otsekui tardunult jäid. Kõigis tahvlites kujunes niiskuse asümmeetriline gradient, kuigi erineva tugevusega. Kuid ööpäeva jooksul enne andmete kogumist anti tahvlitele kõrget õhuniiskust. Me näeme, et tagaküljelt kaitsmata tahvlite niiskusjaotus muutub veel sarnasemeks jadaühendatud erinevatele kondensaatoritele, tekib mitmeid erinevaid gradiente ning suhteline dielektriline läbitavus alaneb. Vahakatte puhul ei toimu mingeid järsked muutusi tahvlite elektrilistes suhtelistes näitajates. Taruvaigukattega tahvlite suhteline dielektriline läbitavus suureneb järsult. See signaal kuulub eeskätt vaadeldava elektrilise kaksikkihi kondensaatori suurenenud mahtuvusele. Niiskusfront viib lahusesse suure koguse positiivseid ioone, mille ta puitu tungides pinna lähedalt leiab, need aga initsieerivad taruvaigus tugeva polarisatsiooni, mis takistab ionide

solvaatkattesse kuuluva vee liikumist sügavamale puitu. Tahvel püsib sirge, sest pinnalähedane niiske puidukiht ei tõmbu kokku. Kuid kogu niiskus ei ole haaratud ionide solvaatkattesse. Tahvel saab aeglaselt niiskuda ja tahvlite kuivatamisel saab puhas vesi takistusteta auruda.

Seega, kui elektriliste jõudude abil hoitakse osa niiskust pinnakatte lähedal puidus, siis on tõepoolest võimalik, et õhuke ja veeauru läbilaskev pinnakate kompenseerib üsna hästi esikülje paksude kattekihtide toimet, hoides tahvli kuju ja mõõtmeid suhteliselt stabiilsena mitmesugustel tingimustel. See on erinevus teistest niiskusel auruda laskvatest pinnakatetest, mille aurumispinna lähedal oleva puidukihi mõõtmed alati kahanevad.

## **6 EKSPERIMENDI TULEMUSTE VAATLEMINE ÜLDISES KONTEKSTIS**

Võib tekkida küsimus, mispärast üldse puiduimmutusõlisisid kasutada. Kui jälgida varem selle kohta avaldatut, siis on tõrvaõli (kresootõli) või põlevkiviõliga immutamine kohane raudteeliiprite ning puitkonstruktsioonide säilitamiseks (üksikasjalikum käsitlus väljaandes Loodusvarade Instituudi avaldised 1940). Toksiliste fenoolide abil välditakse sel viisil seen- ning putukkahjustusi. Sellise töötuse eesmärgiks ei ole immutatud puitdetailide ruumala võimalikult konstantsena hoidmine, millisest eesmärgist kunstiteoste puhul ei ole võimalik mööda vaadata. Liiprite kasutusaeg pikeneb tõepoolest 4 kuni 5 korda (Ussisoo ja Veski 1943), kuid tahvelmaal on keerukam süsteem esikülje maalikihtide ja asümmeetrilise niiskusvahetuse tõttu. Seega, kui Eesti Muinsuskaitseameti töötajad aegajalt teevad ettepanekuid immutada ikoone tagaküljelt tõrvaõliga, on seejuures silmist lastud põhiline eesmärk. Ka Unger (2001) mõnab vedelatest puidukaitsevahenditest rääkides tõrvaõli häid fungitsiidseid omadusi, kuid lisab samas, et see muudab puidu värvi, õli hakkab välja immitsema, ilmub ebameeldiv lõhn, vahend on inimestele mürgine ning et vahendit ei tohi kasutada siseruumides ega kultuuriväärtuste säilitamisel.

Kui materjalid oleksid elusolendid ja neile jagataks auhindu mainekujunduse eest, siis peaauhinna saaks kindlasti linaõli ja temaga koos värnits - kuumutatud ja puhastatud linaõli. Olgu siinkohal toodud niisugune tsitaat: "...Värnitsaga töödeldud puidus olnud

lõhed sulguvad või vähenevad, samuti impregneerib see puitu ja muudab viimase ka vähem "mängivaks" ehk mikrokliima mõjul kõverduvaks. Näiteks norralaste tugevalt üle saja aasta merekõlblikuna hoitud puidust "muinsuspaatide" saladus on igakevadises värnitsa või linaõliga ülekäimises..." (Vabar 2003). Linaõlil on parima mõeldava naturaalse ja ohutu materjali kuvand. Meeleldi räägitakse tema väikesest molekulist, mis jõuab sügavale puitu (nt. Nagel ja Tammert 2003). Väidetakse lausa, et linaõlivärvi alla ei ole vaja mingeid hallitusevastaseid materjale (Tamm 2005) – kui see lause ka ei ole mõeldud vihjena antiseptilisele toimele, on ta sellena tõlgendatav. Linaõlivärnits on ainus immutusaine, mida Eesti Muinsuskaitseamet soovib vanade akende taastamisel ja ka ainus soovitatav värvkatte sideaine (Loit 2010). Iseloomulik on, et kui linaõli puiduhooldusega seotud materjalides soovitatakse, siis ei lisata sellele konkreetseid katseandmeid, veel vähem linaõliga tehtud võrdluskatsete andmeid teiste materjalide suhtes. Kasutamise piisavaks pooltargumendiks loetakse, et nii tehakse Skandinaavias ja juba ammu.

Nii juhtuski, et Varnja ikoonide restaureerimiskavades kooskõlastas Muinsuskaitseamet 2006.a. värnitsa kasutamise tagakülje pinnakattena (õlisisi ka restaureeritud ikoonide kaitseks ei kasutatud).

Katses vaatlesime, kuidas õlid puitu kaitsevad ja jõudsime esmapilgul üllatavate tulemusteni – ükski neist ei toiminud. Koguni tiikpuiduõli, mida ometi tootja soovib õuemööbli, paatide välimise puitpinna jms. töötlemiseks, on niisama viletsa kaitsevõimega kui tema sugulased. Õlidega kaitstud tahvlid kõverdusid kõige enam, kahjustused arenesid kergesti, mingit lõhede sulgumist (tahvel 30 pakkus hea võimaluse) ei õnnestunud samuti täheldada. Mis puutub "lõhede sulgumisse", siis kindlasti võivad väiksemad lõhed puidu mahulistel muutustel kuivamisel kahaneda täiesti märkamatuks, kuid arusaadavalt ei saa kuivatatud puitu kord juba tekkinud lõhe sulguda kinnikasvamise mõistes ning uue kliimakõikumise korral avaneb lõhe veelgi enam (see kehtib ka teiste sarnaste defektide kohta – näiteks võis antud katses täheldada mitmete maalikihi krakelüüride kadumist tahvli kuivamisel ja taasilmumist paisumisel – ja mõnedes uurimustes selliste defektide ilmumist ja kadumist spetsiaalselt jälgitaksegi nagu nt. Bratasz et al. 2007).

Kuid ülistuskõned ei ole ainus, mida puiduimutusõlide kohta on võimalik leida.

Meenutame Ungeri sõnu, et linaõlil restaureerimises immutusainena tänapäeval tähtsus puudub. Võrdluskatsetele tuginevad soovitused asetavad puiduimutusõlid

niiskuskaitse üsna madalale positsioonile. Juba 1926. aastal mitmete pinnakatetega tehtud võrdluskatsetes avaldatakse häämmastust erinevatel viisidel, ka surve all pealekantud linaõli kui niiskusbarjääri täieliku ebaefektiivsuse üle (Dunlap). Raamatus „Puiduteadus“ on avaldatud tabel (Saarman ja Veibri 2006) mitmeaastasest katsest puidust paneeli veeimavuse uurimiseks kaetud ja katmata otsapindade korral. Õlide kaitsev toime kadus mõne kuuga. Ka Rowell ja Youngs (1981 – Schniewindi järgi 1984) on uurinud levinumate puidu pinnakattesüsteemide võimet niiskust tõrjuda. Väljendatuna skaalal 0 – 100%, oli maksimumile lähedal alumiiniumleht/lakk (90%), tavaline kahekihiline lakk annab kaitse 50-85%, immutusõlide toimet väljendab 10%. Tahvelmaali kaitsmiseks ei piisa 10% toimest sugugi, kui on tegemist ebastabiilsete tingimustega ning tahvli mõõtmed ei tohiks muutuda. Kuivavate õlide toime on mõnevõrra parem (Dunlap fikseeris linaõli puhul 17%), kuid ka Rivers ja Umney (2003) väidavad, et puhtast linaõlist koosnev pinnakate kaotab kaitsva mõju välistingimustes nädalatega ning vaid koos pigmentidega kasutamine annab häid tulemusi. Samuti on läbi katsetatud puidu keetmine õlis ning leitud, et põhiliselt parandab puidu omadusi sel juhul kuumtöötlus ise, mille mõjul toimuvad puidus keemilised reaktsioonid ja oluline on seejuures mitmetunnine temperatuur vahemikus 180-200 C (Wang, Cooper 2005). Puidu hügroskoopsus võib väheneda ligikaudu poole võrra. Niisugune toime saavutamiseks ei pea aga kuumutama tingimata õlis. 40% saab vähendada puidu mõõtmete ebastabiilsust, kui kuumutada puitu lühiajaliselt hapniku juurdepääsuta 350 C juures - või tundide jooksul pisut mahedamal režiimil, kuid kuna töötusega kaasneb puidu tugevuse kahanemine, ei ole see laialt levinud (Rowell ja Youngs 1981). Seega, puidu tugeval kuumutamisel paraneb mõõtmete stabiilsus nagu täheldatakse ka Võrumaa Kutsehariduskeskuse õppematerjalides (2009). Käesoleva töö autori arvates viis ikoonitahvlite jaoks mõeldud puidu õlis keetmiseni idee kuumutada puit veevabaks. Vesikeskkonnas ei ole see võimalik, õhukeskkonnas on süttimise oht, kuid õli sobis. Valmis kunstiteost aga läbi keeta ei saa ja lihtsalt kuuma õliga (mis juba puidule pealekandmisel tugevasti jahtub) impregneerimine ei suuda puidu struktuuris soodsaid muutusi esile kutsuda. Lisaks sellele on maalingu sisse laienevad õlilaigud kunstiväärtuste puhul lubamatud. Õlidega ning õli-vaigu segudega immutamise kahjulikest mõjudest on ilmunud selline asjatundlik uurimus nagu Schönemanni, Eisbeini jt. artikkel ajaloolistest konsolidantidest (2008).

Õlivärvikiht või mõnel muul sideainel baseeruv pinnakate, mis sisaldab pigmente, on küll hea niiskusbarjäär (Dunlap 1926), kuid seda mitte sideaine vaid just täiteaine tõttu,

mis annab pinnakattele massi ja muudab niiskuse tee pikaks ning vaevaliseks, analoogiliselt liimi-kriidikrundiga meie katse väiketahvlitel. Tsiteerides Nagelit ja Tammertit (2003), kuna värvikihi vastupidavus sõltub reeglipäraselt pigmenteerituse astmest, ei sobi transparentne värvikiht tugevalt niiskuvatele puitdetailidele, sest ei anna küllaldast kaitset. Kattevärvid aga jäävad antud uurimuse teemast kõrvale, kuna otsime mälestistele sobivat läbipaistvat pinnakatet.

Vaadelgem aga negatiivseimate üllatajate kõrval ka positiivseimat üllatajat. Kuigi eelpool elektriliste vastasmõjude kohta öeldu on veel hüpotees, on antud töös kindlaks tehtud, et taruvaik kui pinnakatematerjal näitas väga häid kohanduvaid kaitseomadusi. Lisaks sellele on ta puidu pinnalt kergesti eemaldatav piirituse abil. Tema puuduseks on läbipaistev punakaspruun toon, kuid mõningatel juhtudel võib see olla restaureerimisel isegi lubatud, näiteks kui tahvlite tagaküljed olid ka eelnevalt sarnaselt toonitud, seega võinuks selline töötlus ka Varnja ikoonide stabiliseerimiseks sobida.

Huvitav on mõtiskleda vastava kattega puidu akustiliste omaduste üle. Mida tihedam ja ühtlasem on puit, seda paremad on ta resonantsiomadused. On leitud selge korrelatsioon akustilise emissiooni sensori näidu ja puidu paisumise vahel vee või mõne muu paisutava lahusti mõjul (Rice ja Kabir 1992). Niiskusesisalduse kasv aeglustab heli liikumise kiirust puidus (Võrumaa Kutsehariduskesuse õppematerjalid, 2009). Kui me kujutame ette puitu, milles on välja kujunenud niiskuse asümmeetriline gradient, siis peab ta olema ebaselgema ja ebahühtlasema kõlaga kui sama liiki, ühtlaselt jaotunud niiskusega puit, sest temas tekivad tsoonid, milles heli liikumise kiirus on erinev. Seega pinnakate, mis tagab puidus ühtlase ja suhteliselt madala niiskusjaotuse, mõjub hästi nii tema säilivusele kui kõlale ja legend taruvaigust kui Stradivari kasutatud pinnakattest võib sellest tõesti veidi uut tuge leida. Uuemal ajal on püütud taruvaiku muusikariistade katmiseks mõeldud kuumalt valmistatavate segude lisandina kasutada, aga väga võimalik, et häid tulemusi võiks saavutada kahekihilise süsteemiga, milles alumine kiht oleks alkoholis toatemperatuuril lahustatud taruvaik.

## 7 JÄRELDUSED

Mesilased teevad täiesti õigesti, kasutades taruvaiku puidu lakkimiseks.

Kui 17. - 18. sajandi viiulimeistrid tõepoolest juhindusid puidulaki valikul tähelepanekutest selle materjali heade omaduste kohta, mida mesilased kasutavad kattekihina, siis otsustasid nad täiesti õigesti.

Tänapäeva inimesed ei tee õigesti, kujutledes rasketes tingimustes vajalikke niiskustõkkeomadusi olevat materjalidel seoses sellega, et nad on adhesiivsed või kasutusel restaureerimises konsolidantidena või lihtsalt naturaalsed. Ei ole raske ette kujutada naturaalselt ainet, millel pinnakattena kaitsvad omadused puuduvad. Samuti on erinevad sünteetilised ja poolsünteetilised materjalid väga erinevate omadustega.

Valedest ettekujutustest lähtuv väärarvamus pinnakatte osas võib hävitada hindamatuid kultuuriväärtusi ja muuta mõttetuks mitmete restauraatorite mitme aasta töö. Siinkohal on sobivaks näiteks taas Varnja vanausuliste palvela ikoonid. Tartu Ülikooli teadlased andsid ekspertarvamuse, milles kinnitati Pinotex Ultra sobivust ka muinsuskaitsealuste ikoonide maalinguta külgede pinnakattena, tõstes esile muuhulgas biotsiidisisaldust ja tuues välja muid, struktuuriga seonduvaid eeliseid pinnakatteks pakutud Paraloid B72 ees. Sellele vaatamata otsustas Eesti Muinsuskaitseameti Kunstimälestiste Ekspertnõukogu jääda oma seisukoha juurde ning nõudis kategooriliselt ikoonide katmist Paraloid B72 ga, mida ka tehti. Seejuures ei avaldanud nõukogu mingeid tehnoloogilisi põhjendusi ega arvestanud, et samas palvelas sama materjaliga kaetud varasem restaureerimistöo oli näidanud, et Paraloid B72 antud tingimustes niiskuskaitseks ei toimi. Magistritöös läbiviidud katseseeria põhjal ilmnes, et lisaks teistegi uurijate poolt tuvastatud halvale niiskuskindlusele on puidule kantud Paraloid B72 efektiivne pinnalähedaste reaktsioonide initsiaator. Paraloid B72 toimel tekivad pinnakatte alla puitu tekivad lokaalsed vaba vee kogumid. Neis kasvavad soolakristallid lõhuvad ümbritsevate materjalide struktuuri, halvendavad pinnakatte kontakti puiduga ning avavad tahvli tagaküljelt veelgi enam välismõjudele. Me võime arvestada, et "eksperimendis" osalevad enam kui poolsada muinsuskaitsealust ikooni on niisketes, ebastabiilsetes tingimustes ja vähimagi hallituskaitseta ning loomse liimiga tehtud maalikihi kinnitusteni esiküljel jõuab niiskus peaaegu takistusteta, suures koguses ning tahvlite vormi vahelduvalt deformeerides. Käesoleva magistritöö eksperimendis Paraloidiga tagaküljelt kaetud katsetahvritel tekkinud maalikihi krakelüürid viitavad oodatavatele arengutele. Seejuures võib arvestada restaureeritud ikoonide suurema

tundlikkusega. Lisaks sellele on mälestiste tagakülje originaalilme moondunud ebaühtlase paksusega, läikiva kattekihi läbi, mis küll ülaltooduga võrreldes on väike iluviga, kuid restaureerimiseetika seisukohast tarbetu, välditav ja jõhker moonutus.

Seega võib järeldada, et eriti olukorras, kus otsustamiseks ei ole nii palju aega, et korraldada materjalidega pikaajalisi katsetusi, on mõtet kuulda võtta teadlaste arvamust. Antud uurimuse põhjal võib soovitada tahvelmaalide maalinguta külgede pinnakattena taruvaiku või Pinotex Ultrat, olenevalt karmimatest või leebematest nõuetest pinnakatte värvitoonile. Ka uretaanalküüdide kasutamist võiks kaaluda, kui õnnestuks leida selline uretaanlakk, millel on väga hea adhesioon puitpinnaga, vastasel juhul tekivad aga soovimatud ühendid.

Loodetavasti on antud magistritööst kasu kunstisõpradele, tahvelmaali harrastajatele ja inimestele, kes huvituvad kunstimälestiste säilitamisest sügavuti.

## 8 KOKKUVÕTE

Töös uuriti erinevate, tahvelmaali mudelite maalinguta osadele kantud pinnakatete mõju rasketesse kliimatingimustesse viidud tahvelmaali mudelitele. Tähelepanu pöörati mõnede pinnakatete toimimise varem kirjeldamata mõjusid tahvlite stabiilsusele, välimusele ja maalikihtidele. Selgus, et pinnakatted toimivad olulisel määral erinevalt tahvlite stabiilsusele ja maalikihtide säilimisele ning et pinnakatte kaitsevõime ei ole lihtsustatav pinnakatte mõne üksiku parameetri, nagu nt. niiskuskindlus, tähtsustamisele, vaid on kompleksne ning nõuab pinnakatetelt erinevate omaduste avaldumist erinevatel tingimustel.

Esitati hüpotees elektrilise kaksikkihi tekkest niiskuvate puittahvlite pinnakatte lähedastes puidukihtides pooljuhtiva pinnakatte mõjutusel, lähtudes taruvaiguga seotud katsetulemustest. Seda hüpoteesi tuleb katseliselt veel kontrollida.

Taruvaigu toimet pinnakattena tuleks täiendavalt uurida, kasutades erinevatest piirkondadest pärit erineva koostisega lähteainet, identifitseerides komponendid, katsetades taruvaiku koos erinevate lisanditega ning varieerides taruvaigu kontsentratsiooni lahuses, mis praeguseks läbiviidud eksperimendis oli pigem juhuslik. Uurida tuleks veel, milline konserveeriva toimega reaktsioon toimub puidule kantud šellaki ja  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  vahel ning mispärast võib sama aine halvendada uretaanlakkide kaitseomadusi.

Põhjalikumad uurimised vajavad ka mõnede pinnakatete, eriti Paraloid B72-ga seotud pinnalähedaste reaktsioonide produktid.

Ekspriimentide abil tuleks täpsustada, kui suures ulatuses mõjutab niiskuse ebaühtlane jaotus puidu dielektrilist läbitavust sama kaalulise niiskusesisalduse juures massiühiku kohta ning kuidas see on seotud dielektrilise läbitavuse mõõtmisviisiga.

## 9 KASUTATUD KIRJANDUS

1. A.R. (2009) Isiklik suhtlus ELFA elektroonikafoorumis aadressil:  
<http://www.elfaelektroonika.ee/foorum/threads/43783-laengukandjate-%C3%BChtlane-jaotumus-maatriksis/page2>
2. Abdel-Kareem O. (2000) Microbiological testing of Polymers and resins used in conservation of Linen Textiles. *Conservation and Restoration in Art and Architecture. 15th World Conference on Nondestructive Testing Roma (Italy) 15-21 October 2000.* Lehekülj internetis: <http://www.ndt.net/article/wcndt00/toc/cons.htm>, viimati alla laetud 16. mail 2010.
3. Allegretti O. ja Raffaelli F. (2008) Barrier Effect to Water Vapour of Early European Painting Materials on Wood Panels. *Studies in Conservation* **53**, lk. 187–197.
4. Asakura R., Kondo T., Morita M., Hatori H. ja Yamada Y. (2004) Electric double-layer capacitor characteristics of activated wood charcoals. *Tanso* **215**, lk. 231-235. Lehekülj internetis: [133.5.207.189/paper/2004-1.pdf](http://133.5.207.189/paper/2004-1.pdf).
5. Bahiense C. T., Kamp Fernandes É. K. ja Pinheiro Bittencourt V. R. E. (2006) Compatibility of the fungus *Metarhizium anisopliae* and deltamethrin to control a resistant strain of *Boophilus microplus* tick. *Veterinary Parasitology* **141** (nr. 3-4, 5, november), lk 319-324.
6. Berger G.A. ja Russell W.H. (2005) *Conservation of Paintings: research and innovations*. Archetype, London.
7. Bisacca G. (1998), Treatment of a Nativity by Francesco di Giorgio Martini. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995*, (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 341 - 358. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
8. Blanchette R. A. (1998) A Guide to Wood Deterioration Caused by Microorganisms and Insects. Kogumikus: *The structural conservation of panel paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995*, lk. 55 - 68. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
9. Boudreault, P.-L. T, Wakim, S., Blouin, N., Simard, M., Tessier, C., Tao, Y. and Leclerc, M. (2007) Synthesis, characterization, and application of indolo[3,2-b]carbazole semiconductors. *Journal of the American Chemical Society* **129**, lk. 9125–9136.

10. Bratasz Ł., Jakiela S. ja Kozłowski R. (2005) Allowable thresholds in dynamic changes of microclimate for wooden cultural objects: monitoring *in situ* and modeling. Kogumikus: *Triennial meeting (14th), The Hague, 12-16 September 2005: preprints. Ed. I*, lk 582-589. Earthscan, London.
11. Bratasz Ł., Kozłowski R., Camuffo D. ja Pagan E. (2007) Impact of indoor heating on painted wood: monitoring the altarpiece in the church of Santa Maria Maddalena in Rocca Pietore, Italy. *Studies in Conservation* **52**, lk. 199-210.
12. Brewer, J. A. (1991) Effect of selected coatings on moisture sorption of selected wood tests panels with regard to common panel painting supports. *Studies in Conservation* **36**, lk. 9-23.
13. Bria C. F (1986) The History of the Use of Synthetic Consolidants and Lining Adhesives. *WAAC Vol 8, No 1* (jaanuar), lk. 7-11.
14. Buck, R.D. (1952) A note on the effect of age on the hygroscopic behaviour of wood. *Studies in Conservation* **1**, lk. 39-44.
15. Buck, R.D. (1961) The use of moisture barriers on wood panels. *Studies in Conservation* **6**, lk. 10-21.
16. Camuffo, D., Sturaro, G., Valentino, A. ja Camuffo, M. (1999) The conservation of artworks and hot air heating systems in churches: are they compatible? The case of Rocca Pietore, Italian Alps. *Studies in Conservation* **44**, lk. 209 – 216.
17. Cao, Y.H., Wang, Y. and Yuan, Q. (2004) Analysis of flavonoids and phenolic acid in propolis by capillary electrophoresis. *Chromatographia* **59**, lk. 135–140.
18. Cohen L. B. (2004) Adhesion Promoter Use in Coatings. *Handbook of Coatings Additives* (koostajad Florio J. J. ja Miller D. J.) lk. 145-158. Marcel Dekker, New York.
19. Coughlin, R. (2004) Corrosion Inhibitors. *Handbook of Coatings Additives* (koostajad Florio J. J. ja Miller D. J.), lk. 127–144. Marcel Dekker, New York.
20. Dionisi Vici P., Mazzanti P. Ja Uzielli L. (2006) Mechanical response of wooden boards subjected to humidity step variations: climatic chamber measurements and fitted mathematical models. *Journal of Cultural Heritage* **7**, lk. 37–48.
21. Drapak S. I. (2007) Spectral luminescence properties of bee glue (propolis). *Technical Physics* **52** (nr. 8, august) lk. 1036-1039.
22. Drapak S. I., Drapak I. T. ja Kovalyuk Z. D. (2004) Optical and Electrical Properties of Propolis Films. *Technical Physics*. **49** (nr. 11), lk. 1529–1530

23. Drapak S. I., Bakhtinov A. P., Drapak I. T., Kovalyuk Z. D. ja Tovanitsky M. V. (2005) Optical and Photoelectronic Properties of Propolis-layered Semiconductor (p-InSe) Heterojunction. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* Vol. **7**, No **2** (Aprill), lk. 801–804.
24. Dunlap M.E. (1926) Protecting Wood from Moisture. *Industrial and Engineering Chemistry*. **18** (Nr. 12), lk. 1230-1232.
25. Echard J.-P. ja Lavédrine B. (2008) Review on the characterisation of ancient stringed musical instruments varnishes and implementation of an analytical strategy. *Journal of Cultural Heritage* **9**, lk. 420 – 429.
26. Florian, M.-L. (2002) *Heritage eaters : insects & fungi in heritage collections*. James & James, London.
27. Florio, J. J. (2004) Catalysis of Urethane Systems. *Handbook of Coatings Additives*, (koostajad Florio J.J. ja Miller D.J.), lk. 1-30. Marcel Dekker, New York.
28. Fulton W. (1997) Propolis Soap – Used as a Ground for Violin Varnish, väljaandes: *SCAVM Bulletins (juuli)*, Lehekülg internetis: <http://www.scavm.com/Fulton.htm>.
29. Garedew A. (2003) Microcalorimetric and Microbiological in vitro Investigations on the Acaricidal, Insecticidal, and Antimicrobial Effects of Propolis. Dissertatsioon leheküljel internetis: [http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS\\_thesis\\_000000001164](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000001164)
30. Grenberg, J.I. (1987) *Технология, исследование и хранение произведений станковой и настенной живописи*. Государственный научно-исследовательский институт реставрации, Moskva.
31. Hagenmaier R.D. ja Shaw P.E. (1991) Permeability of Shellac Coatings to Gases and Water Vapor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **39**, Nr. 5 (Mai), lk. 825-829.
32. Harborn J., koostaja (1968) *Биохимия фенольных соединений*. Mir, Moskva.
33. Hayashi, M. (2009) *The Effect of Preservative Interventions on the Chemical-Physical and Structural Characteristics of Panel Painting*. Lehekülg internetis: <http://amsdottorato.cib.unibo.it/2270/> (viimati alla laetud 16. mail 2010)
34. Heras Alarcon C.M., Lopez A., Barandiaran M.J., Asua J.M. ja Keddie J.L. (2007) Structure of Alkyd/Acrylic Nanocomposite Films. *Posters of Coatings Science International 2007, Poster Contribution 35*. Lehekülg internetis: <http://www.coatings-science.com/history/2007/apc07.html>

35. Higgitt C. (2008) *Propolis (bee glue): an unusual mordant for gilding in Italian renaissance paintings?* Lehekülg internetis: [http://www.eu-artech.org/files/Ext\\_ab/Higgitt.pdf](http://www.eu-artech.org/files/Ext_ab/Higgitt.pdf) (viimati alla laetud 19. mail 2010)
36. Hoadley R. B. (1978) The dimensional response of wood to variation in relative humidity. Kogumikus: *Conservation of wood in painting and the decorative arts: preprints of the contributions to the Oxford congress, 17-23 September, 1978* (koostajad Brommelle N.S., Moncrieff A. ja Smith P.), lk. 1-6. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
37. Hoadley R. B. (1998) Chemical and Physical Properties of Wood. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995*, (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 2–20. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
38. Horie C. V. (1987) *Materials for Conservation*. Butterworths, London.
39. Husain Raushan, Husain Raghib, Adhami V.M. ja Seth P. K. (1996) Behavioral, neurochemical, and neuromorphological effects of deltamethrin in adult rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, Vol. 48, No 5 (Juuli), lk. 515 - 516
40. Hyun Lee G., Jin Y., Lee S.n, Gun Lee J., Young Kim J., Lee K., Jin S.-H., Ha C.-S., Won M.-S., Kang S.-W. ja Suh H. (2002) Organic Electroluminescent Devices Based on Polyurethane Derivatives Having Substituted Stilbene Pendants. *Bull. Korean Chem. Soc.*, Vol. 23, No. 3, lk. 528-530.
41. Iglesias J., García de Saldaña E. ja Jaén J. A. (2001) On the Tannic Acid Interaction with Metallic Iron. *Hyperfine Interactions* **134** (1), lk. 109-114.
42. Ilomets T. ja Timotheus H. (2007) *Ekspertarvamus ikoonide tagakülje pinnakatte kohta*. Tartu Ülikooli katsekoda, Tartu.
43. Ioanid G. E., Parpauta D. ja Vlad A.-M. (2005) The Electrostatic Behaviour of Materials Used in Restoration-Conservation Process. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* **7** (nr. 3, juuni), lk. 1643 – 1649
44. Jabrova R. R. (1976) Клеи, связующие, пластификаторы и пленкообразующие, применяемые при реставрации живописи. *Основы музейной консервации и исследования произведений станковой живописи*, (koostaja Grenberg J. I.) lk. 191 – 221. Искусство, Moskva.
45. Jaeschke R.L. ja Jaeschke H.F. (1990) The Cleaning and Consolidation of Egyptian Encaustic Mummy Portraits. Kogumikus: *Cleaning, Retouching and Coatings*.

- Preprints of the Contributions to the Brussels Congress, 3 - 7 September 1990*, lk. 16–18. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
46. James, W.L. (1975). Dielectric properties of wood and hardboard: variation with temperature, frequency, moisture content, and grain orientation. *USDA Forest Service Research Paper FPL 245*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.
  47. James, W.L. (1988) Electric moisture meters for wood. *Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-6*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.
  48. Kappock P. S. (2004) Biocides: Wet State and Dry Film. *Handbook of Coatings Additives*, (koostajad Florio J.J. ja Miller D.J.) lk. 261–296. Marcel Dekker, New York.
  49. Kim J., Kim S. J., Kang S. G., Park Y. K. ja Jung S. T. (2001) *Chemical composition and biological activities of various propolis*. Mokpo National University, Muan-Gun, South Korea. Lehekülj internetis:  
[http://ift.confex.com/ift/2001/techprogram/paper\\_8474.htm](http://ift.confex.com/ift/2001/techprogram/paper_8474.htm)
  50. Kipnusu W.K., Katana G., Migwi C.M., Rathore I.V.S ja Sangoro J.R. (2009) Electrical Switching in Thin Films of Nandi Flame Seed Cuticles. *International Journal of Polymer Science*, Vol. **2009**, lk. 1-10.
  51. Koller M. (1990) Care of Polychromy and Paintings on Austrian gothic and Baroque Retables in Non-Museum Environments. Kogumikus: *Cleaning, Retouching and Coatings. Preprints of the Contributions to the Brussels Congress, 3 - 7 September 1990*. lk. 41-42. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
  52. Konsa K. (2007) *Artefaktide säilitamine*. Tartu Ülikool, Tartu.
  53. Kumazawa S., Ueda R., Hamasaka T., Fukumoto S., Fujimoto T. ja Nakayama T. (2007) Antioxidant Prenylated Flavonoids from Propolis Collected in Okinawa, Japan. *J. Agric. Food Chem.*, **55** (19), lk. 7722–7725.
  54. Legrum J. P. (1994) Ambient atmospheric conditions as a significant factor in the conservation of an altarpiece by Konrad von Soest in its original location, kogumikus: *Preventive conservation : practice, theory and research : preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*, (koostajad Roy A. ja

- Smith P.) lk. 104 – 109. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
55. Little R.W., Church J.M. ja Coppick S. (2002) Commercial application of flame-resistant finishes. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. **42**, Nr. 3, lk. 432 – 440.
  56. Loit M. (viimati alla laetud 21. mail 2010) *Akende ajalugu, puitaken ja selle remontimine*. PDF leheküljel internetis: <http://www.miljooala.ee/?id=1491>.
  57. May E. ja Jones M., koostajad (2006) *Conservation Science: heritage materials*. RSC Publishing, Cambridge.
  58. Mills J. S. ja White R. (2006) Natural resins, Raamatus: *The organic chemistry of museum objects*, 2. tr., Butterworth-Heinemann, Oxford, lk. 95-128.
  59. Mills J. S. ja White R. (2006) Synthetic materials, Raamatus: *The organic chemistry of museum objects*, 2. tr., Butterworth-Heinemann, Oxford, lk. 129-140.
  60. Mukhopadhyay R. (2007) How Stradivari and Guarneri got their music. *Analytical Chemistry* **79**, lk. 819-820.
  61. Mäeväli S. ja Tromp E. (2008) *Tallinna Toomkiriku epitaafid*. Tallinna Toomkiriku epitaafe konserveerinud töökoda : Tallinna Piiskoplik Toomkogudus, Tallinn.
  62. Nagel, P. ja Tammert, M. (2003) Puitfassaadid – värvida või mitte? *Ehitaja lisa, puit ehituses*. Lk. 31-39.
  63. Nikitin M.K. ja Melnikova E.P. (1990) *Химия в реставрации*. ХИМИЯ, Peterbur.
  64. Peets H. (2005) Lehekülg internetis: <http://www.kanut.ee/loengud/loeng01.pdf>, viimati alla laetud 24. novembril 2009.
  65. Pertsev N. V. (2001) *Материалы по реставрации*.. Palace Editions, Peterbur.
  66. Plakk T. (2008) Percometer – a capacitive probe instrument for soil dielectric constant and conductivity measurement and monitoring. Kogumikus: *International Conference on Metrology of Environmental, Food and Nutritional Measurements 9.-12.09.2008, Budapest, Hungary*, lk.17 - 19. IMEKO - MEFNM2008, Budapest.
  67. Plakk T. (viimati alla laetud 16. mail 2010) Teooria. Lehekülg internetis: <http://www.adek.ee/index.php?page=68>
  68. Plather U. (2006) The St. Olav from Fresvik and the St Paul from Gausdal: Two Medieval Polychromed Sculptures, kogumikus: *Medieval Painting in Northern Europe: techniques, analysis, art history*, (koostajad Nadolny J. ja Kollandsrud K.) lk. 28 – 33. Archetype, London.

69. Plummer P. ja Hulbert A. (1990) English Polychromed Church Screens and the Problems of Their Conservation in situ, kogumikus: *Cleaning, Retouching and Coatings. Preprints of the Contributions to the Brussels Congress, 3 - 7 September 1990*, lk. 47–51. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
70. Pott R. (2005) *Allgemeine geobotanik: biogeosysteme und biodiversität*. Springer, Berlin.
71. Price C. ja Brimblecombe P. (1994) Preventing salt damage in porous materials, kogumikus: *Preventive conservation : practice, theory and research : preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*, (koostajad Roy A. ja Smith P.) lk. 90 – 93. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
72. Puusaag E. (1991) *Puit ja puitmaterjalid*. Eesti Metsatööstus, Tallinn.
73. Quye A. ja Williamson C. (1999) *Plastics. Collecting and Conserving*. NMS Publishing, Edinburgh.
74. Relve H. (1981) *Vahtral on sünnipäev sügisel*. Valgus, Tallinn.
75. Rice R. W. ja Kabir F. R. A. (1992) The acoustic response of three species of wood while immersed in three different liquids. *Wood Science and Technology* **26** (nr. 2, jaanuar), lk. 131-137.
76. Richard M., Mecklenburg M. ja Tumosa C. S. (1998) Technical Considerations for the Transport of Panel Paintings. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995*, (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 525–556. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
77. Rivers S. ja Umney N. (2003) *Conservation of Furniture*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
78. Roos A. (aasta märkimata) Puit ja puitmaterjalid. (Materjaliõpetuse I kursus) Lehekülg internetis: [www.furnitureindustry.ee/failid/Ando\\_Roos.pdf](http://www.furnitureindustry.ee/failid/Ando_Roos.pdf), viimati alla laetud 1. märtsil 2009.
79. Rothe A. ja Marussich, G. (1998) Florentine Structural Stabilization Techniques. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995*, (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 306 - 313. Getty Conservation Institute, Los Angeles.

80. Rowell R.M. ja Youngs R.L. (1981) Dimensional Stabilization of Wood in Use. *Research Note FPL-0243*. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Lab.
81. Saarman E. ja Veibri U. (2006) *Puiduteadus*. Eesti Metsaselts, Tartu.
82. Savickas A., Majiene D., Ramanauskiene K., Pavilionis A., Muselik J., Masteikova R., ja Chalupova Z. (2005) Chemical composition and antimicrobial activity of Lithuanian and Czech propolis. *Biologija* **4**, lk. 59-63
83. Schniewind A. P. ja Arganbright D. G. (1984) Coatings and Their Effect on Dimensional Stability of Wood. *WAAC* Vol **6**, Nr **2** (mai), lk. 2-5.
84. Schniewind A. P. (1998) Consolidation of Wooden Panels. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 87–107. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
85. Schramm H. P. ja Hering B. (1995) *Historische Malmaterialen und ihre Identifizierung*.
86. Schönemann A., Eisbein M., Unger A., Dell'mour M., Frenzel W. ja Kenndler E. (2008) Historic Consolidants for Wooden Works of Art in Saxony. *Studies in Conservation* Vol 53, No **2**, lk. 119 - 121.
87. Sharma S. K., Shukla S. K. ja Vaid D. N. (1983) Shellac - Structure, Characteristics & Modification. *Def Sci J.*, Vol 33, No.3 (Juuli), lk. 261 – 271.
88. Simons P. J., Spiro M. ja Levy J. F. (1998) Electrical transport of endogenous mineral ions in green sapwood of *Pinus sylvestris L.* (Scots pine). *Wood Science and Technology* Vol. 32, No. **6** (Detsember), lk. 403 - 410.
89. Simons P. J., Spiro M. ja Levy J. F. (1998) Electrical properties of wood. *J. Chem. Soc.* **94** (2), lk. 223-226.
90. Simpson W. ja TenWolde A. (1999) Physical properties and moisture relations of wood. *Wood handbook--Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113*, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, lk. (3-1)–(3-23) [ebatavaline numeratsioon].
91. Zimmer I. B. *An Analytical Approach to Toxic Substance Replacement in Support of Pollution Prevention*. Emission Reduction Research Center, New Jersey Institute of Technology, University Heights, Newark, New Jersey. Lehekülj internetis: <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/97Proceed/Poster11/analytical.html>, viimati alla laetud 9. juunil 2010.

92. Tamm L. (2005) Linaõlivärv teeb fassaadile pai. Ajalehes *Äripäev* 30.03.2005.
93. Timusk J. (2006) *Ehitusfüüsika kompendium*. Tartu. Lehekülg internetis: [ph.eau.ee/~ehitus/Oppematerjal/Ehitusfyysika/Ehitusfyysika\\_v8.pdf](http://ph.eau.ee/~ehitus/Oppematerjal/Ehitusfyysika/Ehitusfyysika_v8.pdf), viimati alla laetud 27. novembril 2009.
94. Townend R. V. ja Clayton V. R. (1936) Fluidity and Hygroscopic Properties of Shellac. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, **8** (2), lk. 108.
95. Tu C. M. (1980) Influence of five pyrethroid insecticides on microbial populations and activities in soil. *Microb. Ecol.* **5** lk. 321-327
96. Unger A., Schniewind A. P. ja Unger W. (2001) *Conservation of wood artifacts : a handbook*. Springer, Berliin.
97. Ussisoo T. Ja Veski A. (1943) *Puit tarbematerjalina*. Tartu Eesti Kirjastus, Tartu.
98. Vabar M. (2003) Hooldamata puitakende eluiga jääb lühikeseks. Ajaleht: *Äripäev* (22.jaanuar 2003), viimati alla laetud 26.veebruari 2009.
99. Wang J.Y. ja Cooper P.A. (2005) Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products* **63**, lk. 417 - 422.
100. Watanabe, M. (2007) Bending Electrostriction in Polyurethane Films Doped with Electron Acceptors. *Polymer International* **56**, lk. 1265–1271.
101. Werner A. E. (1979) The Conservation of Leather, Wood, Bone and Ivory, and Archival Materials. Kogumikus: *The Conservation of Cultural Property. Museums and monuments XI*. Unesco, Pariis.
102. Xia W., Jian-zhang L., Yong-ming F. ja Xiao-juan J. (2006) Present research on the composition and application of lac. *Forestry Studies in China* Vol. **8**, Nr. 1, lk. 65 - 69.
103. Yaghoubi S. M. J., Ghorbani G. R., Soleimanian Zad S. Ja Satari R. (2007) Antimicrobial activity of Iranian propolis and its chemical composition. *Daru*, Vol **15**, nr. 1, lk. 45-48.
104. Autor märkimata (1940) Loodusvarade Instituudi seisukohti puidu immutuse probleemi lahendamise alal Eestis. *Loodusvarade Instituudi avaldised* nr. **2**, Vaba Maa, Tallinn.
105. Autor märkimata (1979) Synthetic Materials Used in Conservation. *The Conservation of Cultural Property. Museums and monuments XI*. Unesco, Pariis.
106. Autor märkimata, järelepärimisele ei saanud vastust (1983) Alkyd v. Acrylic. *Architects memo* **28** (Veebruar 1983) Firma Resene leheküljel internetis

- <http://www.resene.co.nz/archspec/archmemo/arch28.htm>, viimati alla laetud 26.veebruariil 2009.
107. Autor märkimata (2002) *Taruvaik*, lk. 4–8. Sünnimaa, Tartu.
108. Autor märkimata (aasta märkimata) Võrumaa Kutsehariduskesuse õppematerjalid, lehekülg internetis: [http://jaco.vkhk.ee/internet/materjalid\\_file2\\_bv.asp?key=58](http://jaco.vkhk.ee/internet/materjalid_file2_bv.asp?key=58). viimati alla laetud 25. novembril 2009
109. Autor märkimata (aasta märkimata) lehekülg internetis: <http://www.woodbin.com/ref/wood/emc.htm>, viimati alla laetud 25. novembril 2009.

## **The role of coatings in maintaining stability of panel paintings**

Maiu Varner

### **Summary**

Wooden panel paintings, among them icons, are often kept under uncontrolled climatic conditions, mainly in churches. As a result cracking, cupping and other defects often develop over time. The main reasons are dimensional instability and the asymmetric water distribution across the panel, typically well protected from the front side by multi-layer painting and unprotected from the rear side. A solution to the problem could be making the water distribution across the panels more uniform by protecting the panels from the rear side also.

In this work a series of coatings (alkyd resin Pinotex, two methacrylates, two urethane alkyds, one acrylate-modified alkyd, shellac, propolis, wax and three different oils) were investigated for protecting the rear sides of panel paintings. The investigation was carried out as one-year climatic treatment under randomly varying humidity conditions. Influences of coatings on the stability of paintings were described, for some coatings for the first time.

It was found that the rear side coatings have significant effect on the stability of the panels. The protective effect differs from coating to coating and it was possible to set up an empirical scale of protective power. Out of the tested coatings propolis had the highest protective power. The relation between protective power and coating properties is not straightforward and cannot be reduced to any single property (such as humidity protection). Therefore the protective action has to be investigated using in parallel different methods and mimicking the real storage conditions as much as possible.

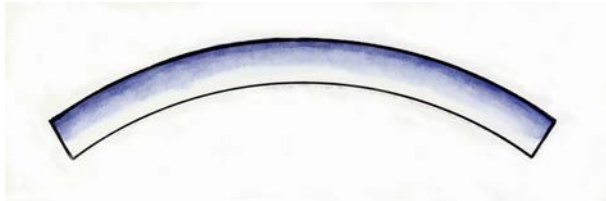
The results imply that a successful coating will lead to uniform distribution of humidity across the panel. The mechanism of action of the coatings needs to be studied further, some starting points for this are provided. In particular, a hypothesis of the electrical influences between humid wood and propolis was put forward.

# LISA 1

## Märkused

### 1.1 Asümmeetrilise gradiendi tekke vältimise raskustest maalitahvlites

Joonis A.



Joonis B.



Joonis C



Niiskuse asümmeetrilise gradiendi korral on niiskus jaotunud tahvli paksuses asümmeetriliselt nagu on kujutatud joonisel A. Niiskus on kujutatud sinisena. Joonised B ja C kujutavad vee jaotumist, mille puhul tahvel oleks sirge.

Tehnoloogiliselt oleks kõige õigem lahendus kahepoolne ikoon, kuid mälestiste puhul ei saa seda rakendada. Kui soovime, et nähtavale jääks maalinguta külgede puitpind, peaksid sealsed kattekihid olema märkamatud, aga toimima samamoodi nagu esikülje kattekihid kokku. Kuidas aga

täpsemalt toimivad esikülje kattekihid? Ükski neist ei ole niiskuskindel, kuid niiskus peab neid läbima enne, kui puiduni jõuab. Esikülje kihid üksnes võivad aega. Puidu mõõtmete muutumise seisukohalt on oluline ainult see, millal jõuab niiskus puidurakkudeni. Kui aga niiskus on läbinud esiküljel lasuvad kihid, jõuab ta puitu ligikaudu sama kiirusega kui esimestesse kattekihtidesse esiküljel. Sellest hetkest hakkab puit paisuma, tehes seda üsna jõuliselt. Sellist toimet on väga raske saavutada õhukese, märkamatu, eemaldatava kattekihiga. Selleks peaks ca 30 mikromeetrit mingit ainet toimima sarnaselt poole millimeetri paksuse kihilise kompleksiga. Oletame, et leiame aine, mis üksinda ja homogeense kihina võidab sama palju aega niiskuse sisenemisel puitu kui esikülje kihtide süsteem. Kas me võime temaga rahul olla? Aga mis juhtub niiskuse aurumisel? Sel juhul reageerib esikülje süsteemi kuuluv puitosa kiiremini kui enne. Niiskus hakkab puidust liikuma esikülje kihtidesse, eriti hõlpus on

tal liikuda esimestesse kihtidesse puidul, milleks on kangas ja krunt. Aga see juba tähendabki puidurakkude kahanemist. Õhukesel pinnakattel, mis on ühtlaselt veekindel, ei saa olla niisugust pehmet toimet seest väljapoole ja ta ei lase niiskust puidust enda sisse imenduda samas tempos nagu kangas või krunt, vaid aeglasemini. Kui kontsentratsioonigradient väliskeskkonnaga on tugev, otsib niiskus teed välja mujalt. Tahvelmaalide kõige nõrgem koht, kust see kergesti võib toimuda, on servadel, kus väliskeskkonna mõjud on krundist ja kanga servast lahutatud väheste kaitsekihtidega. Seega saaksime kasutada tagaküljel pinnakatet, mis laseb niiskust läbi sama kiiresti nagu kuivav maalingukülg või sama kiiresti nagu niiskuv maalingukülg, kuid mõlemat korraga ei saa. Me vajaksime, et kattekihil oleks mingi lisaomadus, mille abil ta laseks niiskust tahvlisse sisse veidi aeglasemini kui välja, et kompenseerida esikülje kihtide absorbeerimisvõimet.

## **1.2 Imporditud tammepuidu kasutamise põhjustest**

Eestis esineb arvestataval hulgal mändi, kaske, kuuske ja haaba. Tamm, lehis, lepp, pärn ja muud väheesinevad puuliigid moodustavad Eesti metsadest kokku 3%. (Puusaag 1991). Tamme osa eesti metsade üldpindalal on 0,5%; pisut on tammikuid alles Lääne- ja Põhja-Eestis, mujal esineb ta segametsades; väike osa tammikutest on vanemad kui 100 aastat (Roos 2009). Põhjuseks on see, et esiteks on minevikus tammepuitu väga palju tarvitatud; teiseks avastati varakult, et tammikualune maa on viljakas ja sobiv põlluharimiseks – seega on algupärased tammikud maaharimisel hävinud ning Eestis on üldiselt säilinud väikeste puudega alatoidetud paepealsed salud (Relve 1981). Kesk-Euroopas tarvitati kohalik kvaliteetne tammepuit ära juba keskajal ning seda hakati importima Baltikumist laiemas mõttes. Kui mingi puuliigi paremad ja kvaliteetsemad esindajad pidevalt maha raiutakse, siis ilmneb negatiivne selektsioon, heade omadustega puud ei anna järglasi ja levivad selliste omadustega antud liigi esindajad, mis tarvitamiseks ei sobi. Eesti kohalikku tamme maalitahvliteks kasutada ei ole reaalne selle halva kvaliteedi tõttu.

## **1.3 Tangentsiaalne ja radiaalne lõikesuund**

Palke saab laudadeks saagida tangentsiaalselt (lõiked on üksteisega paralleelsed ja piki puidukiudu) ning radiaalsuunas (palgi ristlõikel on laudade ristlõiked paigutatud nagu rattakodarad). Radiaalsuunas on niiskuse liikumine ca 1,5 korda kiirem kui

tangentsiaalsuunas (Roos, lk 32). Radiaallõikes laud on kulumiskindlam ja mõneti stabiilsema kujuga, kuid seda kasutati suurte töötuskadude tõttu maalitahvlite valmistamisel harvem ja, nagu juba mainitud, avaldab niiskuse asümmeetrilise gradiendi kujunemine tugevat deformeerivat mõju mõlemal viisil saetud maalialusele.

#### **1.4 Temperatuuri mõjudest puidu vanandamiskatses**

Üldiselt ei ole temperatuuri mõjud antud katses tähtsal kohal, kuigi kokkuvõttes võis see kõikuda 10 kraadi ulatuses.

Ehkki puit temperatuuri tõustes paisub ja jahenedes tõmbub kokku, on see muutus niivõrd väike - umbes kolmandik terase vastavast näitajast - et jäetakse tavaliselt tähelepanuta ja selle mahulise muutuse mõju, erinevalt niiskuse toimest, ei ole mälestistele oluline (Hoadley 1995).

#### **1.5 Defektidest tahvlitel nr 12 ja 30**

Tahvli nr 30 õlitamisel äratas heledam värvus küll tähelepanu, kuid saades järelepärimisele kindla vastuse, et tahvlite valmistamiseks kasutati vaid ühte lauda, ei osatud defekti tõsidust hinnata. Sellest oli ka tegevuse käigus pisut raske aru saada, millises ulatuses tahvlite värvus üldse varieerub, sest mitmed pealekantud pinnakatted muutsid tooni sügavamaks. Kui selgus, et kahe tahvli kaal kõigub tunduvalt suuremas ulatuses kui teistel tahvlitel ning tekivad eriti silmapaistvad kahjustused, mida paarilisel ei ilmne, hakati tahvleid lähemalt uurima ning leiti, et nende puit on heledam ja ka struktuur on tihedam. Sellisel juhul on alust oletada ühesuunaliste tuulte mõju lehtpuu raku ehitusele. Heledam värvus võib tuleneda ebanormaalselt suurest tselluloosisisaldusest, suuremad materjali kujumuutused paksematest rakuseintest, kalduvus lõheneda kasvuperioodil tekkinud sisepingetest (Roos, lk. 11).

Ilmselt oli tegemist tõmbepuiduga, mis oli moodustunud teatud vanuseni, kuni noore puu kasv oli tuulte suunast enam mõjutatud. Sellised varasemad aastarõngad võisid viiliti sattuda mõnedesse valmistatud tahvlitesse. Hiljem, kui puu oli suurem ja tugevam, kujunesid normaalse struktuuriga aastarõngad ja pingeteta puit.

#### **1.6 Kaitsevõime dünaamilise indeksi arvutamine**

Normaliseerimise alusena kasutati kaalumisandmeid. Iga mõõtmiskorra kohta arvutati samaliigiliste suurtahvlite (ST) kaal protsentidena seda liiki tahvlite algkaalust katse

esimesel päeval, 18. juunil 2008. Dünaamilist indeksit oli võimalik arvutada ainult 215 päeva ulatuses. Sellest perioodist leiti minimaalne samaliigiliste tahvlite kaal (šellakiga kaetud tahvlid 267. päeval kaalusid ) ning maksimaalne samaliigiliste tahvlite kaal (Plexisoliga kaetud tahvlid 204. päeval kaalusid ), ning leiti nende kaht liiki tahvlite vahe. See andis diapasooni, milles üldse tahvlite kaal kõikus. Nendesse arvutustesse ei kaasatud referentside 1-3 andmeid, sest nende suured kõikumised oleksid diapasooni määramisel teinud eriliigiliste tahvlite väiksemad omavahelised erinevused raskemini jälgitavaks.

Parameetri esimene osa oli lihtsalt antud liiki tahvlite kaalu erinevus antud mõõtekorrall võrreldes šellakiga kaetud tahvlitega 267. katsepäeval, ehk  $M - M_{min}$  .

Kaardumisindeksi kõikumise diapsoon väiketahvlitel (VT) arvutati samuti sel viisil, et lahutati vaatlusalusel perioodil esinenud kõige suuremast kaardumisindeksist (see oli kahe tagakatteta VT kaardumisindeksite keskmine 267. päeval) perioodi kõige väiksem kaardumisindeks, mis oli vahakattega VT negatiivne kaardumisindeks 204. katsepäeval. Kui ta andis kergelt negatiivse kaardumisindeksi, seega osutus pisut veekindlamaks kui paljale puidule kantud krunt VT vastasküljel, siis võib oletada, et vaha oli ligilähedaselt sarnase niiskuskindlusega nagu klassikalised ikoonimaali kattekihid esiküljel, kus krundile liituvad veel kangas, maaling ja lakikihid. Seega ei tasu karta nagu võiksid nõgusaks kõverduda maalitud tahvlid ning kaardumisindeksi diapasooni võib käsitleda lineaarselt, s.t. väiksem VT kaardumisindeks on soovitatavim.

Järgnevalt viidi kõigil mõõtmiskordadel fikseeritud kaardumisindeksid samasse skaalasse parameetri esimese liikme, s.t. samaliigiliste tahvlite kaalumisandmetega, kasutades teise liikme arvutamiseks valemit

$$\frac{(K - K_{min}) \cdot (M_{max} - M_{min})}{(K_{max} - K_{min})}$$

Parameetri kolmas osa peab väljendama erinevat liiki tahvlite  $\epsilon$  ja massi suhet erinevatel mõõtekordadel. Selleks, et seda suhet leida, viidi  $\epsilon$  muutumisvahemik ja tahvlite kaalu muutumise vahemik ühte skaalasse. Väiksem kõigist fikseeritud  $\epsilon$  näitudest (tagakülje katteta referentstahvlid 267. päeval) lahutati maksimaalsest (uretaanalküüd Harde Matvern 204. päeval). Üldise massikõikumise ja üldise  $\epsilon$  varieerumise vahemiku suhet kasutati  $\epsilon$  kordajana, mille läbi skaalad ühtlustusid ja oli võimalik arvutada  $\epsilon$  ja massi suhe kõigil vaatlusalustel mõõtekordadel igat liiki katsetahvlite kohta. Seda

arvutuskäiku kasutades jääb üks punkt välja arvutamata, sest kui  $M = M_{min} - M_{min}$ , tekib jagamine nulliga (šellak 267. päeval). Et see peaks olema šellaki kõrgeim  $\varepsilon$  ja massi suhe, asendati see vastava suhtega 183. päeval, mil suhe oli samuti väga kõrge. Antud punkt ei ole väga oluline ning ühendatud parameeter annab kasulikku infot ka siis, kui see üks punkt ühe materjali kohta ei ole täpselt teada.

$\varepsilon$  ja massi suhte muutumisvahemik leiti minimaalse  $\varepsilon$  ja massi suhte näidu (tagakülje katteta referentsid 267. päeval) ja maksimaalse suhte (taruvaik 267. päeval) vahena. Selleks, et viia need näidud ühte skaalasse ühendparameetri muude liikmetega, kasutati kõigi  $\varepsilon$  ja massi suhte näitude kordajana üldise kaalukõikumise ja  $\varepsilon$ /massi suhte kõikumise suhet. Kaitsevõime dünaamilise indeksi kolmas komponent oli:

$$\frac{(E - E_{min}) \cdot (M_{maxsuht} - M_{min}) \cdot (M_{max} - M_{min})}{(M - M_{min}) \cdot (E_{maxsuht} - E_{min})}$$

Kuna soovime, et  $\varepsilon$ /massi suhe oleks kõrge, kuid tahvlid oleksid siiski kuivad, peame neid kasutama parameetri arvutustes vastasmärgilistena. Nii on  $\varepsilon$ /massi suhte parameetris positiivse märgiga, kaal ja kaardumisindeks aga negatiivse märgiga. Valem saab lihtsaima kuju, kui kõiki komponente jagada liikmega ( $M_{max} - M_{min}$ ).

$$KId = \frac{(E - E_{min}) \cdot (M_{maxsuht} - M_{min})}{(M - M_{min}) \cdot (E_{maxsuht} - E_{min})} - \frac{(K - K_{min})}{(K_{max} - K_{min})} - \frac{(M - M_{min})}{(M_{max} - M_{min})}$$

### 1.7 Üldise kaitsevõime indeksi arvutamine

Alul tekib tahtmine see parameeter üles ehitada väga sarnasena eeltoodud parameetrile, kuid kaalukõikumise üldine diapsoon kogu katse vältel selle parameetri ühe liikmena ei ole siiski väga ilmekas näitaja. Pinnakatetega kaitstud tahvlite kaalumisanndmed paigutusid teatavasti äärmuslikke olukordi väljendavate referentstahvlite vahele. Erinevat tüüpi tahvlite kaalukõikumise erinevus oli kõigest 0,38% nende esialgsest massist (taruvaiguga tahvlite kaal kõikus 4,36% ulatuses nende massist ning mooniõliga tahvlitel 4,74% ulatuses; katmata tagaküljega referentstahvlid paigutusid selles nimekirjas keskele). Sel viisil reastades said šellakiga tahvlid ülihea tulemuse – kõrget niiskusesisaldust ei mõõdetudki, sest šellak laseb tahvlitel kiirelt kuivada, samas olid kahjustused ühed suuremad, sest tahvlid käitusid niivõrd ebastabiilselt. Seepärast otsustati hinnata tahvlite seisukorda katse lõpus numbriliselt ning kasutada tulemust ühe näitajana. See on komplitseeritud ja selles on subjektiivsust, sest iseendast on raske

otsustada, kas nt. tahvli maaliküljel leviv õlilaik on sama halb kui üks krakelüür või kolm krakelüüri, kuid, püüdes mitte ühtegi aspekti üle tähtsustada, sai tahvlite seisukord siiski hinnatud. Iga tahvel sai hinde kümnepunktisüsteemis. Nendest paaridest, mis sisaldasid struktuuridefektidega tahvlit (need olid tahvlid nr. 12 ja nr. 30), läks defektita tahvli hinne arvesse kaks korda. Referentstahvleid oli küll kolm, nendest arvestati kahe hinnet (samaliigiliste referentstahvlite seisukord oli sarnane). Et ainult 4 väiketahvlit olid kahjustunud, ei hinnatud neid kõiki läbi, vaid väiketahvlite kahjustused võtsid suurtahvlite hinnete summast maha üks või kaks punkti, sõltuvalt kahjustatuse astmest. Sel viisil said maksimaalsed näitajad Pinotex (15) ja taruvaik (14) ning minimaalsed (1) Plexisol, linaõli ja šellak. Seega varieerus see näitaja 14-punktilises vahemikus. Edasine üldise kaitsevõime indeksi arvutamine toimus sarnaselt eelmisele parameetrile.

Leidsime igat tüüpi tahvlite jaoks keskmise väiketahvli kaardumisindeksi, kohandasime selle hindamispunktide skaalale (ümardamiseta), samuti leidsime igat tüüpi tahvlite keskmise  $\epsilon$  ja massi suhte ning kohandasime ka selle hindamispunktide skaalale. Välditi nulli sattumist jagajasse. Selleks jäeti muutmata iga pinnkattega tahvlite jaoks arvutatud keskmine  $\epsilon$ . Tema muutumisvahemikuga kohandati tahvlite keskmised kaalud. Seejärel lahutati väikseim keskmine kaal kõigist kaaludest ning liideti väikseim keskmine  $\epsilon$ ; iga pinnakatte kohta arvutati seejärel temaga kaetud tahvlitele iseloomulik keskmine  $\epsilon$  ja keskmise kaalu suhe. See suhe kõikus vahemikus 0,9717 (Paraloid) kuni 1,0226 (tiikpuuõli). See suhe viidi (ümardamata) samasse skaalasse tahvlitele antud hinnete 14-punktilise skaalaga.

Keskmise kaardumisindeksi arvutamisse kaasati ka need punktid, mis kaitsevõime dünaamilise indeksi arvutamisel olid välja jäänud (neid andmeid hakati koguma varem kui dielektrilise läbitavuse andmeid). Nüüd vajasime üldpilti ses osas, millised tahvlid olid kokkuvõttes vähem kaardunud.

Üldise kaitsevõime indeksi arvutamisel liideti kindlat liiki tahvlite hindamispunktid ja normaliseeritud  $\epsilon$  ja keskmise kaalu suhted positiivsetena, normaliseeritud keskmine kaardumisindeks aga negatiivsetena.

### **1.8 Võimalik müra dielektrilise läbitavuse signaalides**

On teada, et kuivavate õlide kelmed on hügroskoopsed ning paisuvad vees 7 päeva jooksul ca 49% (Jabrova 1976). Pinnakatte hügroskoopsus on kindlasti tegur, mis saab tugevasti mõjutada igat liiki elektriliste kontaktmõõteriistade signaale. Antud katses tuli

see kõige selgemini välja Kolorex Akva puhul, mis kõrgendas kõigil mõõtmistel Gann Hydromette näite. Kui me aga näeme dielektrilise läbitavuse ja kaalu suhet kõrgendatuna 167. päeval Kolorex Akva, linaõli ja eriti tiikpuuõli pinnakattega tahvritel, siis ei saa siin oletada taruvaigule sarnast laengute ümberpaiknemise toimetehhanismi (mida ju ka tahvlite kahjustatavuse ja kaardumise alusel ei paista), vaid siiski müra või ka erinevate mürade koosmõju. Kolorex Akva esinemine selles komplektis on vihjeks, et osa sellest signaalist tuleb ilmselt pinnakatte sisse seotud niiskusest. Tiikpuuõli puhul võib sellele lisanduda veel pooljuhtiva lisandi – räni – võimalik esinemine puitu imbunud õli koostises. Kui puit sisaldab ebanormaalses koguses elektrit juhtivaid komponente, nt. vees lahustuvaid sooli vms., siis tema elektrijuhtivus suureneb - vähesel määral siis, kui puidu niiskusesisaldus on alla 8%, kuid kiirelt kasvades niiskusesisaldustel 10 – 12% (Simpson ja TenWolde 1999).

Miks ei saa aga taruvaigu kõrge signaal antud olukorras pärineda lihtsalt taruvaigu hügrokoopsusest? Taruvaik ei ole, kogu muu käitumise ja teadaoleva põhjal, kuigi hügrokoopne. Tehniliseks otstarbeks, näiteks niiskusemõõtjate sensorite jaoks oleksid õigupoolest hügrokoopseid, kuid vees mittelahustuvad vaigud vajalikud, kuid üldiselt need omadused ei esine vaiguliste ainete puhul koos. Taruvaik on veeaurule läbitav, ilmselt üsna poorne, võibolla ses osas kõige sarnasem šellakile, tema osad komponendid võivad küll vees lahustuda, aga ta ei ole materjal, mis võiks niiskuse mõjul kiiresti ja oluliselt punduda. Me tegime kindlaks, et taruvaik pidurdab õhuniiskuse tõustes niiskuse pääsu tahvlitesse (mida kinnitavad ka Hayashi doktoritöös toodud katseandmed). Seda ei saaks aga teha väga hügrokoopne materjal, sest pinnakate on vahetus kontaktis hügrokoopse aluspinnaga (puit) ning miski ei suudaks takistada tal selle niiskuse edasiandmist. Analoogiat niiskuse tõttu vihmakindlaks paisunud telgiriidega tekkida ei saa. Hügrokoopne pinnakate annab pigem vahejaamana niiskuse edasi-tagasi liikumisele hoogu juurde ja meie katses nägime selliste materjalidega kaetud tahvlite suuri kaardumisindekseid. Meenutagem ka seda, millisel eesmärgil mesilased taruvaiku kasutavad. Kas kõrgede siseseinte poleerimiseks(!) ja seinapragude kittimiseks(!) ei ole parem materjal, mille mõõtmised on stabiilsed ja mis seega ei ole oluliselt hügrokoopne? Ja veel kaugemale taruvaigu päritolu sügavustesse suundudes: kas pungade ja võrsete kaitsekattena oleks kohane materjal, mis niiskete ilmadega muutub želeeks ja päikesega kuivab jälle ära? Seega, kui osade materjalide kasutamisel tulenevad tahvlite elektriliste mõõtmiste kõrgendatud signaalid materjalide hügrokoopsusest, siis taruvaigu puhul on see väga ebatõenäoline.

## LISA 2

### Ajaloolistest kaitsemeetmetest maalitahvlitele ja nende eestikeelsest esmatutvustusest

#### Sissejuhatus

Seda, et kõik ajalik hävib, on alati teatud. Küsimus on seisnenud hävimise edasilükkamises. Võibolla kõige varasem meetod oli – aegsasti koopia valmistamine. Kuigi sel viisil saame ettekujutuse näiteks mitmetest antiikskulptuuridest, ei näita meetod lähemal vaatlusel end heast küljest. On antiikskulptuure, mille rohkete säilinud koopiate põhjal on siiski võimatu otsustada, kas originaalis kujutatud kangelase kõrvad olid pisikesed ja ludus või suured ja õieli, sest koopiates leidub kõiki variante. Seega ilmub varakult tublide kunstnike mõistlik püüe originaalteoste eluiga pikendada, viies nende valmistamise tehnoloogia võimalikult heale tasemele.

Ajalooliselt on maalialusena püütud kasutada mitmesuguseid materjale. Savitahvlid ei osutunud vastupidavaks ning „langesid konkurentsist“ juba antiikajal, kiviga ei seondu piisavalt sideained ning ta on raske, metallile maalimise traditsiooni esineb aga tänapäevalgi õigeusu ikoonimaalis, kuigi üsna vähesel määral. Puit kujunes antiigi traditsiooni mõjutusel nii ida- kui läänekristluses olulisimaks maalialuseks.

Tahvelmaal koosneb puitalusel, sellele liimitud ja puidu liikumisest tingitud pingeid ühtlustavast kangast (see võib siiski ka puududa, olla osaline või viimastel sajanditel mõnikord asendatud paberiga), krundikihtidest, maalikihist ja (enamasti) kattedkihist, mõnikord võidi kanda erinevaid kihte ka tagaküljele. Levinumates maalitehnikates kasutati antiik- ja keskajal sideainena vaha või muna, hiljem kuivavaid taimseid õlisid. Õlivärvi eeliseks on kiire visuaalne tagasiside. Temperavärvidega maalides peab kunstnik koloriidi teadlikuks kujundamiseks oma pigmente ja nende kasutamise traditsiooni hästi tundma, sest valmis töö lakkimisel toimub suur toonimuutus, mis erinevatel pigmentidel on erinev. Mitmesuguseid efekte saavutati eri värvi pigmentide üksteisele pealekandmisega ning sel juhul tuleb lisaks tulevasele toonimuutusele teada ka, kuidas mõjutab tooni kihi paksus. Läänes ei elanud keskajal üldlevinud munatempera tehnika õlivärvide levikut üle, idakristlikus kunstis aga on paralleelselt siiski veel kasutuses koos muljetavaldava traditsiooniliste kunstiliste võtete arsenaliga.

Eriti tahvelmaali puhul on siin väga suur roll tehnoloogial ning kasutatavatel materjalidel.

Käesolevas ülevaates vaatleme tahvelmaali tehnoloogiat Euroopas ja sedagi, millisel kujul ilmus esimene eestikeelne info kasutatavate materjalide kohta.

Esimene eestikeelne raamat, mis põhjalikumalt kunstiteoste materjale käsitles, oli 1894. a. ilmunud M.Tõnissoni "Maaleri kool", milles on "kõige tarvilisemad õpetused värvijatele ja pildimaalijatele kui ka nendele, kes igasugu värvimise ja maalimise ametit tahavad õppida.". Loomulikult ei paku koolmeistrist ja rahvalgustajast autor enda väljatöötatud retsepte, vaid püüab koondada võimalikult tarbijasõbralikult kogu kättesaadavat infot, mis võiks lugejale praktilises tegevuses kasuks tulla. Avanev pilt on väga huvitav, kõige üllatavam on see, et kui vanamoeline ja naljakas kõneviis tänapäeva keelde panna, on tegemist väga asjaliku teosega, kus selgitatakse sageli ka keemilisest vaatepunktist, miks midagi tehakse. Erinevate materjalide juures võisid esineda nii probleemid kvaliteedi kui säilivusega, tehnoloogilised eksimused valmistamisel või tarvitamisel – samuti esines materjalide võltsimist. Kõigi nende probleemidega püüti tegeleda ja pakkuda lugejale usaldusväärset nõuannet.

### **Maalitahvli jaoks kasutatav puit ja tahvli valmistamise põhimõtted**

Kindlasti osati kasutatavat puitu hästi valida, selleni juhatasid kogemused pidust ehitistega. Kirjalikud allikad ajas kaugele tagasi ei ulatu.

Euroopa põhjaosas jälgiti eriti hoolega, et puit oleks langetatud talvel ja kasvanud metsa või mägede lääneosas, soovitavalt kõrgemal mäestikualal.

Serbia meistrid kasutasid alusena pärna, mäнди; harvem tamme ja pähklit.

Vanavene meistrid eelistasid pärna, mäнди ja kuuske, harvem pööki või lehist. Kindlasti mõjutasid valikut kohalikud puuliigid, näiteks on Pihkva koolkonnas mäнди rohkem kui muudes.

Puitu kuivatati päikese ja tuulte eest kaitstuna, soovitav oli palke eelnevalt pikemalt leotada. Kui 15. saj. kuivatati puitu 6 (pigem isegi 8) – 10 aastat, siis 16. ja 17. saj. 2 – 5 aastat, samuti muutusid tahvlid õhemaks. Kuid ka 6.-8. saj. kristlikud pühapildid on maalitud valdavalt 1-1,2 cm paksustele tahvlitele.

Toskaanas eelistati 13. saj. II poolel okaspuud (eriti nulgu, suuresti Põhja-Euroopa mõjul, õigupoolest on ta defektirohke struktuuriga ning tundlik kliimakõikumiste suhtes), 13. saj. lõpust 15. saj. alguseni aga paplit. “Mona Lisa” on samuti paplile maalitud. Pappel on hästi liimitav tanniinide puudumise tõttu, kergesti töödeldav, tugev, ühtlase struktuuriga, kliimakõikumiste korral üsna stabiilsete mõõtmetega, kuid tundlik hallituse ja mikroorganismide suhtes. Itaalias kasutati ka teisi puuliike, nende seas pähklipuud, pärna, tamme ja kastanit, üldiselt mängis suurt osa kättesaadavus antud regioonis.

Hispaanias kasutati palju mändi, eriti nõutud oli Soria piirkonna mänd, dokumentides on rõhutatud ka vajalikku kuivatusaega – 6 aastat. Samuti kasutati paplit ja pähklipuud.

Ülem-Reini ja Bavaria piirkonnas kasutati sageli kuuske ja pärna, väljaspool Reinimaad sageli mändi; Norras eelistati nulgu, aga ka tamme ja gooti ajal mändi; Taanis kasutati altariteks 15. saj. peamiselt tamme. Da Vinci kasutas Prantsusmaal viibides tamme; seda eelistasid ka Hans Baldung ja Hans Holbein, töötades Lõuna-Saksamaal ja Inglismaal; Dürer maalis tammele Madalmaades ja Lõuna-Saksamaal ning paplile Veneetsias, samuti kasutas ta pärnapuitu. Pärnast tahvlile on maalinud ka Altdorfer, Baldung Grien, Amberger, Lucas Cranach Vanem, viimane kasutas ka pööki. Põhja-Euroopas leidub ka pähklipuust ja kastanist tahvleid, haruldane on pappel. Kõige populaarsem, ka kirjanduses palju soovitatud, oli Madalmaades, Põhja-Saksamaal ja Prantsusmaal tamm ja et kohalik tamm oli ära tarvitatud, imporditi seda – keskajast 30-aastase sõjani - suurtes kogustes hansalinnade kaudu (laiemas mõttes) Baltikumist, eriti Königsbergist ja Gdanskist. Suurtele tammetahvlitele on maalinud Rubens; kõik Rembrandti Leideni perioodi tööd on tammetahvlitel.

Gildid püüdsid hoida tahvlite kvaliteeti, keelates tahvlitesse jätta riknevat ja pehmet koorealuse maltspuidu osa; üleastumised sellest reeglist sagesid 17. saj., kontroll võis lõdveneda seoses suure nõudlusega, puidu hinna tõusuga ning poliitiliselt ebastabiilsete aegadea.

Vineeri hakati tööstuslikult tootma Ameerikas 1865.a., Saksamaal 1900 a. paiku.

Tegelikult on ta temperatehnikas tahvelmaali alusena eriti kõlbmatu, sest mõnekümne aastaga tekib ohtralt pragusid puidukiu suunas, mis jõuavad maalikihini. Aegajalt on seda maalialusena ikka kasutatud, ka Eestis ning vahest ka siinsete ikoonide puhul.

Tahvleid ühendati liimiga ning puidust lisadetailidega.

11.-12. sajandil kirjeldas Theophilus tahvlite kokkuliimimist ja katmist nahaga enne kruntimist. 13-14. saj jõuti mõtteni tahvleid fikseerida tagaküljele kinnitatud pikemate põõnadega. Tagakülje sisse süvistatud põõnad ilmusid 14. sajandil. Alates 15. sajandist ilmusid Itaalias paneelide tasapinnalisena hoidmiseks liugühendused, varem fikseeriti tugiraamistikke naeltega. 16. saj. algusest võeti klassikalise ikoonimaali võimalikul mõjutusel laialt kasutusele osaliselt tahvlisse süvistatud libisevad põõnad. 18. saj. hakati kasutama tahvlite ühendamiseks kasutama parketaaži, mis võimaldas puidul liikuda ning hoidis tahvleid kaardumast. Liitekohti tugevdati ka sisseulatuvate puitdetailidega (nt. liblikkiilud), neid võtteid kasutasid ka restauraatorid 18. saj. kuni 20. saj. keskpaigani. Puidust tugevdused muutusid mittevajalikeks kvaliteetsemate liimide kasutuselevõttuga 20 sajandil.

### **Tahvlite esikülje katted**

Kesk-Euroopas on 13. ja 15 saj. valdav kogu tahvli kangaga katmise traditsioon, mis 16. sajandiks vahetub lahtiste kiudude liimisega kriitilistele kohtadele. Keskaegses Põhja-Euroopas aga on praktiliselt ainuvaldav kriitiliste kohtade kindlustamine ribadega, täiskatet ei esine.

Neid asjaolusid mõjutasid: kunstnike väärtustatus regioonis, nende tellijate jõukus ja eriala üldine areng (nt. Skandinaavias kui vaesemas piirkonnas oli üldlevinud kulla asemel imitatsioonide kasutamine ja kuludokumentides mainitakse pärgamendiribasid, seda viimast mujal ei esine).

Hispaania regioonis, mille kohta ei ole kuigi palju andmeid, on üldkate kasutusel 12-13. saj. Edaspidi pööratakse tähelepanu võtmekohtadele, 15. saj. esineb võtmekohtade ülekatmist ribadega, millele liimitakse kogu tahvli kattev kangas.

12-14.saj. oli Itaalias levinud tahvli üldine katmine kangaga või ka liitekohtade eraldi katmine ning ribadega sellel kogu tahvli kattev kangas. Vähemalt alates 13. saj. algusest kasutati Itaalias mõnikord tahvli esikülje katmiseks kahekordset alusriiet. 1437.a. paiku kirjeldas Cennini Firenzes kasutatavaid tehnikaid. Kuni 14. sajandini osutati tahvli ettevalmistamisele väga suurt tähelepanu. Teati, et radiaalselt lõigatud (lõhestamissuund otsekui päikesekiired puusüdamikust kui keskpunktist) tahvel on parimate omadustega. Ühtlasi oli see lihtsam kirve abil valmistada, sest saag, mida küll

antiikajal tunti, vajus unustusse ning taasavastati 14. sajandil, laiemalt levis 15. sajandiks (Eestisse, mis küll mingi tahvlivalmistamise maa ei ole, saabus 19. sajandil). Puittahvlile kanti liimikiht, kangas, jämedamast vähem puhastatud, kollakast kriidist (võidi kasutada nii kaltsiumkarbonaati kui kaltsiumsulfaati) krundikihid ja viimaks väga peenest puhastatud valgest kriidist krundikihid, sideaine kontsentratsioon vähenes krundikihtides alumistest pealmisteni, andmaks elastsust ja liikuvust. Cennini soovitas kasutada vana, valget linast riiet. 15. sajandil liimiti Itaalias kangaribasid sageli vaid kõige probleemsematele kohtadele nagu puidudefektid ja tahvlite liitekohad, hiljem hakati taas kasutama pärgamenti, ka liimiga segatud taimekiude, 16. sajandil kaetakse samu piirkondi lahtiste kiududega. Kruntimise tehnoloogia lihtsustus. Vaheriide puudumine mitmetel maalidel on põhjustanud iseloomulikke kahjustusi ning pärgamendi ja taimekiudude käitumine antud koosluses ei ole hea. Euroopa põhjaosas kindlustati tahvlite liitekohti 15. saj. – 17. saj. I veerandini pärgamendi, takkude ja hobuse- või veisekarvadega, 17. saj. hakati selleks eelistama kangast. Süsteemid ühtlustusid kontaktide kasvamisega, 16. sajandil hakati Euroopas üha sagedamini kandma krunti otse puidule ja 17. sajandil oli see juba reegel.

### **Sideained**

Tahvlite ühendamiseks suuremate maalialuste valmistamisel kasutati - kuni sünteetiliste vaikude tulekuni 20. saj. algul – proteiinliime. Antiikajast saadik on kasutusel albumiin, vereproteiinidest saadav veekindel liim, mille valmistamiseks kasutati värsket verd, 20. saj. loodi kuivatatud verest liimi valmistamise tehnoloogia ja kasutamine laienes (väga oluline materjal esimeste, vineerist lennukite detailide ühendamisel). Cennini kirjeldas nii kaseiin- kui loomset liimi. Kaseiini nakkuvus ja säilivus ei ole head. Kõige levinum ongi olnud tavaline loomne liim, mis on väiksema molekulmassiga ja kergemini lahustatav – saadakse loomade nahast, luudest, kõõlustest, eriti elastseks ja kvaliteetseks peetavat kalaliimi saadakse kalade ujupõitest. Antiiksed loomsed liimid sisaldasid 4,5 – 8% loomseid rasvu, 15. saj. Itaalias teati erinevaid rasvaste ja lahjade liimide omadusi ning suudeti liimi rasvasisaldust kontrollida. Saksamaal kasutati loomseid liime mõnikord kriidi või tsinkoksiidi lisandiga.

Loomse liimi tootmise kohta on M.Tõnissoni “Maaleri koolis“ väga üksikasjalik tehnoloogiline kirjeldus, tarvitamise kohta on olulised ja asjalikud märkused toodud:

enne tarvitamist liimi leotatakse mõni tund, pärast seda soojendatakse, “alaline soojendamine ja hapuks minemine võtavad liimil ühendava jõu ära” (see märkus on tõesti õigel kohal ja põhjendatud – loomset liimi ei tohiks soojendada üle 60 kraadi ja vältida tuleb korduvat või pikaajalist soojendamist); niiskuskindlamaks soovitatakse (sooja) liimi muuta maarjajää ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) lahuse lisamisega.

Kena näpunäide on kalaliimi keetmise kohta, mida võib teha “vee ehk napsi sees”.

Tõnisson tutvustab peale linaõli ka teisi kuivavaid õlisid ning akvarelli jaoks kasutatavaid sideaineid. Nii tutvustab ta gummiaraabikut, sellest enam aga soovib ta gummitraganti, mis erinevalt loomsest liimist ja gummiaraabikust värvid puhtaks ja säravaks jätab (eriti “puhta jõe- ehk vihmaveega kokkukeetes”) ning alusmaterjali sisse ei imbu.

[Tragant kujutab endast kuivatatud kummieritist, mida saadakse *Astragalus gummifer*’ist – kummi-hundihambast - (*Labillardiere*) või teistest sugukonda *Leguminosae* kuuluvatest Aasia *Astragalus*’e liikidest. Põõsa koorevigastustest imbub lima, mis õhus seistes kõvaks kummivaiguks muutub. Jahvatamata tragant esineb lamedate 0,5–2,5 mm läbimõõduga, sirgete või keerdunud liistakutena. Külmas vees paisub, lahustub vaid kuumutamisel. Liim on täiesti värvitu, lõhnata ja lääge kliistri maitsega. Ta on eriti hea kolloidide tekitaja ja kasutatakse emulsioonide stabiliseerijana ja paksendusainena tekstiili- ja värvitööstuses ning farmaatsias. Ta ei ole väga stabiilne mineraalhapete suhtes ning on nõrgalt happeline.]

Sugugi tähtsusetud ei ole õpetused tärglise- ja jahukliistri keetmise kohta – ka siin on mänguruumi. Kui 1 kg keevale jahukliistrile umbes 70 g veneetsia tärpentiini hulka segada, siis saadakse kliister, millega võib õlivärviga värvitud pinda tapetseerida. Veneetsia tärpentiini valmistamist on varem samas raamatus kirjeldatud – ta koosneb tärpentiinist ja kolofoniumvaigust.

[19. saj. oli levinud ka loomsete liimide veekindlamaks muutmine mõne naturaalse vaigu, nt. kolofoniumi, lisamisega. Kolofoniumvaiku saadakse lehise *Larix Decidua*, mis kasvab kesk-Euroopa mägedes. Erinevalt teistest puuliikidest jooksevad vaigukäigud puu südamikus ning selle kättesaamiseks puuritakse südamikuni auk. Veneetsia tärpentiin oli maalikunstis laialdaselt kasutusel XVI-XVII saj., suurendab maalingu läiget, vastupidavust ja läbipaistvust. Eestis on tekkinud mõistetesegadus, juba

samas raamatus ja mitmes allikas hiljem väidetakse, et kolofoonium on männivaik – see on eksitus.]

Looduslikke vaike tänapäeval liimainena ei kasutata, kuid ajalooliselt on sellena kasutatud veel näiteks kas lahustatud või kuumutamisel sulavat šellakit, mis tingimustest sõltuvalt võib olla küllaltki stabiilne.

Tänapäeva puidutööstuse tavalisim liim on sünteetiline vaik PVA, restaureerimises kasutatakse veel sellega sarnaste omadustega akrüülemulsioone. Nende mitmeid omadusi, nt. molekulmassi ja kattedihi lahustuvust, saab kergesti varieerida ning nad on üsna stabiilsed. PVA mehaanilised omadused erinevad restaureeritavate materjalide omadustest, esineb ka probleeme pikaajalise säilivusega, nii et teda küll kasutatakse restaureerimises, aga väga soovitatav ta ei ole. Samas tegi 1966.a. üleujutus Veneetsias ja Firenzes selgeks, et PVA on paplipuidust tahvlite ühendajana väga sobiv oma elastsuse ja tugevuse tõttu samas, kui kõvemad puiduliigid (tamm, pähklipuu) vajasid epoksüliime.

Mõnda aega on kasutatud tselluloosnitraati ja tsüanoakrülaati, kuid nad osutusid ebastabiilseteks ja ka nõrkadeks.

Küllalt palju on kasutatud mitmekomponendilisi kõvastuvaid aineid – urea-formaldehüüdvaike, epoksiide ja fenooli. Kõvenemismehhanismiks on keemiline reaktsioon ja põiksidestumine. Nad on küll keemiliselt ja füüsikaliselt väga vastupidavad, kuid mittepöörduvuse tõttu ebasoovitavad.

Maalikihi sideaineks oli temperatehnikas tahvelmaali puhul munakollase veega lahjendatud ning kergelt hapestatud emulsioon. Itaalias kasutati happelise lisandina valdavalt valget veini, Venemaal leivakalja, levinud on ka äädikas. Kuigi sideainet kulub vähe, on maalikiht kuivanuna väga vastupidav.

### **Linaõli – vastupidav sideaine**

Õlid jagunevad kuivavateks (lina-, kanepi-, pähkli-, mooni-, päevalilleõli), poolkuivavateks (puuvilja-, maisi-, seesamiõli) ja mittekuivavateks (kastoor-, mandli-, oliivõli). Maalimisel kasutatakse eranditult kuivavaid õlisisid, mis kuivades moodustavad tugeva, kuid elastse kile. Taimsete õlide suurim puudus on, et aja jookkul nad kõik mingil määral tumenevad. See tähendab, et kui ta on sideainena maalingus kasutatud,

siis muutub kogu maaling aja jooksul tumedamaks, ja seda pöördumatult. Kõige kiiremini kuivab linaõli, talle järgneb pähkliõli, siis mooniõli, ja kõige aeglasema kuivamisega on päevalilleõli. Seetõttu väärribki 15. saj. õlimaali põhiliseks sideaineks tõusnud linaõli pikemat käsitlust.

Linaõli on kasutatud juba 3000.a.e.m.a.; Aetius mainib 550 aasta paiku linaõli kasutamisest maalimisel.

Herakliose käsikiri 8.-9. sajandist annab Venemaalgi tuntud Bütsantsi retsepti “värvidega segamiseks sobiliku õli” valmistamiseks: “Kaalulupja ja õli, sega ning keeda, korjates vahtu. Lisa sellele veel veidi õli ja vastav kogus tinavalget ning pane üheks kuuks päikese kätte. Segasageli. Tea, et mida kauem õli seisab, seda parem ta on.” Õli tuli selgindada selleks, et pidurdada tema tumenemist ja et lisandid värvidega reageerima ei hakkaks. Sama moodust on kirjeldanud ka Cennini, Leonardo da Vinci jt.

12. sajandist on linaõli Euroopas kasutusel juba traditsioonilise maaliõlina ja -lakina, on kasutatud kuldamisel, temperamaalide kattelakina, värviliste kattelakkide valmistamisel. Linaõli keetmisest on säilinud keskaegne maal 1100. aastast; mõni aeg hiljem on Euroopas kirjutatud õli pleegitamisest päikese käes, pragude kittimisest ja pliivalgega kruntimisest. 1358. aastal on Westminsteri ehitusel kasutatud värnitsat, pliivalget ja ookervärvi, 1364. aastal kohalikule maalermeistrile makstud arves mainitakse ookrit, värnitsat ja õli. Rootsi ja Soome jõudis linaõlivärv 1570-80.-ndatel, kus ta tõrjus välja seal varem valitsenud tõrva. Stockholmi lossi laudkatusel oli 1573 a. ette nähtud tellisejahu ja vaskoksiidi sideaineks kasutada linaseemneõli või siis traani ehk hülgeõli. Kuni 1950. aastateni oli linaõlivärv domineeriv värvitüüp ka tisleritoodetele ja sisustuse värvimiseks.

Mida saab eestlane teada 1894.a. linaõli tarvitamisel kaasnevatest probleemidest? Mainitakse, et maalimiseks kasutatud linaõlivärv võib, koguni sageli, pehmeks ja kleepuvaks jäädagi ning tuuakse välja hoiatus, et see tuleb ebapuhtast valmistamisviisist ning et ka kõige väiksem osa mittekuivavat õli nagu naeriõli, traan, rasv jms. takistab õlivärvi kuivamist tugevasti. Hoiatatakse, et saaste võib pärineda nii töötlemiseks kasutatavast puhastamata pressist kui säilitusnõudest.

Ka "Maaleri kool" soovib linaõli eelvanandamist, mis muudab ta kasutamisel kiiremini kuivavaks. Selleks soovitatakse lasta õlil seista nii, et õhk juurde pääseb. Mainitakse, et kuigi kaua seisnud õlivärvidega on paksenemise tõttu raskem töötada, saab nendega vastupidavama töö.

Õpetati linaõli päikesepaistel klaaskastis pleegitama ning tutvustati ka teist meetodit, mille korral vajalikud protsessid toimuvad ühtlasi lisandite mõjul. Sel juhul tuleb õli pleegitada päikesepaistele asetatud klaastahvliga kaetud tinakastis või ehk mõnest muust materjalist (puit, klaas, plekk) kastis, kuhu on eelnevalt põhja pandud tinalaaste.

Selgitatakse, et tekkiv tinaoksiid lahustub osalt õlis ja kiirendab selle kuivamist, osalt aga moodustab ühendeid õlis leiduva mustusega ning sadestub põhja, mille tulemusena õli selgineb. Hoiatatakse ka, et värvi muutva keemilise reaktsiooni tõttu ei sobi selline õli sideaineks tsinkvalgele. Tina all on aga kõikjal mõeldud seatina ehk pliid.

Manitsetakse, et õli ei tohiks püüda selgindada lahjendatud hapetega, vitrioliga, kuuma vee, potase, soodaga jms., sest nad reageerivad õli osade komponentidega. Tänapäeval on küll (TÜ õppematerjalideski) tõstetud linaõli puhastamise kõige tähtsama meetodina esile nõrgalt happelise vedeliku nagu veiniäädika või lahjendatud väävelhappe lisamist, mis hävitab fosfaatiite ja tumendavaid aineid.

Küll aga õpetatakse 1894.a. õli puhastama järgmisel viisil: 10 toopi vett, 10 toopi linaõli ja tubli pihutäis keedusoola vaadis enam kui tund aega hoolsalt loksutada, mille käigus "sool tõmbab õli vesised ja värvised osad külge, sulab sellega ära ja langeb põhja, sest et soolvesi mitte raksem ei ole kui õli, vaid ka raskem kui harilik vesi."

Mainitakse keedetud linaõli ehk värnitsa paremat kuivamist ja tutvustatakse nii pliioksiidiga kui ilma selleta – nt. tsinkvitrioli või mangaanoksiidiga keetmisviisi.

Traditsiooniliselt kuumutataksegi linaseemneõli metalloksiididega (või karbonaatide või atsetaatidega). Mõnedel andmetel on nüüdisaegse tööstusliku õlivärvi sideaineks modifitseeritud värnits ja metallioksiide ei kasutata.

## **Pinnakatted**

Kuidas ja kas püüti ühepoolset maalingut tagaküljelt kaitsta läbipaistvate pinnakatetega mitmeid sajandeid tagasi, selle kohta õieti andmed puuduvad.

Puidu kaitseks niiskuse eest kasutati küll varakult õlisid, kuid pole andmeid, et ka tahvelmaalide puhul. Vanad egiptlased tarvitasid puumaterjali kaitsmiseks riisiõli.

Roomlane Plinius, kes elas esimesel sajandil m.a.j., kirjutas puupalkide kaitsmisest

keedetud õliga Kreekas enne Aleksander Suure valitsemisperioodi. Venemaal on praegu üsna tuntud vahatamistraditsioon, kuid see ei pruugi pärineda kuigi ammusest ajast. Euroopas peetakse vahakatteid tahvelmaali tagaküljel hilisemate restauraatorite loominguks ja Itaalias ei ole see ka restauraatorite seas olnud sugugi populaarne.

Alustame tagakülje pinnakatetest, sest need on tahvli säilimise seisukohalt väga olulised. Teati, et ühepoolse maalinguga tahvel kaardub ja praguneb, kahepoolsega säilib paremini ja jääb sirgeks. Tagakülgede töötlus oli hoolikam varasematel sajanditel. Sageli krunditi ja maaliti mõlemat tahvlipoolt, mis loomulikult teel stabiliseeris puitu. Kahepoolsete ikoonide valmistamisel võidi alusriie liimida tahvli mõlemale poole. Itaalias liimiti mõnikord ka tagaküljele, Hispaanias mõlemale küljele; Saksamaal ainult tagaküljele.

Tagakülg võidi katta figuraalkompositsiooniga mõnelt kunstniku õpilaselt (Raffaেলilt on säilinud selliseid töid) või ornamentaalse maalinguga, korrates seejuures esikülje kihtide süsteemi, mis kahtlemata mõjus hästi tahvli mehaanilisele ja hügrokoopsele sümmeeriale. kasutati ka krundikihti ning pliimennikut (ühtlasi biotsiid), pliivalget ja muldpigmente. Meieni säilinud tahvelmaalide puhul võib nii Venemaal kui Euroopas pigem märgata tendentsi suuremal või vähemal määral järgida esikülje kihtide programmist ülesehitust ka tagaküljel.

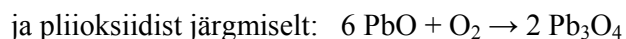
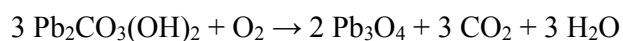
Hispaanias on lepingutes kunstnikega sageli mainitud tahvelmaali tagaküljele esitatavaid nõudeid, leping võis sisaldada märkust, et ainult pahteldatud liitekohad ei ole piisavalt usaldusväärsed ning nõuet katta tagakülg kanepikiududega, lisaks sellele võidi tagakülg kruntida. Kui esiküljele liimiti (tavaliselt linane) kangas ühes tükis, siis tagakülje jaoks kasutati pigem kangaribasid.

Isegi 16. saj. lõpus / 17. saj. alul, kui lõuend oli tahvelmaali välja tõrjunud, kasutati puitpaneeli õlimaalide tagakülje vooderdusena, et mahenda kliimakõikumiste mõjusid.

Itaalia vararenessanssi kunstnike Cimabue (õppinud Bütsantsis) ja Giotto (tema õpilane) tööde tagaküljel on täheldatav punase värvi kiht; Leonardo da Vinci "Kuningate kummardamise" tagaküljel on nii paks pliivalge kiht, et röntgenuuring on osutunud võimatuks. Mürgised ühendid kaitsesid puitu ühtlasi kahjurite eest. Kasutati pliivalget ja pliimennikut koos sideainetega (liim, õli) ning maapigmentidega.

Sellega seoses on põhjust pliimennikust siinkohal pikemalt rääkida, õigemini, lasta seda teha “Maaleri koolil”. Mennikut saadakse pliivalgest ja “kullasiledusest” (ehk pliioksiidist) ettevaatliku kuumutamise, jahvatamise, vee sees puhastamise ja jällegi kuumutamise läbi. Pinnakattena on hea nakkuvusega, ei sobi aga kunstnikuvärviks kalduvuse tõttu halliks või mustjaks muutuda. Enamasti kasutatakse alusvärvina raua kaitseks korrosiooni eest, “sest et linaõliga tehtud mennige isegi vee all kõvaks läheb; sellegipärast ühineb ikka tema üks osa veega, nõnda et ta pikkamööda lahti liguneb, ja et see üks kihvtine värviollus on, siis pole mitte hea metalli ega puud, mis pumbaks, veekünaks jne. saab pruugitud, sellega värvida. Selleks parem on rasvane asvaltvmnis natukese ultramarini lisandusega, mis olluseid igakordse määrimise järele, kui see sündida võib, tõusvas soojuses 60 kuni 70 kraadini Celsiuse järele 2 päeva kõvaks põleda lastakse.” Nagu näete, lugejat halvale teele minna ei lasta.

[Pliimenniku saamisvõimalusi on mitmeid, tinavalgest (pliivalgest) saab teda järgmiselt:



Esimene saamisviis ja kasutamine punase pigmendina oli tuntud juba antiikajal; pigmenti kasutati ka läbi keskaja illumineeritud käsikirjades.]

Ka Põhja-Euroopas tegeleti tagakülgede probleemistikuga kohati gildieeskirjade tasemel; põhjuseks valmiskrunditud tahvlite müümine kunstnikele muude kunstikaupade sortimendis alates 16. saj. lõpust. Eeskirjad sätestati tahvlimeistritele, tagakülje krunt pidi olema koostiselt esikülje krundiga sarnane, sageli kaeti see pruuni või rohelise pigmendiga, sideaineks kasutati õli. Tahvlite tagakülgedelt on leitud ka punakaid ja kollakaid maalikihte. Oletati, et juba õlivärvi kiht takistab puidukahjurite tegevust. 19. saj tavatseti Louvre’is katta tahvelmaale tagaküljelt pliitaidisega õlivärvijääkidega, sageli lisati punast pigmenti.

19. saj. soovitati saksakeelses regioonis tarvitada kattekihiks linaõli punaste pigmentide, nt. punase ookriga, kasutati ka pliimennikut. 1900.a. paiku kasutati Münchenis tahvlite tagakülje impregneerimiseks kuuma linaõli, misjärel kanti pinnale kriidiga küllastatud või šellakiga segatud, pigmendiga õlivärv.

19. saj. lõpust alates soovitati sideainena tselluloosnitraati.

1950-ndatel aastatel kasutati niiskusbarjääradena vaha ning tema segusid naturaalsete vaikudega, kolofooniumi ja linaõliga ning tsükloheksaanvaiguga; kuuma linaõli järgnevate šellakikihtidega, šellakit manila kopaaliga, õlivärve pigmentidega,

tselluloosnitraati, tselluloosatsetaati, parafiiniga lateksemulsioone, veega soodiamsilikaati, PVA-d tolueenis, loomse liimi ja linaõli kriidi v. gessoga rikastatud emulsiooni, ka paberit, fooliumi, lehtmetsa, klaasi, tsellofaani, polüetüleen. 1920-ndatel soovitati tina ja alumiiniumilehti, nendest loobuti 1950-ndatel aastatel. Hügrokoopseid materjale nagu puit- ja vineertahvlid kasutatakse tänapäevalgi. Üks efektiivsemaid originaalilähedase välimuse nõuetele vastavaid niiskusbarjääre on želatiinist ja kahest kihist Saran'ist koosnev pinnakate. Saran F-310 on akrülonitriili ja polüvinülideenkloriidi kopolümeer. Siiski ei ole selle kasutamine praktikas levinud.

### **Maalilakid**

Esikülge kaitsti kattedkihiga, mis pidi olema vastupidav ja hästi läbipaistev. Need nõuded täiuslikult täidetavad ei ole - kõik naturaalsed lakid kolletuvad ajaga.

Vene traditsioonilise temperatehnikas tahvelmaali kattelakid olid valdavalt värnitsa (keedetud linaõli) ja erinevate vaikude – sandaraki, dammari, kampoli, harva ka sulatatud merevaigu – segu. Küllalt tihti leidub ainult vaigul põhinevaid lakke. Ukraina ja valgevene ikoonidel esineb munavalgel põhinevaid kattedkihte, need retseptid on üle võetud Euroopast.

Theophiluse retsept “pegula” valmistamiseks algab lennukalt: “Võta nii palju kuusevaiku, kui tahad...” , jätkub aga palju usaldusväärsemalt “... ja katel, kuhu mahuks teda kaks korda rohkem.” Vaiku tuleb ettevaatlikult, aegajalt katkestades kuumutada, kuni ta enam ei paisu ja ei hakka üle keema. Ja järgmine retsept jutustab juba, kuidas saadud vaigust lakki valmistada, milleks on vaja koos kuumutada 100 osa linaõli ja 75 osa “pegula”-t. Hoiatatakse, et esimese lakikihi peab peale kandma väga õhukeselt, et vältida mullitusi ning liiga paksuks läinud lakki võib vedeldada nafta või keetmata linaõliga.

“Pegula” esineb ka naftast valmistatava laki retseptis: 12 osa sandarakki ja 30 osa “pegula”-t eraldi peenestada ning eraldi nõudes ettevaatlikult sulatada, seejärel kokku valada, kuumutada ettevaatlikult segades ning lisada väga vähehaaval naftat, jälgides, et sandarak ei tõmbuks tükki. Mainitakse, et see hea läikiv lakk kuivab ka varjus ööpäeva jooksul.

Euroopa lakkide koostisosadeks olid kuivavad õlid (linaõlist oli juba juttu), tärpentin ja vaigud.

Peale linaõli tutvustatakse 1894.a. “Maaleri koolis“ olulisemate lakkide koostisosadena merevaiku, kopaali, šellakit, dammarit, mastiksit, sandarakki, männivaiku, elemit, animeed, ladanumit, stüüraksit, bensoed, viirukit, ambrat, asfalti, kopaibapalsamit, peruu balsamit, rosmariiniõli, kiviõli, kamprit ja vaha. Valik on suur! Hulgas on aga mitmeid tehnoloogiliselt ebaolulisi lõhnaaineid, mille kohta koostaja isegi palju muud ei ütle, kui et “lõhnab armsaste”.

Merevaigu kohta öeldakse “Maaleri koolis“, et see on ühe juba hävinenud taimeseltsi vaik ning temast saab sulatades ja linaõliga segades eriti tugeva ja niiskuskindla laki, mille läige ja läbipaistvus aga kopaalile alla jääb. Merevaigu mehaaniline tugevus on tõepoolest suurepärase.

Kopaalivaik võib “Maaleri kooli“ tutvustusel pärineda Aafrikast, Ida-Indiast või Ameerikast, teda on mitut liiki, millest Ida-India kopaal parim on. Õpetatakse, et viimast saab sellest ära tunda, et ta, erinevalt tavalisest kopaalist, põleb vaigse leegiga, jätab pärast leegi ärapuhumist sileda ja heleda pinna ning sütt peaaegu ei teki. Lakk, mida saadakse tärpentinis ja linaõlis lahustades, jääb vastupidavuselt pisut merevaigule alla, kuid on kõige ilusam.

Kopaallaki retsept: kopaali lahustada salmiaakpiirituses, siis soojendada “26 graadini Reaumüüri soojamõetja järel”, ning lisada veidi (kanget, 90-kraadist) piiritust, mida on ettevaatlikult 40 kraadini soojendatud, sobiva konsistentsini.

[Eristatakse pehmeid ja kõvu kopaale, esimesed sulavad temperatuuril 130-180oC, teised ~300o juures.

Pehmed ehk mittetõelised kopaalid, nagu manila, india ja kauri kopaalid ei ületa dammaravaigu, mastiksi ja kampoli kõvadust. Nendest valmistatakse madalakvaliteedilisi kiirestikuivavaid piiritus- ja tärpentinlakke. Sulavad kergesti ja annavad õliga koos laki, mille kile ei turbu vees.

Kõvad ehk tõelised kopaalid, jäänused kunagi kasvanud puudest, leiduvad liivapinnases paarikümne cm kuni 1m sügavusel. Kõige kõvemad nendest on nn. Sansibaari kopaalid. Kõvu kopaale saadakse ka kopaiisapuudelt (*Trachylolium Verrycosum*). Iidsete kopaalide leiukohad olid selle sajandi alguseks ammendatud ja kui belglased

okupeerisid Kongo siis ilmus turule Kongo kopaal, millest sai põhitooraine eriti hinnatud õlilakkide jaoks.]

Šellaki kohta on “Maaleri koolis“ selgitus päritolu kohta (teatud liiki Ida-India putukate eritis). Šellak piirituses on lakina väga vastupidav, aga tume, enam mainitakse šellaki kasutamist kvaliteetse kirjalakina, kusjuures veidi kriiti, värvi ja lõhna tarvis stüüraksit või peruu palsamit lisatakse, kehvematele kirjalakkidele aga pannakse hoopis männivaiku ja enam kriiti juurde.

Puidujahuga segatud šellakist on kuumvormimisel valmistatud prosse ja peene reljeefiga karbikesi; enamasti nad pärast valmistamist termoplastsed ei ole. Nimetatud tehnoloogia sai alguse Ameerikast 19. saj. keskel (Quye ja Williamson 1999). Šellakist valmistati ka grammofoniplaate, kuni ilmus purunemiskindlam, elastsem materjal.

Dammarit (samuti vaik Ida-Indiast) hinnatakse “Maaleri koolis“ küll väga läbipaistvaks ja hästi lahustuvaks, eelmistega võrreldes aga vähem elastseks ja vastupidavaks; lahustada tuleks paraja soojuse juures tärpentinis.

Dammarlaki retsept: 160 g dammarit lahustada 256 g puhta tärpentiniõli sees, segada ja kurnata. Lakkida võiks ilusa läike saavutamiseks 2-3 korda, eelmine kiht peab mõistagi kuivanud olema.

[Dammarvaigu nimetus on pigem üldnimi, vaik võib pärineda küllalt erinevatelt taimedelt. Sulab 80-100°C juures, lahustub ka alkoholis, on hügrokoopne.

Restaureerimises on dammarlakk praegugi väga laialt levinud. Ta ei ole teistest kuigi palju säilivam või läbipaistvam, kolletub ca 30 aastaga, aga tema pöördumus on hea.]

Mastiksi terad on “Maaleri kooli“ andmetel läbipaistvad ja lähevad hamba all lössi. Ta sulab kange viinavaimu sees täielikult, vesise sees aga mittetäielikult; teda lisatakse lakkidele läike andmiseks ja ta on dammarist vähem vastupidav.

[Mastiks on tuntud vähemalt 400 e.m.a. parim on saadud põõsalt *Pistacia lentiscus* (võimalik ka saada põõsalt *Pistacia cabulica*). Mastikslakk muutub peale kuivamist matiks. Kasutati 17.- 18 sajandil maalikattelakina, kuid 18 saj. lõpus asendati teiste vaiklakkidega, sest vananeb kiiremini kui nt. dammar.]

Aga sandaraki läbipaistvad terad, nagu “Maaleri kool“ meile tutvustab, ei lähe hamba all lössi. Kõige paremini lahustub ta alkoholis, teda kasutatakse vahekorras 1 : 2

piirituslakiks. Puhastamiseks keedetakse teda kanges leelises, mis ei tohi olla lubjane. Mõne tunni pärast pannakse ta teise nõusse, kus leelisest vabanemiseks keedetakse veega, loputatakse rohke veega ning laotatakse õhu kätte kuivama.

Ilusa valge laki retsept: kaks untsi veneetsia tärpentini soojendada glasuuritud nõus tasasel tulel, läike ilmudes segatakse 4 untsi peeneks hõõrutud sandarakki vähehaaval hulka; kui kõik on ühtlaseks massiks muutunud, kallatakse segu külma veega täidetud vaagnasse. Juhul, kui segu kivistub, tuleb kogu toimetust otsast alata.

Veel ühes “ilusa valge laki” retseptis antakse järgmine ainete vahekord: 65 g head mastiksit, 10 g sandarakki, 20 g Veneetsia tärpentini, 130 g alkoholi.

[Sandarakki on tõenäoliselt silmas peetud Theophiluse poolt X-XI saj. kirjapandud lakiretseptis, mille järgi tuleb linaõlisse lisada peenestatud “araabia kivi” ning kuumutada segu keetmata kuni mahu vähenemiseni kolmandikuni esialgselt. Teises, keerulisemas retseptis õpetab Theophilus sama lakki valmistama sulatatud vaigust ja soojendatud linaõlist vahekorras 1 : 2. Meenutame, et eespool oli juba temalt üks sandaraki ja “pegula”-ga lakiretsept ning siia lisame veel ühe. Võtta 25 drahmi kõige kangemat, neli-viis korda läbiaetud vodkat kannu ning katta taagnaga, keeta hõõguvatel sütel ja keetes lisada 10 drahmi peenestatud sandarakki ning kui see on lahustunud, 5 drahmi “pegula”-t, keeta veel veidi segu ühtlustumiseni, kurnata. Enne temaga lakkimist tuleks soojendada nii lakki kui ikooni (kas päikese käes või tule ees). Lakk kuivab ka varjus, üle kahe lakikihi ei ole vaja. Säilinud ka XII – XV saj. retsepte sandaraki kasutamisest segus linaõliga. Ta on happeline, kiirelt kolletuv, annab väga tugeva kattekile.]

Männivaigust räägitakse “Maaleri koolis“, et ta ühineb sulanuna hea meelega tärpentini ja linaõliga. Kasutatakse lakkide lisandina palju, kuigi on ebapüsiv, pude ja tumedat värvi. Teda saab heledaks, kui sulatamise ajal lisada äädikat või vett ning lasta tulel olla kollase vaha värvuse ja konsistentsi saavutamiseni; seejärel kurnatakse.

Kautšuki kohta saame “Maaleri koolist“ teada, et see on väljamaa taimede väga painduv sahv, mis paisub pikemal keetmisel vees, veel enam aga puhastatud tärpentinis, kiviõlis, eetris ja kautšukiõlis. Laki valmistamiseks tuleks ta paisutada tärpentiniõlis ning lahustada soojas, pliioksiidiga keedetud linaõlis, vedeldada seejärel tärpentiniga. Lakk sobib eriti hästi siidimaalile (painduvus!), ta ei lahustu hapetes ega alustes, ka mitte

alkoholides ja vees, teda ei mõjuta kahjulikud gaasid. Soovitatakse lisada kattelakkidele elastsuse parandamiseks.

Elemi on Ida-India taimevaik, lahustub soojendatud piirituses ja tärpentinis ning vähendab lakkide pudedust. [“Maaleri koolil“ on taas õigus. Tuntuim on Filipiinidelt *Canarium luzonicum* puuliigilt pärinev Manila elemi, annab lakkidele elastsust.]

Animee pärineb Brasiiliast ning teeb lakid vastupidavaks ja healõhnaliseks; lahustub aeglaselt piirituses, tärpentinis ja linaõlis, ütleb “Maaleri kool“.

[saadakse *Hymenaea* sugukonna puudelt, mis kasvavad Lõuna-Ameerikas, sulab kergesti soojas, kuid ei lahustu vees ja peaaegu mitte (soojendamata) alkoholis, kasutusel parfümeerias ja lakitööstuses, omadustelt sarnane kopaaliga.]

Ladanum on healõhnaline, pehme ja mustjaspruun, lahustub alkoholis, sobib kuldlaki hulka.

[Ladanum on *Cistaceae* sugukonna rohttaimede eritis, seda korjasid antiikajal karjused loomade villa küljest, Egiptuses immutati sellega vaaraode valehabemeid, väga meeldiva lõhnaga, kasutusel ka meditsiinis. Vaiguna plastiline, kuid ajaga muutub rabedaks.]

Stooraksit hinnatakse “Maaleri koolis“ hea lõhna pärast, kuid hoiatatakse, et ta vähendab laki kestvust ja seda kestvamad peavad olema teised koostisosad.

[Stooraksipuu vaiku on antiikajast tänini kasutatud arstimina, lõhnaainena, suitsutusainena (nt. madude peletamiseks), antiseptiline, pärineb Ida- ja Kagu-Aasiast.]

Kamper aitab kergemini lahustada mõningaid vaike, nt. kopaali ning anda lakile elastsust, samas hoiatab “Maaleri kool“, et sellega liialdamine teeb laki häguseks.

Vahast räägitakse pisut pikemalt. Ta lahustub keevas eetris ning kuumutatud lenduvates õlides. Aeglaselt saab vaha lahustada puhtas potases ( $K_2CO_3$ ), mida peab esmalt soojas vees sulatama ning siis segades, aeglaselt ja väikeste tükkidena vaha lisama. Saadud võitaolist ollust saab kattekihina pruukida: vedeldatakse veega, määratakse pind üle ning soovi korral poleeritakse harjaga läikima; sobib ka liimvärvidele. Eelpool on teada antud, et eetrit  $(C_2H_5)_2O$  valmistatakse piiritusest ja mõnest happest, ka kloori, broomi,

joodi vm. abiga. Ta sulatab rasvu, mõningaid vaike, värve ja kautšukit ja teda kasutatakse lahustina. [Tänapäevalgi on vaha levinud lisand mattlaki valmistamisel.]

Nagu mainitud, lakid kolletuvad ajaga ning moonutavad maali värvigammat. Kuidas vana lakki maha võtta? Päris tavaline on “Maaleri kooli“ soovitus järgimine: “Kange viinavaim terpentiniõliga ühendatult ja iseäranis kui mõlemad soojalt peale on määritud, võtab vana laki korra lahti.” Ka tänapäeval kasutatakse maalidelt kolletunud lakikihi eemaldamiseks sageli piirituse ja tärpentini segu 1:1, tõsi, kunstiteoste puhul ettevaatlikult, soojendamata ja sageli segus veega. Kuidas soovitab aga “Maaleri kool” ise vanu õlimaale puhastada? “Ialgi ärgu antagu seda tööd niisuguste inimeste hooleks, kes oma ülesande väärtust ei tunne. Ettevaatamata olek teeb lõpmata kahju.” on esimene õpetus (aktuaalne igal ajal!) ning järgnevalt soovitatakse esialgu ettevaatlikult veega ja švammiga toimetada, tulemuste puudumisel aga sulatada vette pisut maarjajääd ja seepi ning švammi alati puhta vee sisse välja pigistada, jälgides, ega mustuse ja vana lakiga koos värvi maha ei tule. Ettevaatlikku seebivahuga pesemist kasutatakse tänapäevalgi, tarvilik lisamärkus oleks pinna hilisem puhastamine jääkidest puhta (destilleeritud) veega, ning kasutatakse vatti, mida sageli vahetatakse; niiske töötlus on lubatav ainult hästikinnitunud maalikihi puhul. Me ei saa aga seda soovitus hinnata tänapäevaste vaadete täiesti kõrguselt, ajastu tausta arvestades võiks selle õpetuse asemel olla kergesti midagi täiesti lubamatut.

### **Seente- ja kahjuritevastane töötlus**

On teada, et osati ära kasutada kahjuritevastase toimega puuliikide omadusi. Eriti sobiva tahvelmaali alusena kasutati küpressi (seda läbi Rooma ja Bütsantsi ka hilisemas Vene ikoonimaalis, kus tema kasulikke omadusi küll teati, aga siiski vaid eriliste tööde jaoks telliti) ning muust puidust tahvleid võidi immutada tagaküljelt kahjuritõrjeks küpressiõliga.

Keskaegsest Hispaaniast on säilinud andmeid, et puidu esimesel immutamisel enne kanga vm materjali liimimist lisati liimilahusesse fungitsiidina küüslauguekstrakti. Vana saksa retsept pakub tahvlite fungitsiidiks järgmist segu: 1,5 l äädikat, 12,5 g küüslauku, 25 g sibulat, 11,5 g soola, 80 g vermuti lehti (see peaks ilmselt olema mürgine ja antiseptiline *Artemisia absinthium*, lõhna tõttu ka traditsiooniliselt kasutusel pestitsiidina), 2,25 g terapipart.

Kahjurite vastseid loodeti hävitada segudega tubakalehtedest, piprast, viirpuust, loorberilehtedest, aaloest, mürrist ja küüslaugust.

Putukate ja hallituse tõrjeks kasutati soolalahuseid, prooviti ka lahustuvate soolade ja arseeni kombinatsioone.

Pliimennikut on mainitud eespool pinnakatete seas.

18. – 19. saj. kasutati mürgist elavhõbekloriidi  $Hg_2Cl_2$ , mida saksakeelsetes maades tarvitati tervete altarite immutamiseks 1950-ndate aastateni.

On kasutatud ka naftaleenkloriidi, diklorodifenüültrikloriidi (DDT), pentaklorofenooli, lindaani (heksaklorotsükloheksaan, kasutusel ka praegu puithoonete töötlemisel, mille juures on ohtlik näiteks looduskaitsealustele nahkhiirtele Eestis). 20. saj. keskel kasutati Louvre'is putukkahjustustega tahvlite desinfitseerimiseks Xylamoni (pentaklorofenooli ortokloronaftaleeni segu). Nimetatud mürgised ained eralduvad puidust ja saastavad keskkonda pika aja jooksul.

19. saj. algul soovitati immutamiseks õlised – kadaka-, kase-, nelgi-, tüümiani-, lavendli- ja sidruniõli. 19. saj. keskpaigani kasutati petrooleumi ja tema derivaate, mis tumendavad tugevasti töödeldud puitu, eriti tamme, nagu ka tõrvaõli, kusjuures tumenemine on pöördumatu. Sellesse efekti suhtuti kui kaunistusse ning alles 1950-ndatel aastatel hakati tähtsustama originaalilähedast välimust niivõrd, et ilmus nõudlus värvitu ja mittetumendava töötamise järele.

Fumigeerimist tunti juba antiikajal, kasutatavad ained on suuresti muutunud. 18. saj. kasutati vääveldioksiidi, 1880-ndatel sinihapet  $HCN$ . Tänapäeval on saadud häid tulemusi lämmastikuga ja süsihappega  $H_2CO_3$ . Fungitsiidina on kasutusel nt. sünteetilise püretrinoidi lahus heptaanis, Prantsusmaal süsiniktetrakloriid - magusalõhnaline kergesti aurustuv vedelik, mida kasutatakse rõivaste kuivpuhastuses ja rasvaeemaldajana, kahandab osoonikihti, tema lõhustumiseks atmosfääris kulub 42 aastat. Eestis on kasutatud ikonostaaside töötlemiseks Aidol Anti-Insekti, mille toimeaineks on deltametriin, lahustiks isoparafiinsed süsivesikud 60-80%, kristallõli 60 10-20%, propanool 5-10%.

Arvestatavaks võimaluseks on ka polüetüleeni pakitud tahvelmaalide mõnepäevane sügavkülmutamine  $-18^{\circ}$ - $20^{\circ}$  C juures kahjurite hävitamiseks.

## Elu pärast elu

Varasematel aegadel oli kahjustunud maali kerge remont vastavuses tema valmistamisvõtetega ja ei pruukinud halvasti mõjuda, näiteks väikeste pragude täitmine on süütu tegevus, kui täiteaine ja sideaine proportsioon on mõistlik. Ohtlikud olid suuremad parandamised – nagu tänapäevalgi. Ka oli värvide värskendamiseks väga levinud ülemaalimine ning see, kuidas aluspinda eelnevalt koheldi (nt. abrasiivmaterjalidega), et ülemaaling paremini nakkuks, võis olla väga barbaarne. Siiski on üsna suur osa keskaja kunstist, eriti vene ikoonimaalist, säilinud ülemaalingute all. Mitmesuguseid ebasobivaid meetodeid on kasutatud kaardunud tahvlite sirutamisel (nt. 19. saj.) – tahvlid niisutati, asetati neile raske raamistik, kasutati kuuma sütt, liiva, telliseid, tulemuseks pesulaua efekt esiküljel.

Erinevatel aegadel ei ole mõistetud tahvelmaali terviklikkust ühtemoodi. Küllalt pikka aega nähti restaureerimisväärilisena ainult teose maalinguga külge ja alustahvel otsekui ei kuulunud tema juurde. Lubatud oli näiteks kahepoolse maalinguga tahvlit mugavamaks eksponeerimise jaoks pooleks saagida. Varasem dokumenteeritud kahepoolse maali pooleks saagimine on 18. saj, ohvriks langes Lucas Cranach Noorema töö 16. sajandist. Sel viisil tegutseti veel 20. saj. alguses mõnes Saksamaa mainekas muuseumis laial rindel (kuigi vastuväiteid publitseeriti nt. 1912.a.). Loomulikult on poolitamine isegi õnnestumise korral mõlemale säilinud maalingule väga ohtlik – teineteise läbi olid nad võrdselt kliimakõikumiste eest kaitstud, avatud pind seda ei ole, lisaks on õhem tahvel alati tundlikum. Pealegi juhtus kaardunud tahvlite poolte lahutamisel suuri õnnetusi ja teatud määral on neidki dokumenteeritud. Samuti mõjutas protestantlikes maades kahepoolseid tahvleid pooleks saagima kaubanduslik huvi, kui sekulariseerimise tulemusel kirikuvarad turule ilmusid. Halvasti säilinud tahvlit ei peetud säilitamisvääriliseks, seda õhendati ja vahetati välja. Uuele alusele kandmise tehnika arenes Cermonas ja Napolis 1711 ja 1725.a. vahel. Prantsusmaal on maalide uuele alusele kandmisest kirjalikke andmeid 18. sajandist, ka on Louvre'is mõningaid 19. saj. uuele alusele kantud maale, mis on tänini heas seisundis.

Üks leebemaid meetodeid, kasutusel ca 19. saj. keskpaigani, on tugevasti seotud mööblitöööstuse võtetega. Õhendatud maalialust käsitleti vineerikihina, ta liimiti toetavale tahvlile ristikiudu, mille tagaküljele, sellega omakorda ristikiudu, liimiti veel

üks originaali puitosaga ühepaksune vineerikiht. Pinged jäävad üsna hästi tasakaalu ning sel viisil restaureeritud töö võib kaua püsida heas seisukorras.

Küllalt palju on 19. saj. kantud tahvelmaale üle lõuendile, mida peeti puittahvlist niiskus- ja kahjurikindlamaks, seda soodustas ka lõuendi kergus.

Hiljem on õhendatud maale dubleeritud vineerile ja epoksüvaiguga lamineeritud, klaasplastiga kaetud kärjeliste alumiiniumtahvlitele.

Laiemalt oli ülekandmine levinud 1938. aastani, aeg-ajalt kasutusel 1950-ndateni.

Ca 1968-ndast aastast on dubleerimistel kasutatud vaakumlauda.

Selle kõige tulemusel ongi väga paljudel maalidel muuseumides pöördumatult hävinud algne tervik ning püütakse leida võimalikult häid mooduseid, kuidas stabiliseerida juba palju taluma pidanud maale, mille tagakülje originaalilähedane välimuse ei ole enam niigi oluline. Sellel suunal on saavutatud ka väga häid tulemusi – leiutatud fikseeriv liugraamistik ja balsatahvlistest vooderdus.

Liugraamistik on 18. saj. prantsuse peentislerite saavutus. Tema toime on puhtmehaaniline pingete jaotamine, ta näeb välja nagu üsna tihe rest, originaaltahvli puidukiududega paralleelsed põõnad on fikseeritud tahvli külge liikumatult, ristised hoiavad neid ühes tasapinnas, kuid lubavad vedrude abil liikuda laiusse. Eelistatud materjaliks on mahagon. Algne eesmärk oli sirutatud tahvli sirgena hoidmine.

Itaalias näitas 1966.a. ülejutus, et paneelide ühendamiseks väga sobiv, eriti stabiilne puit on mansonia (kergelt mürgise lülipuiduga puu Ghana, Elevandiluuranniku või Nigeeria vihmametsadest).

Balsatahvlistest vooderdus (välja töötatud 1967.a.) näeb välja nagu hulknurksetest tahvlitest parkett. Ta on ühtaegu pingete jaotaja ning mahendaja kui ka niiskusbarjäär. Optimaalseimaiks peetakse kärjekujulisi tahvleid, mis on taluvad hästi erisuunalisi pingeid. Tahvelmaal impregneeritakse tagaküljelt Saran F 310-ga (võib asendada Paraloid B72-ga), sama sideainega liimitakse sellele klaaskangas, sellele kantakse mõrdina vaha-vaigu segu puidujahu ja kaoliiniga ning laotakse balsatahvlid. Kuivanud pind lihvitakse ja kaetakse Sarani ning viimistluslakiga. Selliselt töödeldud maalid on mitukümmend aastat püsinud väga stabiilsed, materjal on edukalt läbinud vanandamiskatseid. Ilmselt on tegemist kõige parema variandiga originaalvälimuse niigi kaotanud tagakülje jaoks.

Ka putukkahjustusega tahvlitega ümberkäimisel on piisavalt huvitav ajalugu. Teatavasti võivad kahjurid hävitada puidu täielikult ning väga urbane, vahvli tugevusega alustahvel on nende hoogsa elutegevuse tavaline tulemus. Maaling püsib koos peamiselt iseenda jõul, väiksemgi müks võib põhjustada maalikihi deformeerumist ja sisselangemist. On dateeritud mõningaid 17. saj. teostatud restaureerimisi, kus on tahvli kõlbmatuks muutunud osi asendatud puutükkide ja liimiga, mis on põhjustanud hiljem suuri kahjustusi maalikihi (uus tugev sideaine või erineva karakteriga tugev kompaktne tükk mängib ülejäänud alusest teisiti ning ühtlasi hoiab maalikihist altpoolt kõvasti kinni). Kuni 1950-ndate aastate lõpuni oli nt. Itaalias tavaks ulatuslike putukkahjustustega maale kanda uuele alusele, sageli muutus seeläbi tahvelmaali faktuur lõuendile maalitud teose sarnaseks.

Mõõdukamalt kahjustatud tahvli puüti tugevdada immutamise teel. Traditsiooniliselt kasutati selleks vahasid, vaike ja loomseid liime. Vaha tugevdav efekt on minimaalne, objekt näeb välja määrdunud ja hakkab tolmu koguma, lisaks on vahajääke võimatu täielikult eemaldada, mis raskendab töötlust muude sideainetega juhul, kui see peaks vajalikuks osutama.

Loomsed liimid ei imendu sügavale, niiskuse mõjul nende ruumala kõigub ning nad muutuvad aja jooksul rabadaks. Vana meetod on immutada loomse liimiga, millele on kõvendajana lisatud maarjajääd, soovitatud on ka kaseinliimi ja maarjajää segu, mida kasutati veel 1950-ndatel aastatel. Loomsetest liimidest immutusainetena on praeguseks loobutud.

1922.a.-st pärineb soovitus kasutada fenooli ( $C_6H_5OH$ ).

Täidistena on kasutatud kriiti, kõvade puuliikide saetolmu, saepuru või dekstriini segus fenooliga, vaha-kolofooniumi segusid. Üksikute defektide täidiseks on väga tüüpiline loomse liimi-kriidikrunt.

Immutamiseks on kasutatud linaõli, eriti Venemaal, kuid sellest on loobutud, sest linaõli on eemaldamatu, initsieerib happelisi protsesse puidus ning tugevdav efekt on minimaalne.

Saksakeelsest regioonist pärineb soovitus immutada kopaali, tärpentiini ja värnitsa seguga (1834.a.).

Vaigud tugevdavad vaid mõõdukalt ning muutuvad ajaga samuti rabadaks. Laialt on kasutatud dammarit, kampolit ja šellakit – nt. 1950-ndatel aastatel Austrias kinnitati üks suur altar, kasutades selleks 1500 liitrit etanoolis lahustatud šellakit. 1952. aastal on

kasutatavate ainetena mainitud tärpentinis lahustatud kolofooniumi, erinevaid vahasid ja vaike, nende segusid, linaõli, hiina puuõli.

Tselluloosi derivaate hakati kasutama 19. saj.lõpus, tänapäeval on sellest praktiliselt loobutud, sest nad imuvad halvasti, muutuvad rabadaks ja muudavad värvi.

1970-ndatest aastatest alates on kasutusel sünteetilised, eriti akrüülvaigud.

Formaldehüüdvaivaigud on veekindlad, vastupidavad, nakkuvad hästi, kuid imuvus on väike ning kõigile peale melamiinformaldehüüdvaikude on iseloomulik tumenemine ajaga.

Epoksüvaikude kasutamise suur vastuargument on pöördumatus. Nad imuvad puidu struktuuri halvasti, kuid leidub ka väikese molekuliga epoksiide, mis on vastavalt parema imuvusega. Positiivne on see, et kõvastumisel mõõtmed praktiliselt ei muutu.

Mõnikord loetakse õigustatuks kasutamist väga raskelt kahjustatud puidu puhul.

Termoplastsetest vaikudest on parimate omadustega metüülmetakrülaad, veel on puidupolümeeride tootmiseks kasutusel stüreen, vinüülatsetaat ja akrülonitriil. Praktikas esineb samuti probleeme pöörduvusega; väga raske on kindlustada esikülje puutumatus immutamisel.

Lahustes kasutatavad termoplastsed polümeerid on PVA, polüvinüülbutüraal, akrüül. Lahustatud nailonit ca alates 1984. aastast enam ei kasutata põiksidestumise ja vähese vastupidavuse tõttu. Vähemalt teoreetiliselt on need ained pöörduvad, PVA ja akrüül on end ka stabiilsena näidanud. Ohuks on see, et lahustid võivad põhjustada puidu paisumist.

On selgunud, et immutamisel on oluline lahusti polaarsus – polaarsed lahustid võivad kinnituda puidu sisepindadele ning ka paisutavad puitu, mis on ohtlik maali- ja krundikihtidele. Katsed näitavad pingerida toluen (paisumine tangentsiaalses suunas alla 1%) – atsetoon (1 – 2,2%) – metanool (üle 3,3%). Samuti püütakse eelistada madalama keemistemperatuuriga lahusteid kõrgema keemistemperatuuriga lahustitele, et vältida lahustiaurude püsijäämist töödeldud materjalis. Lahustite jäägid pärast immutust alandavad klaasistumistemperatuuri ning tahvel tugevneb vähem. Ses osas on atsetoon üks paremaid lahusteid.

Polaarsete lahustite kasutamine annab termoplastsete vaikude puhul suurema murdetugevuse võrreldes mittepolaarsetega.

Termoplastsetest vaikudest on väga head tugevdavad omadused PVA-I, Butvar B92-I, järgneb Paraloid B72. Kui on võimalik valida, milles näiteks paraloidi lahustada, siis tasub mõelda sellele, et atsetooniaurude poolletaalne doos rottidele on 16000 ppm,

tolueeniaurude poolletaalne doos aga 5000 ppm ([www.finish-pro.com/Products/MSDS/FPR-143.pdf](http://www.finish-pro.com/Products/MSDS/FPR-143.pdf)).

Efektiivseim immutus toimub vaakumis.

Immutusainete mõjud puidu edasisele hügroskoopsusele ei ole ühesugused. Efektiivseim on metüülmetakrülaad, vähem efektiivne on butüülmetakrülaad; Paraloid B72 puhul aga ei näidanud katsed mingit mõju puidu niiskustaluvusele. See on ka ootuspärane, sest tema molekulmass on liiga suur, et siseneda puidu rakkudesse ja liibuda nende seintele ning niiskuse liikumisele jääb hulk teid avatuks.

Termoplastsete immutusainete pöörduvust on ka katseliselt uuritud. Täielikult eemaldatavaid polümeere ei ole, kuid paremini alluvad töötlusele AYAT (polüvinüülatsetaadil põhinev vaik) ja Paraloid B72 võrreldes Butvar B92-ga ning töötluseks sobivad paremini atsetoon ja metanool võrreldes tolueeni või tolueeni-etanooli seguga.

### **Kokkuvõtteks**

Uuema aja tootmisega tegelevad spetsialistid. Materjalide ohutus inimese suhtes on suurenenud. Mürgiseid ühendeid välditakse. Eraldi võetuna on paljud uued väljatootatud materjalid suurepärased ja ka traditsioonilisi materjale suudetakse valmistada nõudlikul tasemel ning ühtlase kvaliteediga.

Kuid tagasimineku on tervikliku tehnoloogia kasutamises teoste loomisel. Vanemal ajal hoolitses läbiproovitud tehnoloogia järgimise eest ametiõppijate pikaajaline tegutsemine kogunud meistrite käe all. Sageli tundsid meistrid teose säilimiseks vajalikke tingimusi paremini kui mõned sajandid hiljem restauraatorid. Tänapäeval vaatab igaüks ise, mida ja mil viisil kasutada, restauraatorite jaoks aga on kõige hirmsamad ülesanded 20. saj. kõikvõimalikud segatehnikad ning nad eelistavad restaureerida tehnoloogiliselt õigesti valmistatud, vähemalt paarisaja aasta vanuseid maale.

Kunstnike vabastamine materjalide valmistamisest on põhjustanud petliku kindlustunde. Näib, et tegelikult võib kombineerida üldse kõike, mitte ainult valmis kunstmaterjali teise kunstmaterjaliga, vaid muuks otstarbeks valmistatud materjale, plasttaarat, huvitavalt kahjustunud looduslikke materjale, klambreid ühenduses juhuslike aluspindadega, jne. Sageli ei suudeta üldse ette kujutada endaloodud teoste kui erinevate materjalide kombinatsioonide säilimise perspektiive.

Teine äärmus on püüd teha “kõike nii nagu vanal ajal”. See on väga romantiline, aga seejuures ununeb näiteks inimese ohutus seda kergemini, et tegelikult ollakse ohutu fooniga juba harjunud. Vale ümberkäimine ehtsate mürgiste pigmentidega võib põhjustada raskeid õnnetusi. Kui retsept on vana, siis loetakse ta automaatselt ka heaks, samas võib ka meieni säilinud retsept olla poolik, vigane, valesti ümberkirjutatud või mitte eriti hea. Miskipärast arvatakse, et naturaalsed materjalid ei rikne ega reageeri. Kui materjal on looduslik, siis jäetakse tema kasutamise varjuküljed meelega tähele panemata.

Otsustel, mida vanad meistrid materjalide kasutamisel tegid, oli konkreetne eesmärk mõjutada ainete abil aineid. Väga raske on leida ülestähendusi, mis väidaksid kunstiteoste säilivuse olevat sõltuvuses pühitsemisest ja rituaalidest. Sellest võis sõltuda nende hingeline mõju kasutajale või omanikule. Teoste füüsilise säilivuse osas oldi pragmaatikud.

Küllap oleks praegugi parim lahendus püüda arukalt kasutada tänapäeval toodetavaid materjale, arvestades võimalikult suurt osa käesolevaks ajaks omandatud kogemustest.

### **Lisa 2 jaoks kasutatud kirjandus**

1. Bergeon, S., Emile-Màle, G., Huot, C. ja Baij, O. (1998) The Restoration of Wooden Painting Supports. Two Hundred Years of History. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
2. Bret, J., Jaunard, D. ja Mandron, P.(1998) The Conservation-Restoration of Wooden Painting Supports. Evolution of Methods and Current Research in the Service de Restauration des Musées de France. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.

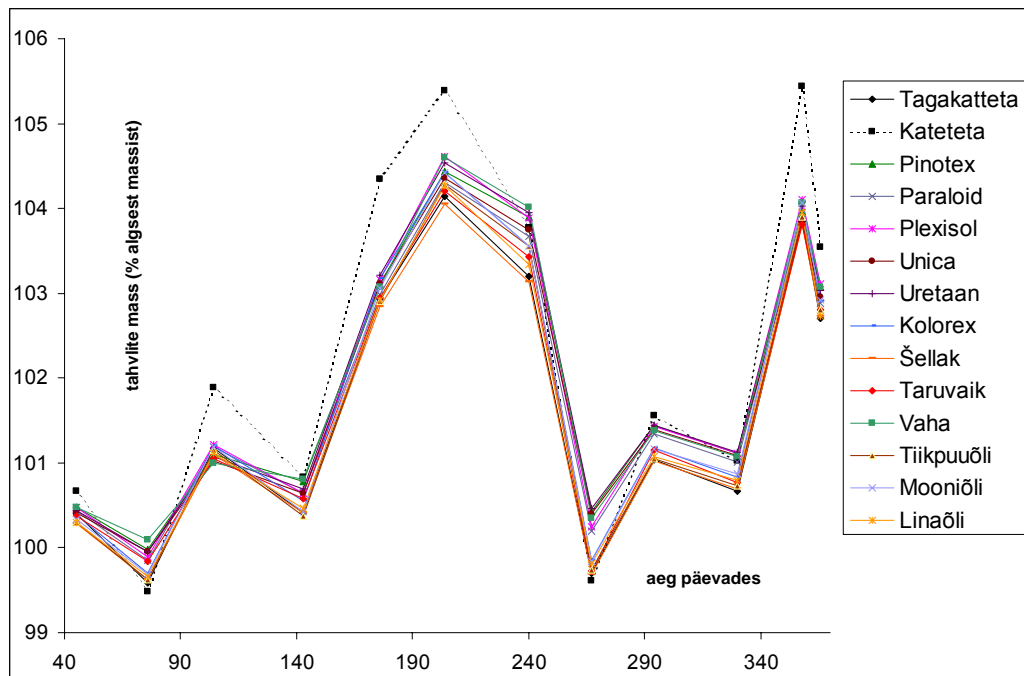
3. Grenberg, J.I. (1987) *Технология, исследование и хранение произведений станковой и настенной живописи*. Государственный научно-исследовательский институт реставрации, Moskva.
4. Ovtšinnikov, A.N. (1998) Kattekihtidest keskaegses temperamaalis. Kogumikust: *Restavratsija ikon*. Kirjastus Lito-press.
5. Peets, H. (2005) *Kelmemoodustajad konserveerimises*. Lehekülg internetis: <http://www.kanut.ee/loengud/loeng06.pdf>
6. Pere, R. *Linaõlivärv kogub taas populaarsust*. Lehekülg internetis: <http://www.renoveeri.net/?id=204>
7. Rothe, A. (1998) Critical History of Panel Painting Restoration in Italy. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
8. Schiessl, U. (1998) History of Structural Panel Painting Conservation in Austria, Germany and Switzerland. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
9. Schniewind A. P. (1998) Consolidation of Wooden Panels. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.), lk. 87–107. Getty Conservation Institute, Los Angeles.
10. Skaug, E. (2006) “The Third Element” Preliminary Notes on Parchment, Canvas and Fibres. *Medieval Painting in Northern Europe*. Toim. Nadolny, J ja Kollandsrud, K.
11. Tõnisson, M. (1894) *Maaleri kool*. Tallinn.
12. Uzielli, L. (1998) Historical Overview on Panel-Making Techniques in Central Italy. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
13. Wadum, J. (1998) Historical Overview of Panel-Making Techniques in the Northern Countries. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.

14. Véliz, Z. (1998) Wooden Panels and Their Preparation for Painting from the Middle Age to the Seventeenth Century in Spain. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
15. Williams, D.C. (1998) A Survey of Adhesives for Wood Conservation. Kogumikus: *The Structural Conservation of Panel Paintings. Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum 24-28 April 1995* (koostajad Dardes K. ja Rothe A.). Getty Conservation Institute, Los Angeles.
16. Autor märkimata (viimati alla laetud 16. mail 2010) Lehekülg internetis: [www.finish-pro.com/Products/MSDS/FPR-143.pdf](http://www.finish-pro.com/Products/MSDS/FPR-143.pdf)
17. Autor märkimata. Lehekülg internetis:  
<http://www.paideyg.ee/kunstiajalugu/kunst/tekst/vahad.html>
18. Autor märkimata (1978). Euroopa Liidu Teataja L 223. Lehekülg internetis: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31978L0663:ET:HTML>.
19. Autor märkimata. *Gums & Resins*. Lehekülg internetis:  
<http://www.faculty.ucr.edu/~legneref/botany/gumresin>
20. Autor märkimata. *Lühiülevaade maalimaterjalidest: värvidest, pigmentidest ja sideainetest*. Tartu Ülikool, Tartu. Lehekülg internetis:  
[http://tera.chem.ut.ee/~ivo/tech\\_anal/Varvid.doc](http://tera.chem.ut.ee/~ivo/tech_anal/Varvid.doc).
21. Autor märkimata. *Päike, osoonikiht ja inimene*. Keskkonnaministeerium ja Tartu Observatoorium. Lehekülg internetis: <http://digar.nlib.ee/otsing/stream?pid=nlib-digar:5878&file>

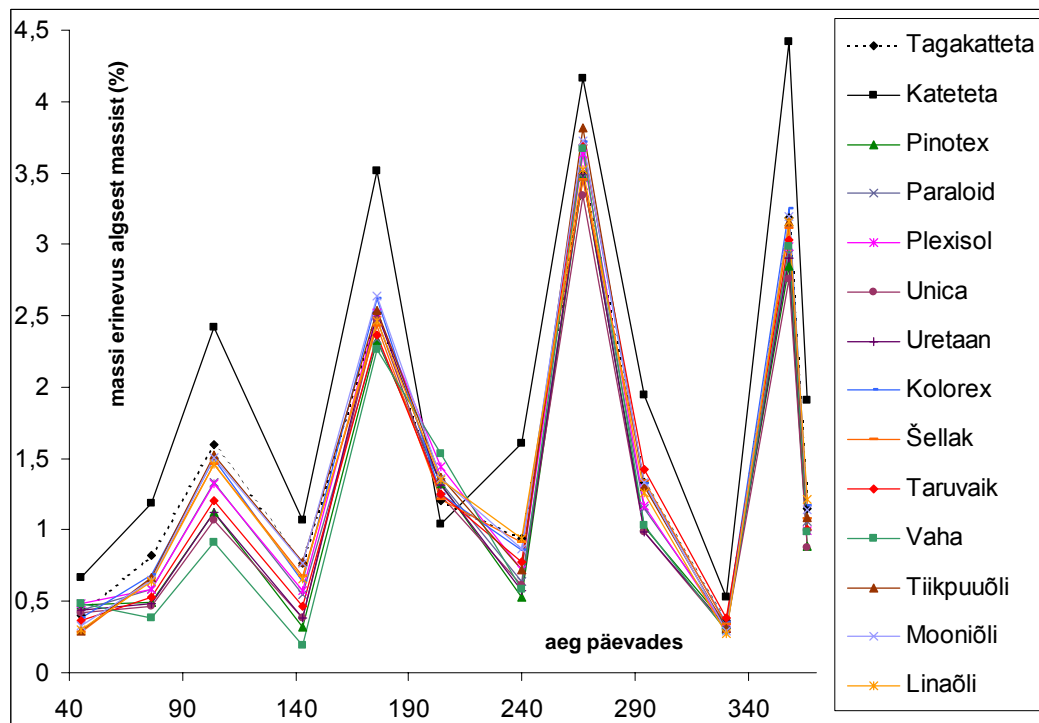
## Lisa 3

### Graafikud ja mõõtmistulemused

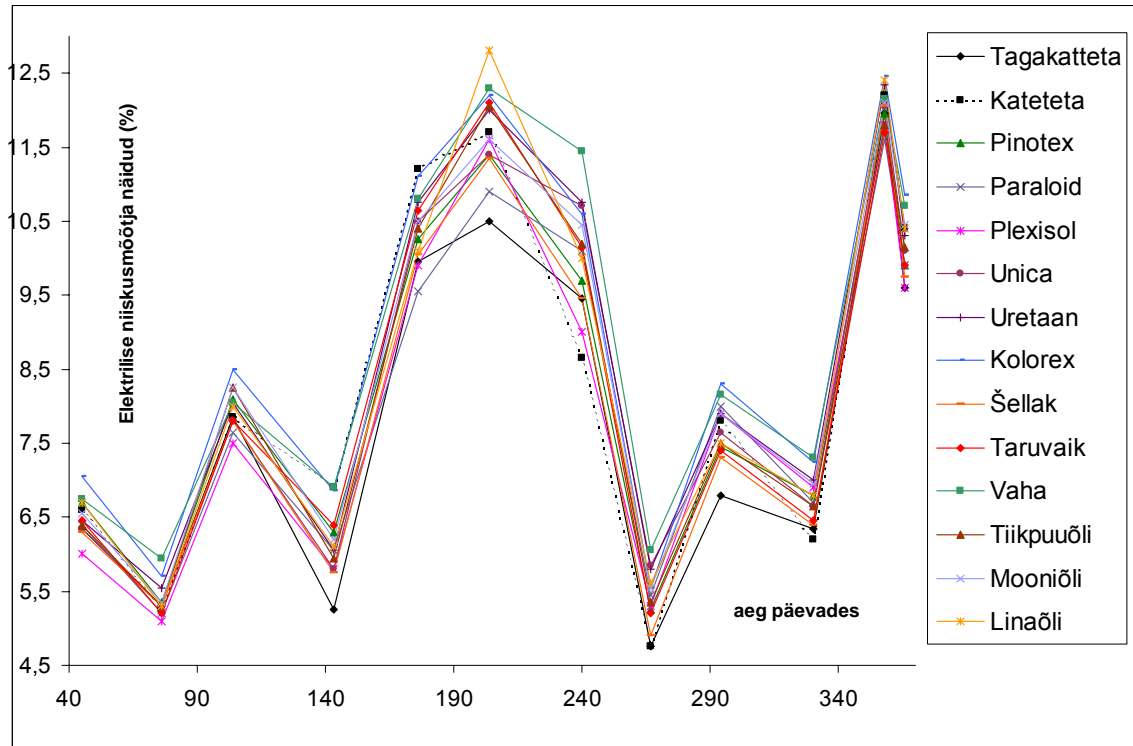
#### 1. Erinevat liiki suurtahvlite (ST) massid katse vältel



#### 2. Tahvlite massi kõikumine alkaalu suhtes. (Näeme, et kui kliimamõjutused katse käigus tugevnesid, muutus pinnakatete kaitsevõime nõrgemaks ja üksteisega sarnasemaks.)

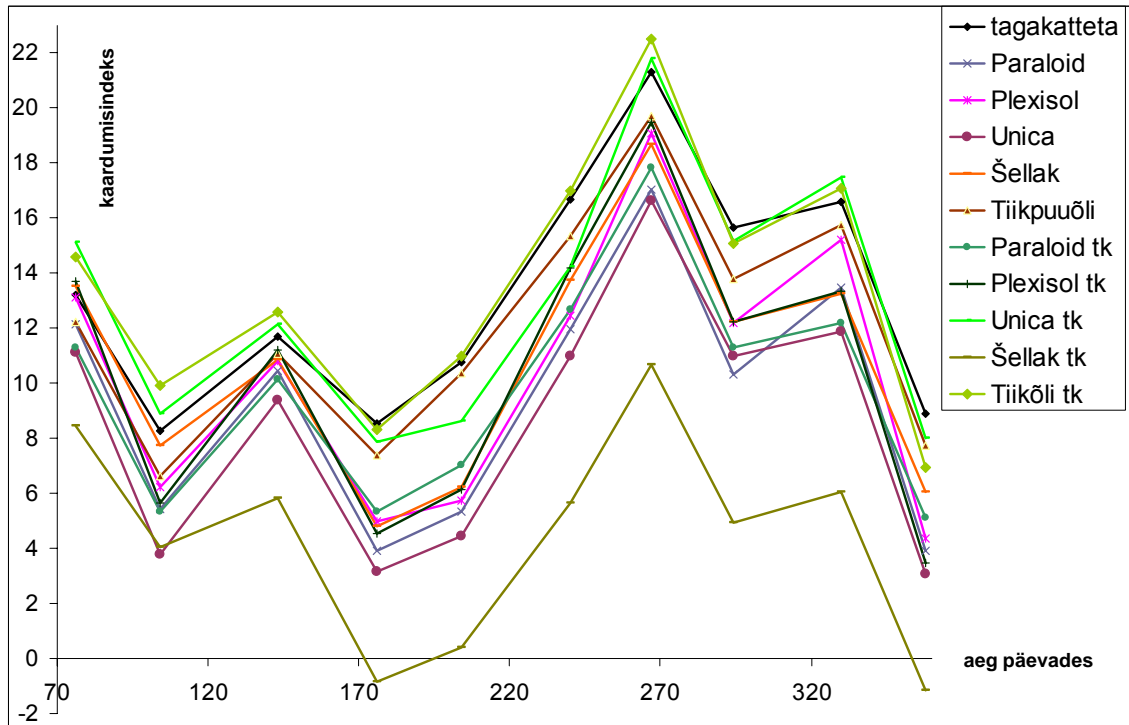


3. Erinevat liiki ST-de elektrilise niiskusemõõdja Gann Hydromette Compact näidud.

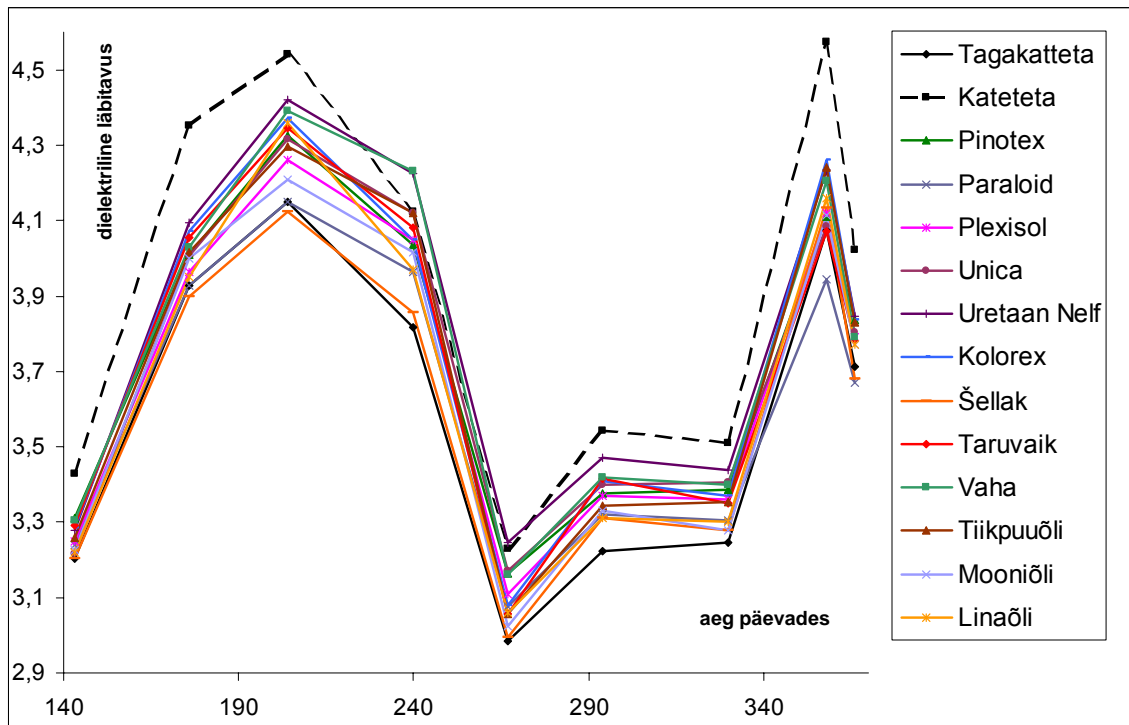


4. Tulekaitsega ja tulekaitseta VT-de kaardumisindeksid.

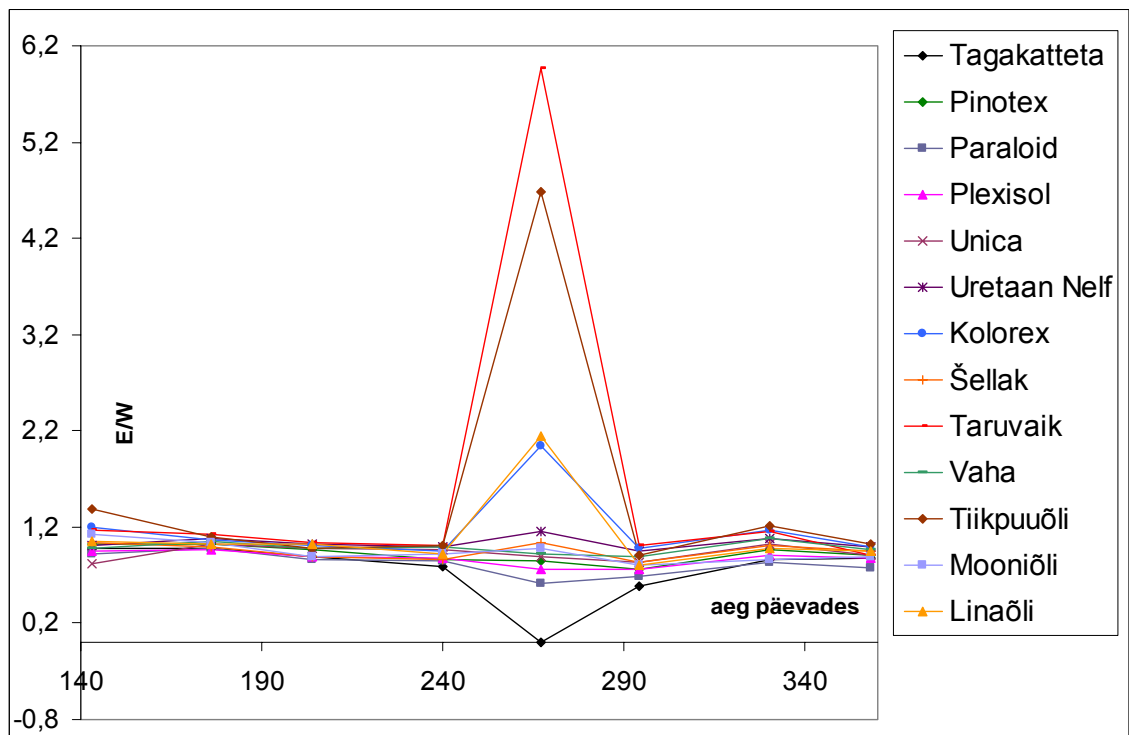
(Üldine kaardumisindeksi graafik on toodud magistritöö põhiosas.)



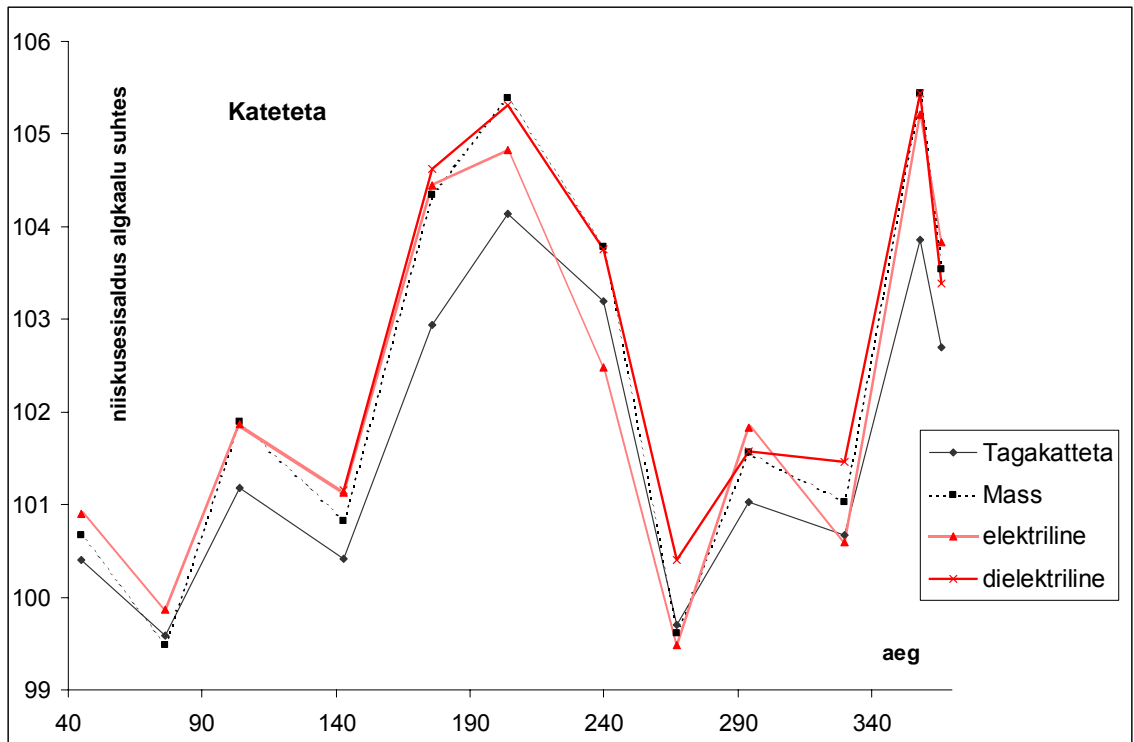
5. Erinevat liiki ST-de percomeetriga mõõdetud dielektrilise läbitavuse näidud.



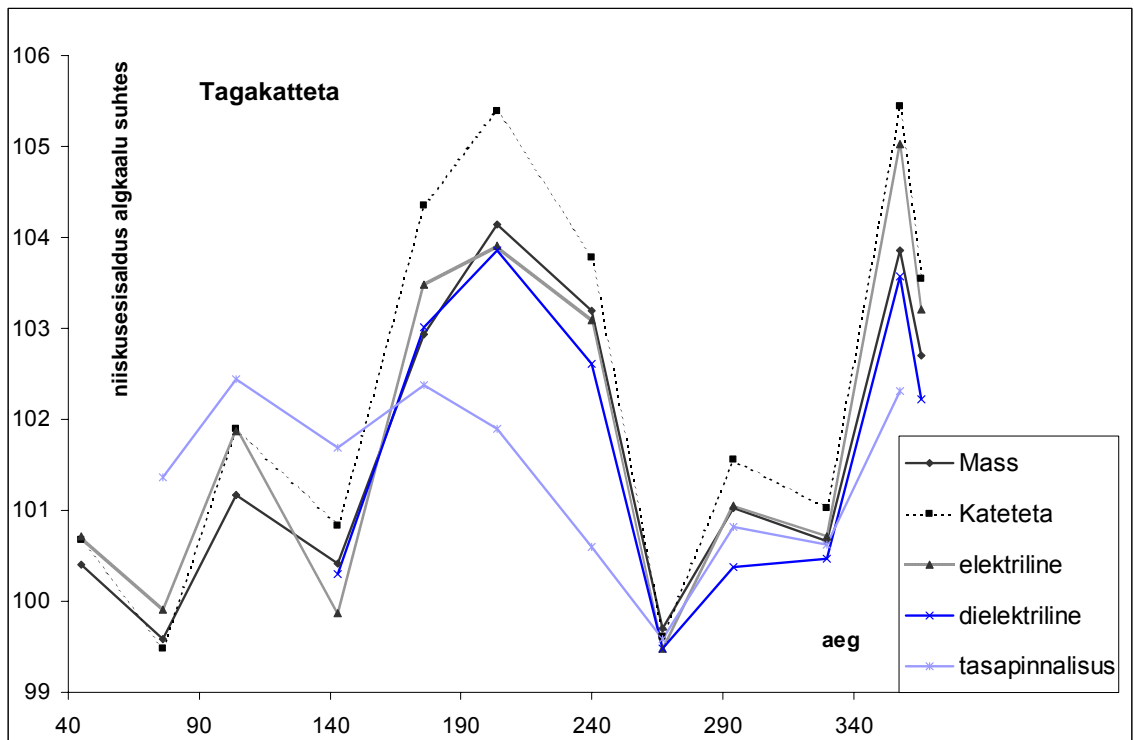
6. Erinevat liiki ST-de normaliseeritud dielektrilise läbitavuse ja kaalu suhe.



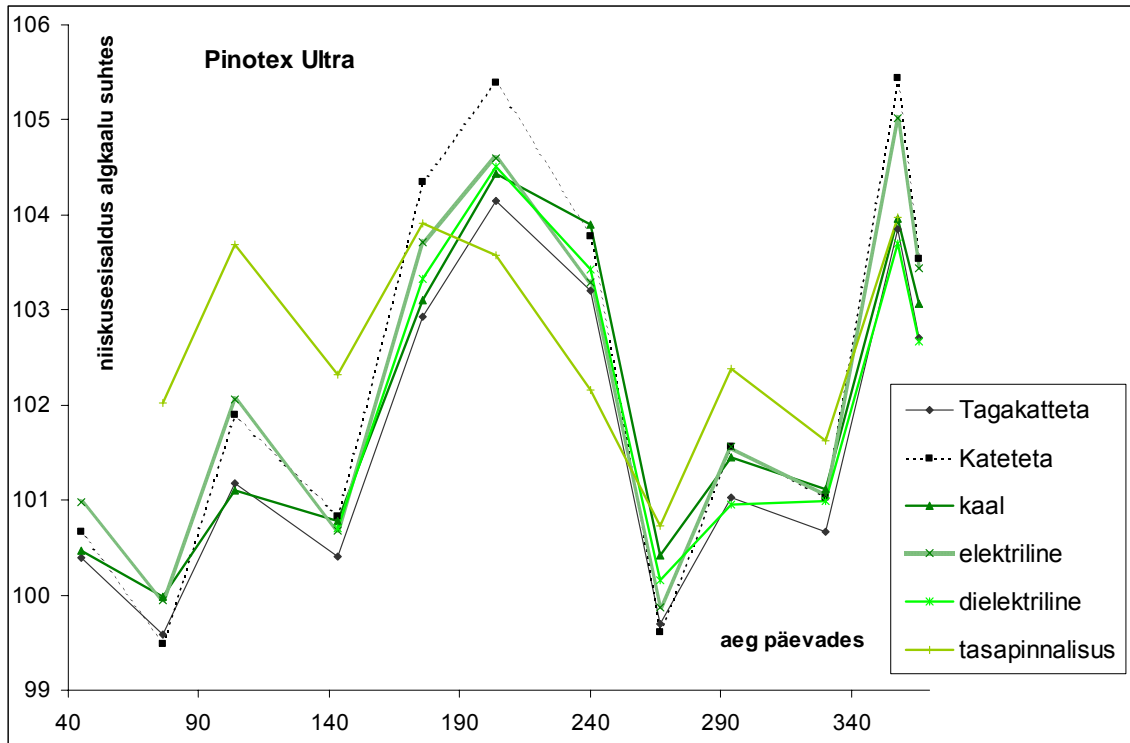
7. Kateteta referentside ST 1, 2 ja 3 normaliseeritud parameetrid (võrdluseks ka tagakatteta referentside massi graafik).



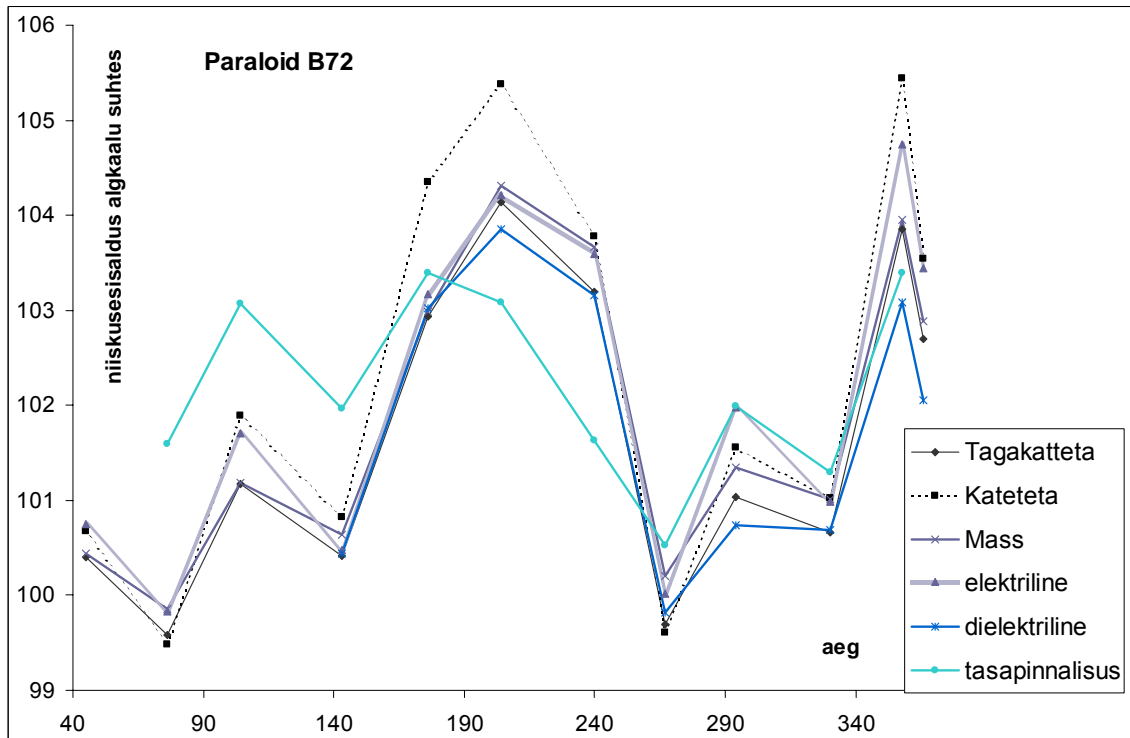
8. Tagakatteta referentside normaliseeritud parameetrid (kaardumisindeksi asemel on normaliseeritud tema pöördväärtus; võrdluseks ka kateteta referentside massi graafik).



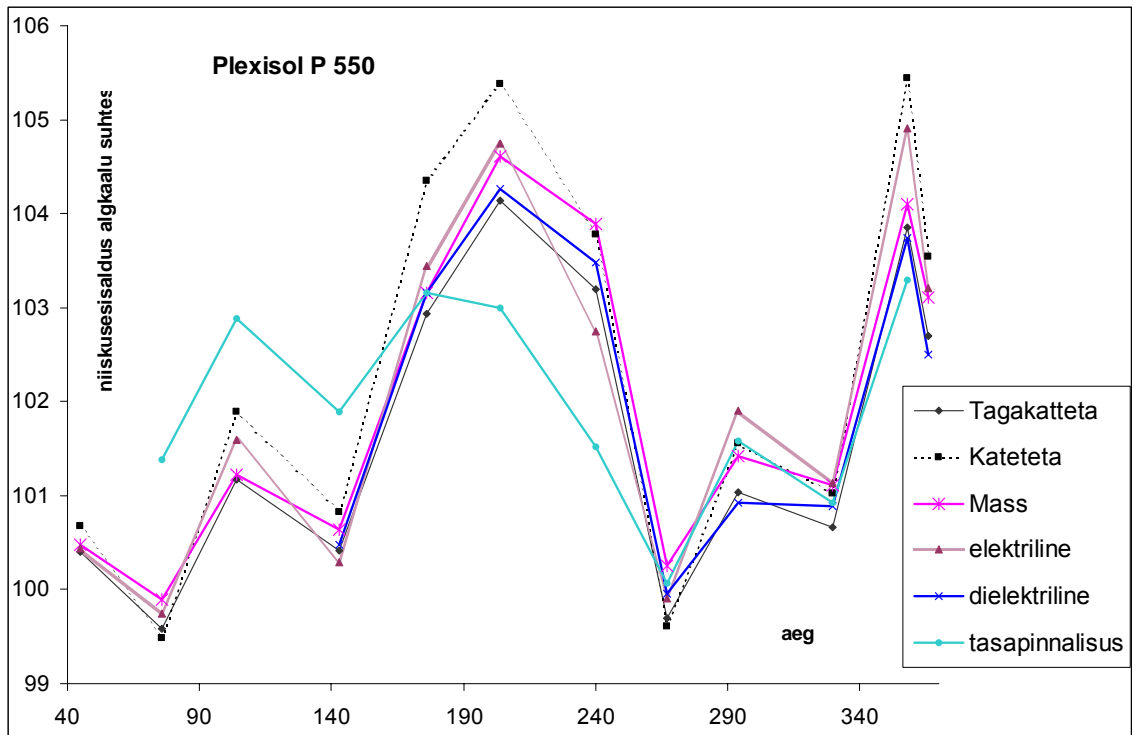
9. Pinotex Ultra ga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid. Nii sellel kui järgnevatel normaliseeritud parameetrite graafikutel on võrdluseks toodud mõlemat tüüpi referentside massid katse vältel (% antud liiki tahvlite algsest massist).



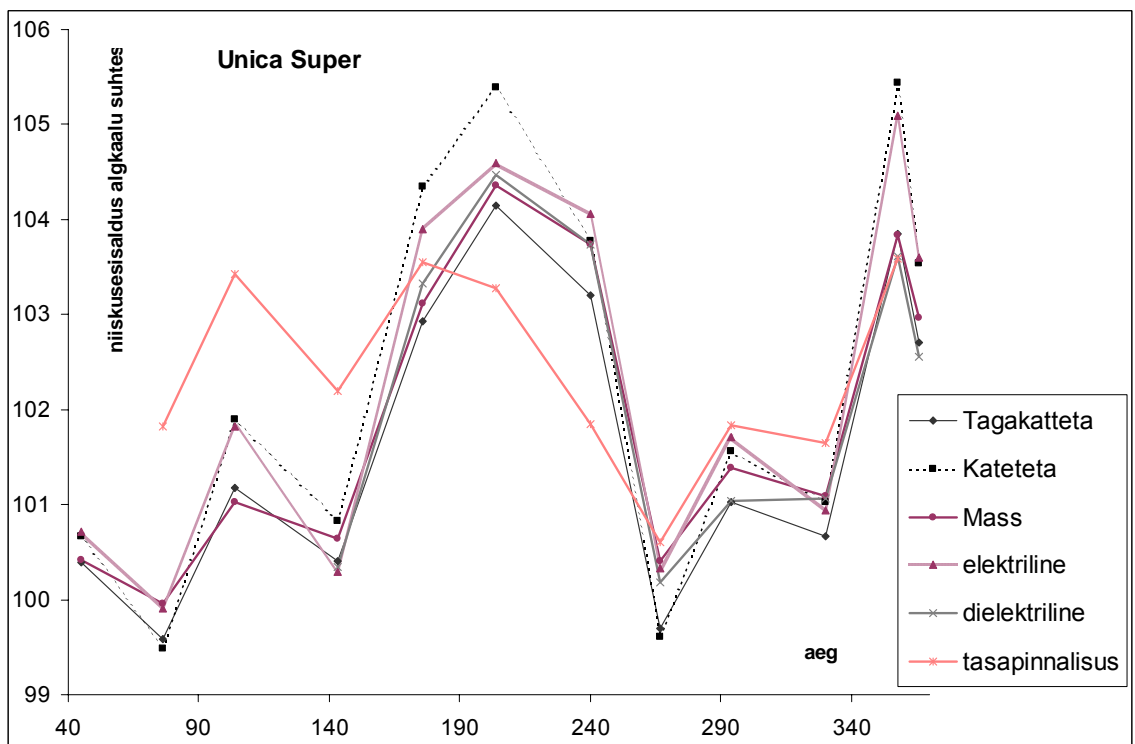
10. Paraloid B72-ga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



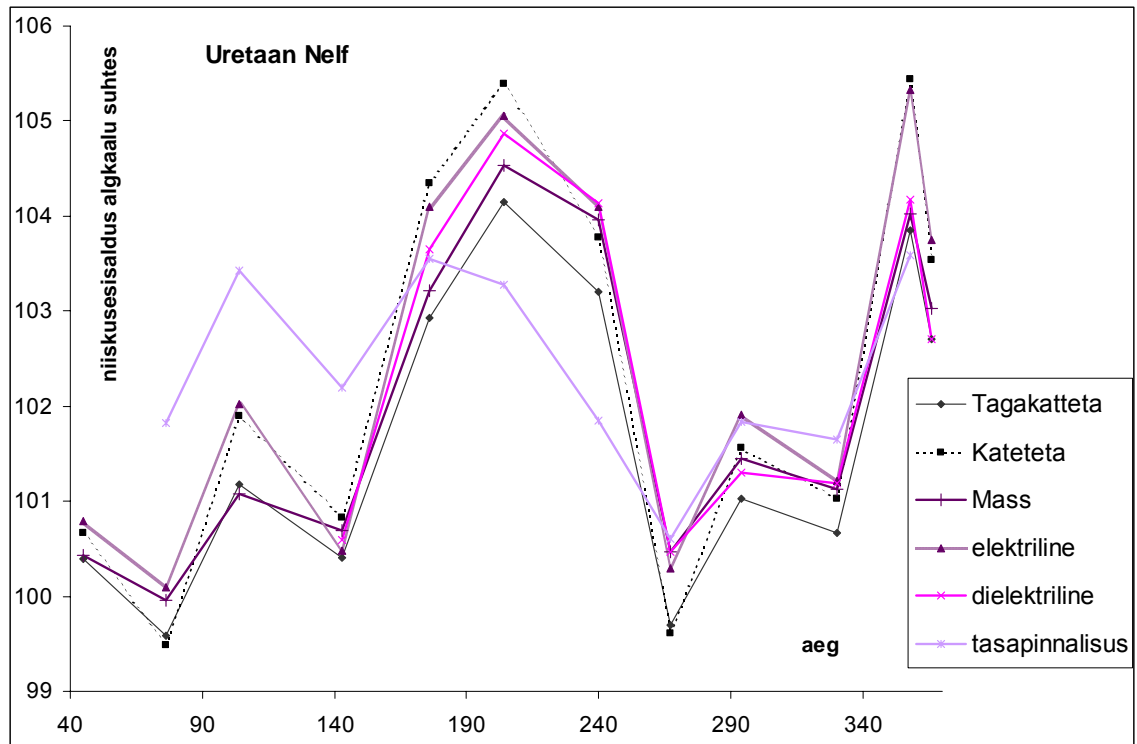
11. Plexisol P 550-ga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



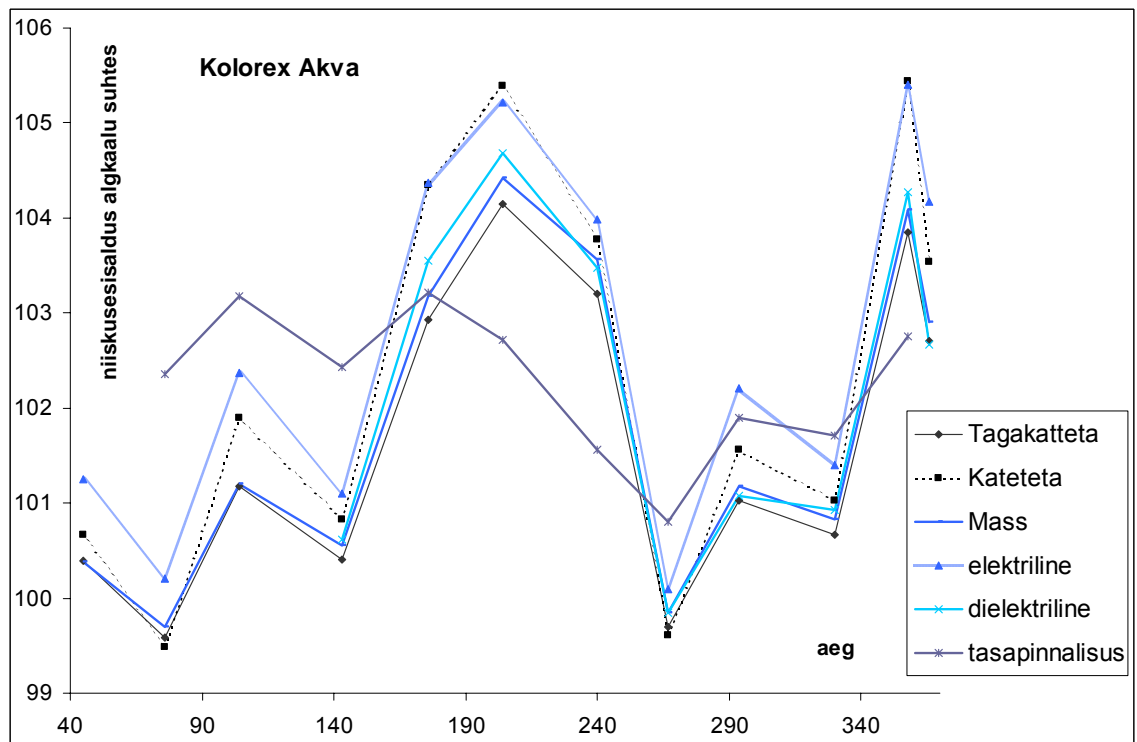
12. Unica Super-iga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



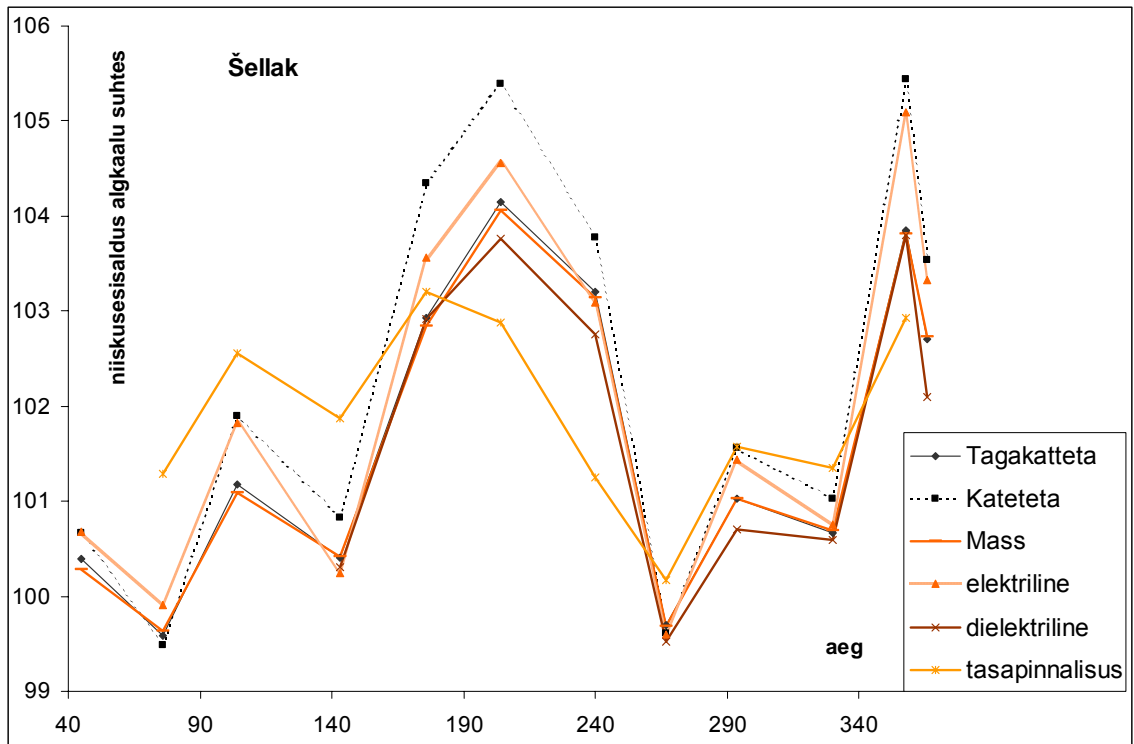
13. Firma Nelf uretaanalküüdiga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



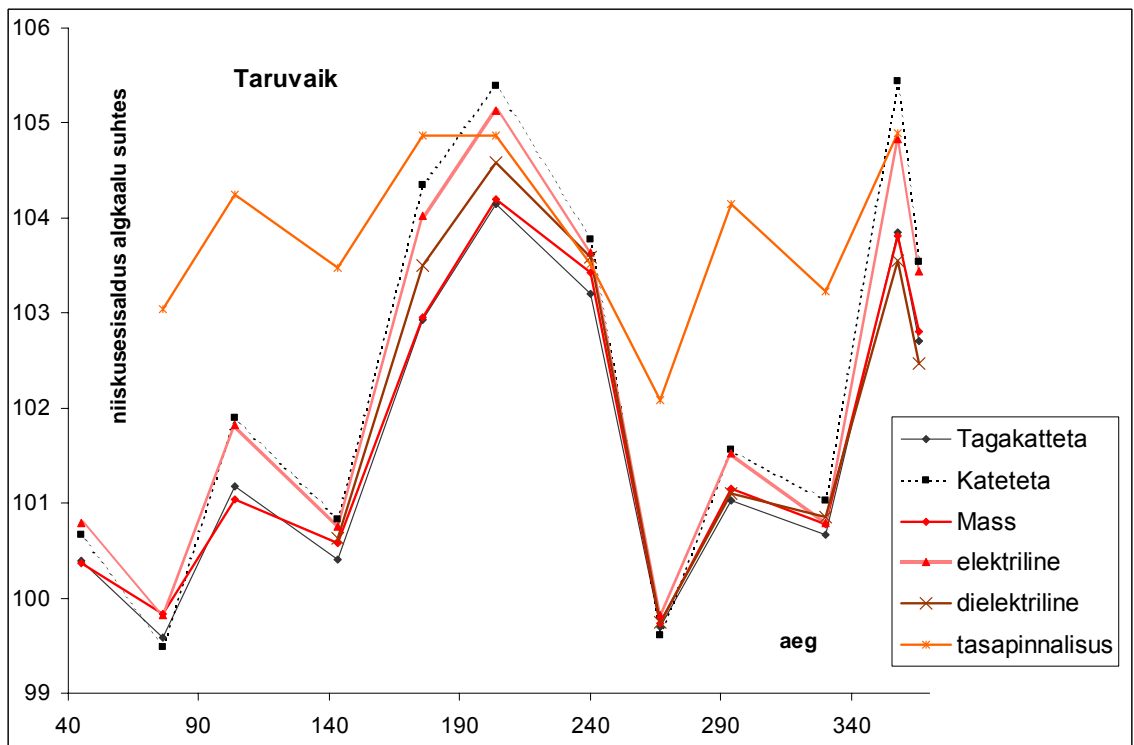
14. Kolorex Akva-ga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



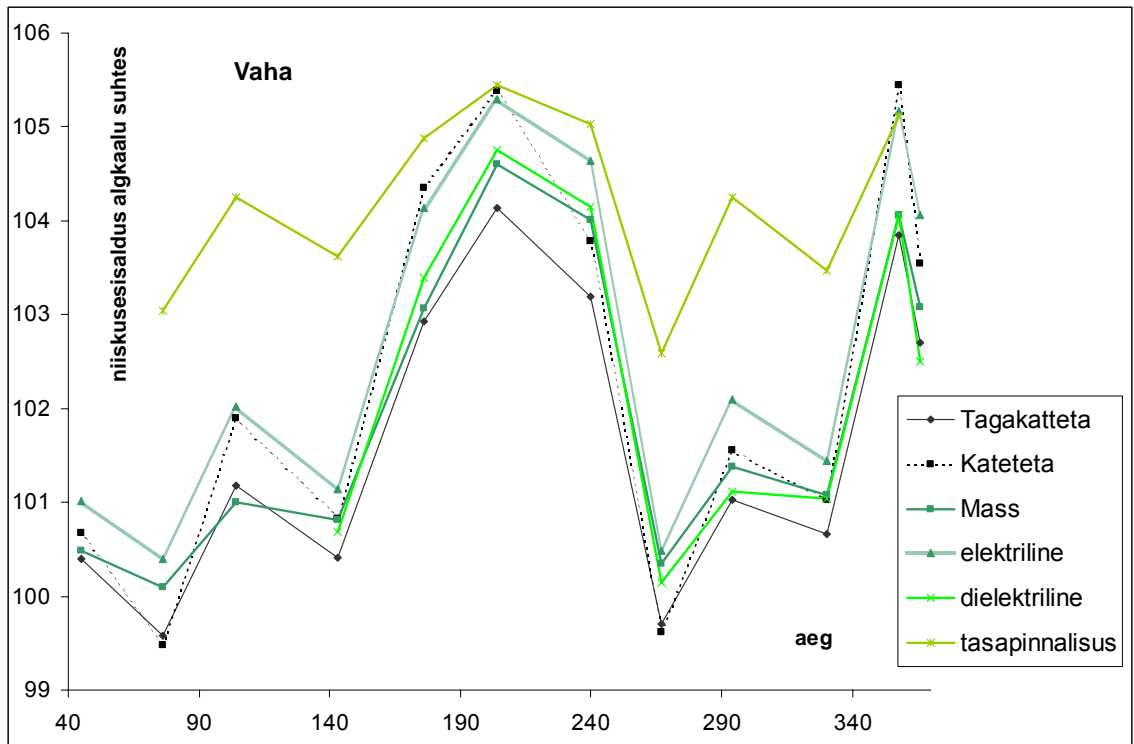
15. Šellakiga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



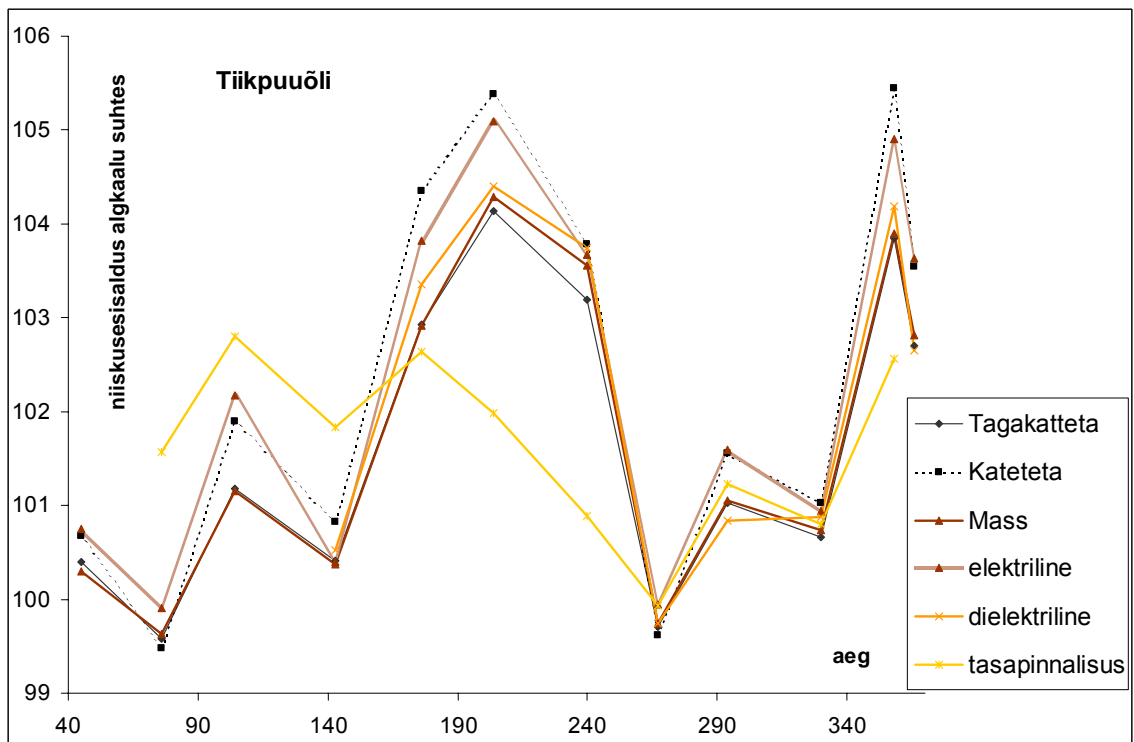
16. Taruvaiguga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



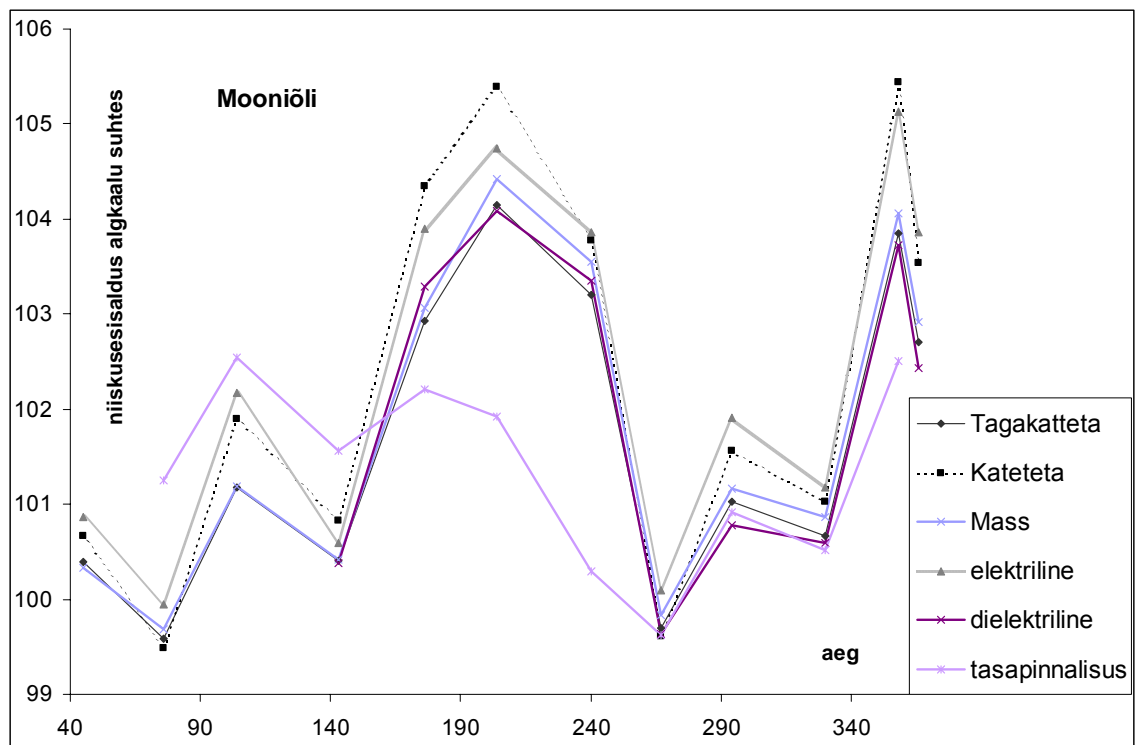
17. Vahaga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



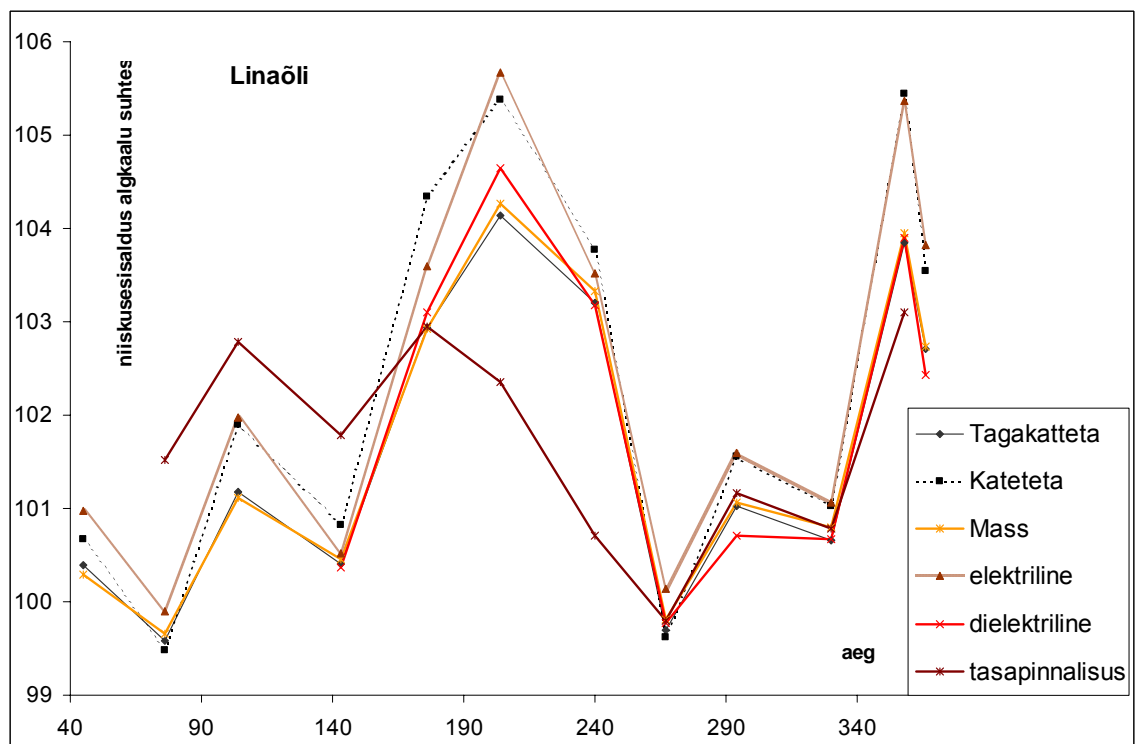
18. Tiikõliga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



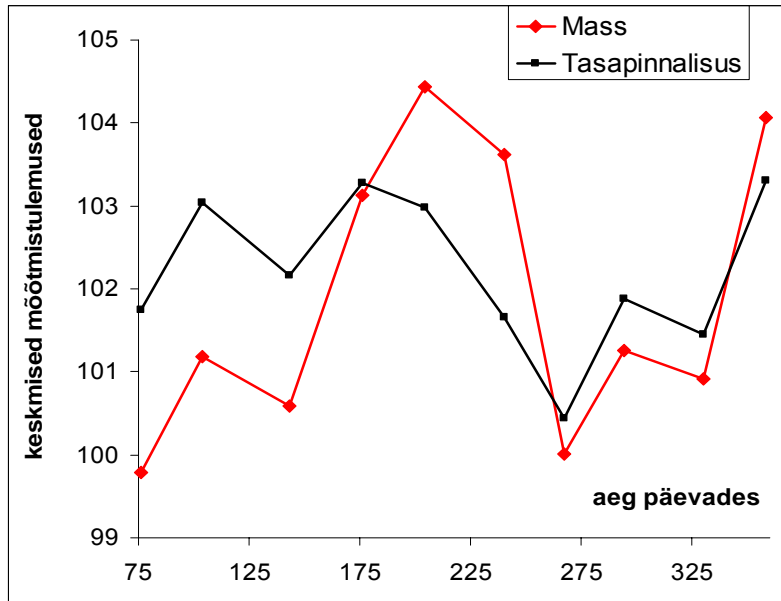
19. Mooniõliga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



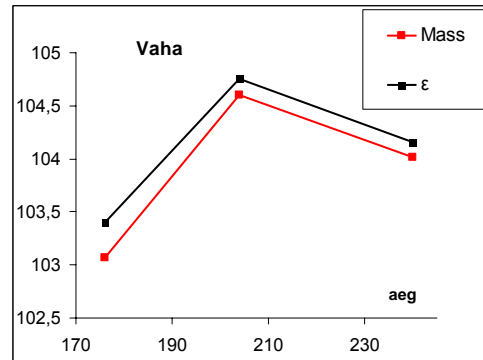
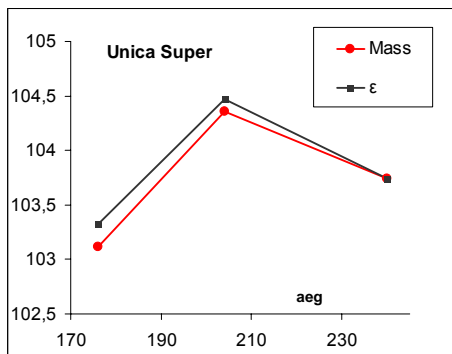
20. Linaõliga kaitstud tahvlite normaliseeritud parameetrid.



21. Kõigi tahvlite keskmine mass ja normaliseeritud keskmine tasapinnalisus ehk kaardumisindeksi pöördväärtus kõigil ühistel mõõtmiskordadel.

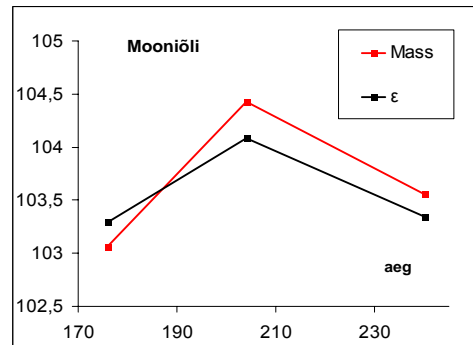
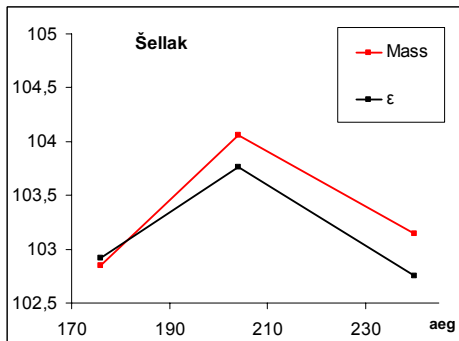


22. Väljavõte Unica Superi'iga kaitstud tahvli massi ja normaliseeritud dielektrilise läbitavuse suhtest.



23. Väljavõte vahatatud tahvli massi ja normaliseeritud dielektrilise läbitavuse suhtest.

24. Väljavõte šellakiga kaitstud tahvli massi ja norm. dielektrilise läbitavuse suhtest.



25. Väljavõte mooniõliga kaitstud tahvli massi ja norm. dielektrilise läbitavuse suhtest.

algkaalust	1%
2,02925	
2,03455	
2,0175	
2,0271	
2,2531	
2,2241	
2,275	
2,250733	
2,2342	
2,30135	
2,2969	
2,26	
2,2263	
2,1252	
2,2614	
2,2609	
2,2425	
2,3499	
2,3022	
2,2766	
2,2334	
2,2635	
2,2075	
2,3141	
2,2744	
2,2512	
2,2543	
2,2873	
2,2881	
2,2311	
2,23985	
2,14475	

Pinnakate	tahvli nr	kaal 1 (g)	kaal 2 (g)	kaalude 2	Vahe	keskmiselt	Niiskust puidu pinnakihis
		18. juuni.08	01. aug.08	ja 1 vahe (g)	(% algkaalust)	keskmiselt	1. aug. (%) keskmiselt (%)
--	1	202,925	204,33	1,405	0,69237		6,8
--	2	203,455	204,81	1,355	0,66599	0,6708814	6,4
--	3	201,75	203,07	1,32	0,65428		6,6
-	4	225,31	226,284	0,974	0,43229		6,5
-	5	222,41	223,314	0,904	0,40646	0,3982646	6,2
-	6	227,5	228,31	0,81	0,35604		6,35
Pinotex	7	223,42	224,442	1,022	0,45743	0,4714009	6,4
	8	230,135	231,252	1,117	0,48537		7
Paraloid	9	229,69	230,68	0,99	0,43102	0,4345344	6,5
	10	226	226,99	0,99	0,43805		6,3
Plexisol	11	222,63	223,704	1,074	0,48241	0,4824148	6
	12	212,52	214,13	1,61	0,75758		6,9
Unica	13	226,14	227,08	0,94	0,41567	0,4156717	6,6
	14	226,09	227,07	0,98	0,43346		6,1
Uretaan	15	224,25	225,164	0,914	0,40758	0,434013	6,2
	16	234,99	236,072	1,082	0,46045		6,7
Kolorex	17	230,22	231,066	0,846	0,36747	0,3844752	7
	18	227,66	228,574	0,914	0,40148		7,1
Sellak	19	223,34	223,996	0,656	0,29372	0,2833755	6,4
	20	226,35	226,968	0,618	0,27303		6,2
Taruvaik	21	220,75	221,588	0,838	0,37961	0,3687107	6,1
	22	231,41	232,238	0,828	0,35781		6,8
Vaha	23	227,44	228,54	1,1	0,48364	0,4803615	6,8
	24	225,12	226,194	1,074	0,47708		6,7
Tiikpuuõli	25	225,43	226,044	0,614	0,27237	0,2944494	6
	26	228,73	229,454	0,724	0,31653		6,8
Mooniõli	27	228,81	229,63	0,82	0,35838	0,3329238	6,7
	28	223,11	223,796	0,686	0,30747		6,4
Linaõli	29	223,985	224,65	0,665	0,29689	0,2968949	6,7
	30	214,475	215,916	1,441	0,67187		7,6

Pinnakate	tahvli nr	kaal 2 (g) 01.aug.08	kaal 3 (g) 01.sept.08	kaalude 2 ja 3 vahe (g)	Vahe (% algkaalust)	keskmiselt (%)	Niiskust puidu pinnakihis 1.sept. (%)	keskmiselt (%)
--	1	204,33	201,83	2,5	1,23198	1,21317478	5,5	5,25
--	2	204,81	202,38	2,43	1,19437	1,19110454	5	
--	3	203,07	200,756	2,314	1,14696			
-	4	226,284	224,5	1,784	0,79180	0,79246389	5,3	5,3
-	5	223,314	221,55	1,764	0,79313	0,81724699	5,3	
-	6	228,61	226,638	1,972	0,86681			
				0				
Pinotex	7	224,442	223,35	1,092	0,48877	0,48858727	5,3	5,35
	8	231,252	230,128	1,124	0,48841		5,4	
Paraloid	9	230,68	229,363	1,317	0,57338	0,58315093	5,2	5,2
	10	226,99	225,65	1,34	0,59292		5,2	
Plexisol	11	223,704	222,4	1,304	0,58573	0,58572519	5,1	5,1
	12	214,13	212,368	1,762	0,82910		5,3	
Unica	13	227,08	226,06	1,02	0,45105	0,46259774	5,4	5,3
	14	227,07	225,998	1,072	0,47415		5,2	
Uretaan	15	225,164	224,096	1,068	0,47625	0,47941395	5,4	5,55
	16	236,072	234,938	1,134	0,48257		5,7	
Kolorex	17	231,066	229,51	1,556	0,67588	0,68626408	5,7	5,7
	18	228,574	226,988	1,586	0,69665		5,7	
Sellak	19	223,996	222,46	1,536	0,68774	0,6535677	5,5	5,3
	20	226,968	225,566	1,402	0,61939		5,1	
Taruvaik	21	221,588	220,364	1,224	0,55447	0,53003476	5	5,2
	22	232,238	231,068	1,17	0,50560		5,4	
Vaha	23	228,54	227,64	0,9	0,39571	0,38530996	6	5,95
	24	226,194	225,35	0,844	0,37491		5,9	
Tiikpuudõli	25	226,044	224,576	1,468	0,65120	0,66748778	5,2	5,3
	26	229,454	227,89	1,564	0,68378		5,4	
Mooniõli	27	229,63	228,14	1,49	0,65120	0,65010127	5,3	5,35
	28	223,796	222,348	1,448	0,64901		5,4	
Linadõli	29	224,65	223,222	1,428	0,63754	0,63754269	5,3	5,3
	30	215,916	213,864	2,052	0,95675		5,9	

Pinnakate	tahvli nr	kaal 3 (g)	kaal 4 (g)	kaalude	Vahe	keskmiselt	Niiskust puidu pinnakihis 29.sept.	
		01.sept.08	29.sept.08	4 ja 3 vahe			(% algkaalust)	(%)
--	1	201,83	206,876	5,046	2,48663	2,45734417	8,1	7,85
--	2	202,38	207,32	4,94	2,42806	2,41443762	7,6	--
--	3	200,756	205,454	4,698	2,32862			--
-	4	224,5	228,072	3,572	1,58537	1,61549036	7,7	7,85
-	5	221,55	225,21	3,66	1,64561	1,59303753	8	--
-	6	226,638	230,16	3,522	1,54813			--
Pinotex	7	223,35	225,874	2,524	1,12971	1,12105071	8	8,1
	8	230,128	232,688	2,56	1,11239		8,2	
Paraloid	9	229,363	232,37	3,007	1,30916	1,33333897	7,6	7,65
	10	225,65	228,718	3,068	1,35752		7,7	
Plexisol	11	222,4	225,344	2,944	1,32237	1,32237344	7,5	7,5
	12	212,368	216,14	3,772	1,77489		8,5	
Unica	13	226,06	228,42	2,36	1,04360	1,0689279	8	7,8
	14	225,998	228,472	2,474	1,09425		7,6	
Uretaan	15	224,096	226,606	2,51	1,11929	1,12264694	7,7	8,05
	16	234,938	237,584	2,646	1,12601		8,4	
Kolorex	17	229,51	232,94	3,43	1,48988	1,49869522	8,5	8,5
	18	226,988	230,42	3,432	1,50751		8,5	
Sellak	19	222,46	225,902	3,442	1,54115	1,46463189	8,1	7,8
	20	225,566	228,708	3,142	1,38812		7,5	
Taruvaik	21	220,364	223,128	2,764	1,25210	1,20553851	7,6	7,8
	22	231,068	233,75	2,682	1,15898		8	
Vaha	23	227,64	229,75	2,11	0,92772	0,90939876	8	8,05
	24	225,35	227,356	2,006	0,89108		8,1	
Tiikpuuõli	25	224,576	227,884	3,308	1,46742	1,52066296	8,1	8,25
	26	227,89	231,49	3,6	1,57391		8,4	
Mooniõli	27	228,14	231,618	3,478	1,52004	1,50897714	8,4	8,25
	28	222,348	225,69	3,342	1,49792		8,1	
Linaõli	29	223,222	226,484	3,262	1,45635	1,45634752	8	8
	30	213,864	218,206	4,342	2,02448		8,8	

Pinnakate	tahvli nr	kaal 4 (g)	kaal 5 (g)	kaalude	Vahe	keskmiselt	Niiskust pinnakihis	Dielektriline läbitavus
		29 sept.08	07 nov.08	4 ja 5 vahe				
--	1	206,876	204,362	2,514	1,23888		6,8 6,9	3,39
--	2	207,32	205,3	2,02	0,99285	1,06576044	7	3,56 3,43
--	3	205,454	203,506	1,948	0,96555			3,34
-	4	228,072	226,41	1,662	0,73765		5,2 5,25	3,23
-	5	225,21	223,45	1,76	0,79133	0,76343345	5,3	3,2 3,2
-	6	230,16	228,428	1,732	0,76132			3,18
Pinotex	7	225,874	225,218	0,656	0,29362	0,32235784	6,6 6,3	3,32 3,31
	8	232,688	231,88	0,808	0,35110		6	3,3
Paraloid	9	232,37	231,168	1,202	0,52331	0,54617029	6,2 6,05	3,22 3,24
	10	228,718	227,432	1,286	0,56903		5,9	3,26
Plexisol	11	225,344	224,06	1,284	0,57674	0,57674168	5,8 5,8	3,25 3,25
	12	216,14	214,098	2,042	0,96085		6,6	3,27
Unica	13	228,42	227,57	0,85	0,37587	0,38078023	6 5,8	3,22 3,22
	14	228,472	227,6	0,872	0,38569		5,6	3,21
Uretaan	15	226,606	225,73	0,876	0,39064	0,38213419	5,8 6,05	3,23 3,28
	16	237,584	236,706	0,878	0,37363		6,3	3,33
Kolorex	17	232,94	231,44	1,5	0,65155	0,64203644	6,7 6,85	3,26 3,29
	18	230,42	228,98	1,44	0,63252		7	3,31
Sellak	19	225,902	224,328	1,574	0,70476	0,67930487	5,6 5,75	3,23 3,21
	20	228,708	227,228	1,48	0,65385		5,9	3,18
Taruvaik	21	223,128	221,99	1,138	0,51552	0,46215676	5,8 6,4	3,2 3,29
	22	233,75	232,804	0,946	0,40980		7	3,38
Vaha	23	229,75	229,27	0,48	0,21104	0,19569646	7 6,9	3,32 3,31
	24	227,356	226,95	0,406	0,18035		6,8	3,29
Tiikpuuõli	25	227,884	226,22	1,664	0,73814	0,77697696	6 5,95	3,2 3,26
	26	231,49	229,624	1,866	0,81581		5,9	3,32
Mooniõli	27	231,618	229,79	1,828	0,79892	0,76923082	6,2 6,2	3,26 3,23
	28	225,69	224,04	1,65	0,73955		6,2	3,19
Linadi	29	226,484	225,014	1,47	0,65629	0,65629395	6,1 6,1	3,22 3,22
	30	218,206	215,996	2,21	1,03042		7	3,44

Pinnakate	tahvli nr	kaal 5 (g)	kaal 6 (g)	kaalude	Vahe	keskmiselt	Niiskust pinnakihis	Dielektriline läbitavus det.		
		07.nov.08	10.dets.08	6 ja 5 vahe				(% algkaalust)	dets.; keskmiselt (%)	keskmiselt
--	1	204,362	212,41	8,048	3,96600		11,5	11,2	4,5	--
--	2	205,3	212,61	7,31	3,59293	3,51658654	10,9		4,435	4,35
--	3	203,506	209,54	6,034	2,99083				4,125	--
-	4	226,41	232,09	5,68	2,52097		10	9,95	3,9	-
-	5	223,45	229,12	5,67	2,54935	2,52292615	9,9		3,92	3,93
-	6	228,428	234,112	5,684	2,49846				3,96	-
Pinotex	7	225,218	230,302	5,084	2,27553	2,32402767	10,4	10,25	4,005	4,01
	8	231,88	237,34	5,46	2,37252		10,1		4,015	
Paraloid	9	231,168	236,402	5,234	2,27872	2,34068918	9,4	9,55	3,9	3,93
	10	227,432	232,862	5,43	2,40265		9,7		3,955	
Plexisol	11	224,06	229,67	5,61	2,51988	2,51987603	9,9	9,9	3,965	3,97
	12	214,098	221,452	7,354	3,46038		11,4		4,21	
Unica	13	227,57	233,236	5,666	2,50553	2,47130506	10,8	10,5	4,035	4,01
	14	227,6	233,11	5,51	2,43708		10,2		3,98	
Uretaan	15	225,73	231,348	5,618	2,50524	2,52373776	10,8	10,75	4,03	4,1
	16	236,706	242,68	5,974	2,54224		10,7		4,16	
Kolorex	17	231,44	237,522	6,082	2,64182	2,61933791	11,3	11,1	4,125	4,07
	18	228,98	234,892	5,912	2,59685		10,9		4,015	
Sellak	19	224,328	229,98	5,652	2,53067	2,42990351	10,4	10,05	3,935	3,9
	20	227,228	232,5	5,272	2,32914		9,7		3,865	
Taruvaik	21	221,99	227,26	5,27	2,38732	2,36862882	10,2	10,65	3,96	4,06
	22	232,804	238,242	5,438	2,34994		11,1		4,15	
Vaha	23	229,27	234,466	5,196	2,28456	2,26123806	10,9	10,8	4,03	4,03
	24	226,95	231,988	5,038	2,23792		10,7		4,025	
Tiikpuuõli	25	226,22	231,61	5,39	2,39099	2,5389985	9,6	10,4	3,875	4,02
	26	229,624	235,77	6,146	2,68701		11,2		4,16	
Mooniõli	27	229,79	235,92	6,13	2,67908	2,63979484	10,8	10,5	4,07	4
	28	224,04	229,842	5,802	2,60051		10,2		3,93	
Linadii	29	225,014	230,53	5,516	2,46266	2,46266491	10,1	10,1	3,95	3,95
	30	215,996	223,34	7,344	3,42418		11,4		4,33	

Pinnakate	tahvli nr	kaal 6 (g) 10.dets.08	kaal 7 (g) 07.jaan.09	kaalude 7 ja 6 vahe	Vahe (% algkaalust)	keskmiselt (keskkaalust)	Niiskust pinnakihis jaan.; keskmiselt (%)	Dielektriline läbitavus jaan. keskmiselt
--	1	212,41	213,59	1,18	0,58150		11,3 11,7	4,41
--	2	212,61	214,66	2,05	1,00759	1,04055976	12,1	4,67 4,54
--	3	209,54	212,632	3,092	1,53259			4,54
-	4	232,09	234,83	2,74	1,21610		10,6 10,5	4,2
-	5	229,12	231,65	2,53	1,13754	1,2091624	10,4	4,11 4,15
-	6	234,112	237,01	2,898	1,27385			4,14
				0				
Pinotex	7	230,302	233,25	2,948	1,31949	1,32674378	11,4 11,4	4,32 4,33
	8	237,34	240,41	3,07	1,33400		11,4	4,33
Paraloid	9	236,402	239,238	2,836	1,23471	1,32930073	10,7 10,9	4,1 4,15
	10	232,862	236,08	3,218	1,42389		11,1	4,2
Plexisol	11	229,67	232,89	3,22	1,44635	1,44634596	11,6 11,6	4,26 4,26
	12	221,452	224,296	2,844	1,33823		12,9	4,51
Unica	13	233,236	236,01	2,774	1,22667	1,24140534	11 11,4	4,31 4,32
	14	233,11	235,95	2,84	1,25614		11,8	4,32
Uretaan	15	231,348	234,3	2,952	1,31639	1,31396657	12 12	4,36 4,42
	16	242,68	245,762	3,082	1,31155		12	4,48
Kolorex	17	237,522	240,37	2,848	1,23708	1,24622292	12,5 12,2	4,38 4,37
	18	234,892	237,75	2,858	1,25538		11,9	4,36
Sellak	19	229,98	232,676	2,696	1,20713	1,21323935	11,5 11,35	4,14 4,13
	20	232,5	235,26	2,76	1,21935		11,2	4,11
Taruvaik	21	227,26	230	2,74	1,24122	1,24936571	11,8 12,1	4,29 4,35
	22	238,242	241,152	2,91	1,25751		12,4	4,4
Vaha	23	234,466	237,92	3,454	1,51864	1,53046542	12,6 12,3	4,38 4,39
	24	231,988	235,46	3,472	1,54229		12	4,4
Tiikpuuõli	25	231,61	234,78	3,17	1,40620	1,37201168	11,5 12,05	4,19 4,3
	26	235,77	238,83	3,06	1,33782		12,6	4,4
Mooniõli	27	235,92	238,868	2,948	1,28841	1,3631305	11,9 11,6	4,28 4,21
	28	229,842	233,05	3,208	1,43786		11,3	4,14
Linaõli	29	230,53	233,55	3,02	1,34830	1,34830457	12,8 12,8	4,36 4,36
	30	223,34	225,664	2,324	1,08358		12,2	4,39

Pinnakate	tahvi nr	kaal 7 (g) 07.jaan.09	kaal 8 (g) 12.veebr.09	kaalude 7 ja 8 vahe	Vahe (% algkaalust)	keskmiselt (% algkaalust)	Niiskust pinnakihis veebr.: keskmiselt (%)	Dielektriline läbitavus veebr. keskmiselt
--	1	213,59	210,564	3,026	1,49119		8,7	4,03
--	2	214,66	211,172	3,488	1,71438	1,60747596	8,6	4,16
--	3	212,632	209,37	3,262	1,61685			4,18
-	4	234,83	232,62	2,21	0,98087		9,2	3,82
-	5	231,65	229,76	1,89	0,84978	0,94450133	9,7	3,84
-	6	237,01	234,944	2,066	0,90813			3,79
Pinotex	7	233,25	231,932	1,318	0,58992	0,53264674	9,8	4
	8	240,41	239,316	1,094	0,47537		9,6	4,07
Paraloid	9	239,238	237,898	1,34	0,58340	0,64125503	9,3	3,93
	10	236,08	234,5	1,58	0,69912		10,9	4
Plexisol	11	232,89	231,282	1,608	0,72227	0,72227463	9	4,05
	12	224,296	222,48	1,816	0,85451		11,2	4,23
Unica	13	236,01	234,704	1,306	0,57752	0,61163944	10,6	4,14
	14	235,95	234,49	1,46	0,64576		10,8	4,1
Uretaan	15	234,3	233,02	1,28	0,57079	0,57604643	10	10,75
	16	245,762	244,396	1,366	0,58130		11,5	4,33
Kolorex	17	240,37	238,402	1,968	0,85483	0,85788374	10,8	10,6
	18	237,75	235,79	1,96	0,86093		10,4	4,05
Šellak	19	232,676	230,592	2,084	0,93311	0,916741	9,9	9,45
	20	235,26	233,222	2,038	0,90038		9	3,84
Taruvaik	21	230	228,128	1,872	0,84802	0,77490142	10,2	10,15
	22	241,152	239,528	1,624	0,70178		10,1	4,16
Vaha	23	237,92	236,6	1,32	0,58037	0,58558443	10,7	11,45
	24	235,46	234,13	1,33	0,59080		12,2	4,25
Tiikpuuõli	25	234,78	233,11	1,67	0,74081	0,72453255	9,5	10,2
	26	238,83	237,21	1,62	0,70826		10,9	4,29
Mooniõli	27	238,868	237,13	1,738	0,75958	0,87058039	10,6	10,45
	28	233,05	230,86	2,19	0,98158		10,3	3,9
Linaõli	29	233,55	231,452	2,098	0,93667	0,93666987	10	10
	30	225,664	222,792	2,872	1,33908		9,6	3,94

Pinnakate	tanvli nr	kaal 8 (g)	kaal 9 (g)	kaalude	Vahe	keskmiselt	Niiskust pinnakihis,	Dielektriline läbitavus, märts
		12.veebr.09	11.märts	8 ja 9 vahe				
--	1	210,564	202,024	8,54	4,20845		4,8	3,26
--	2	211,172	202,696	8,476	4,16603	4,16381988	4,7	3,25
--	3	209,37	201,064	8,306	4,11698		4,75	3,18
-	4	232,62	224,57	8,05	3,57286		4,7	2,96
-	5	229,76	221,78	7,98	3,58797	3,49829643	4,8	2,99
-	6	234,944	227,359	7,585	3,33407		3	2,98
Pinotex	7	231,932	224,364	7,568	3,38734	3,47653769	5,1	3,19
	8	239,316	231,11	8,206	3,56573		5,4	3,14
Paraloid	9	237,898	230,17	7,728	3,36453	3,46766563	5,3	3,04
	10	234,5	226,43	8,07	3,57080		5,6	3,11
Plexisol	11	231,282	223,194	8,088	3,63293	3,63293357	5,3	3,11
	12	222,48	212,922	9,558	4,49746		5,4	3,01
Unica	13	234,704	227,16	7,544	3,33599	3,34210536	6	3,19
	14	234,49	226,92	7,57	3,34822		5,7	3,15
Uretaan	15	233,02	225,226	7,794	3,47559	3,49446314	5,4	3,21
	16	244,396	236,14	8,256	3,51334		6,2	3,28
Kolorex	17	238,402	229,84	8,562	3,71905	3,71272781	5,5	3,06
	18	235,79	227,352	8,438	3,70640		5,6	3,08
Sellak	19	230,592	222,65	7,942	3,55601	3,45328827	5	3,03
	20	233,222	225,638	7,584	3,35056		4,8	2,96
Taruvaik	21	228,128	220,2	7,928	3,59139	3,69578724	5,2	3,02
	22	239,528	230,734	8,794	3,80018		5,2	3,09
Vaha	23	236,6	228,194	8,406	3,69592	3,67143183	5,7	3,17
	24	234,13	225,92	8,21	3,64694		6,4	3,15
Tiikpuuõli	25	233,11	224,834	8,276	3,67121	3,81654129	5,3	2,97
	26	237,21	228,148	9,062	3,96188		5,4	3,14
Mooniõli	27	237,13	228,48	8,65	3,78043	3,72115	5,6	3,09
	28	230,86	222,69	8,17	3,66187		5,5	2,96
Linäoli	29	231,452	223,56	7,892	3,52345	3,52345023	5,6	3,06
	30	222,792	213,9	8,892	4,14594		5,4	3,01

Pinnakate	tahvli nr.	kaal 9 (g)			kaalude 10 ja 9 vahe	Vahe (% algkaalust)	keskmiselt (% algkaalust)	Niiskust pinnakihis apr. keskmiselt (%)		Dielektriinne läbitavus apr. keskmiselt	
		11. märts	07. apr. 09	10 ja 9 vahe				7,8	apr. keskmiselt (%)	7,8	apr. keskmiselt (%)
--	1	202,024	206,35	4,326	2,13182	1,94290093	7,8	7,8	3,54	--	
--	2	202,696	206,46	3,764	1,85004	1,94290093	7,8	7,8	3,55	--	
--	3	201,064	204,79	3,726	1,84684	1,94290093	7,8	7,8	3,54	--	
-	4	224,57	227,68	3,11	1,38032	1,33065448	6,8	6,8	3,2	-	
-	5	221,78	224,86	3,08	1,36483	1,33065448	6,8	6,8	3,26	-	
-	6	227,359	230,15	2,791	1,22681	1,33065448	6,8	6,8	3,21	-	
Pinotex	7	224,364	226,6	2,236	1,00081	1,02313948	7,2	7,45	3,35	Pinotex	
	8	231,11	233,516	2,406	1,04547	1,02313948	7,7	7,7	3,4		
Paraloid	9	230,17	232,722	2,552	1,11106	1,14845172	7,9	8	3,31	Paraloid	
	10	226,43	229,11	2,68	1,18584	1,14845172	8,1	8,1	3,33		
Plexisol	11	223,194	225,804	2,61	1,17235	1,17234874	7,9	7,9	3,37	Plexisol	
	12	212,922	216,31	3,388	1,59420	1,17234874	8	8	3,38		
Unica	13	227,16	229,366	2,206	0,97550	0,98666731	7,6	7,65	3,42	Unica	
	14	226,92	229,176	2,256	0,99783	0,98666731	7,7	7,7	3,38		
Uretaan	15	225,226	227,44	2,214	0,98729	0,98515576	7,6	7,9	3,42	Uretaan	
	16	236,14	238,45	2,31	0,98302	0,98515576	8,2	8,2	3,52		
Kolorex	17	229,84	232,93	3,09	1,34219	1,32733898	8	8,3	3,41	Kolorex	
	18	227,352	230,34	2,988	1,31248	1,32733898	8,6	8,6	3,41		
Sellak	19	222,65	225,692	3,042	1,36205	1,34106421	7,6	7,3	3,33	Sellak	
	20	225,638	228,626	2,988	1,32008	1,34106421	7	7	3,29		
Taruvaik	21	220,2	223,292	3,092	1,40068	1,42545967	7,2	7,4	3,37	Taruvaik	
	22	230,734	234,09	3,356	1,45024	1,42545967	7,6	7,6	3,46		
Vaha	23	228,194	230,53	2,336	1,02708	1,03104381	8,1	8,15	3,43	Vaha	
	24	225,92	228,25	2,33	1,03500	1,03104381	8,2	8,2	3,41		
Tiikpuuõli	25	224,834	227,71	2,876	1,27578	1,30592858	7,3	7,5	3,27	Tiikpuuõli	
	26	228,148	231,204	3,056	1,33607	1,30592858	7,7	7,7	3,42		
Mooniõli	27	228,48	231,52	3,04	1,32861	1,32989759	8	7,9	3,4	Mooniõli	
	28	222,69	225,66	2,97	1,33118	1,32989759	7,8	7,8	3,26		
Linadiil	29	223,56	226,378	2,818	1,25812	1,25811996	7,5	7,5	3,31	Linadiil	
	30	213,9	217,496	3,596	1,67665	1,25811996	8,1	8,1	3,4		

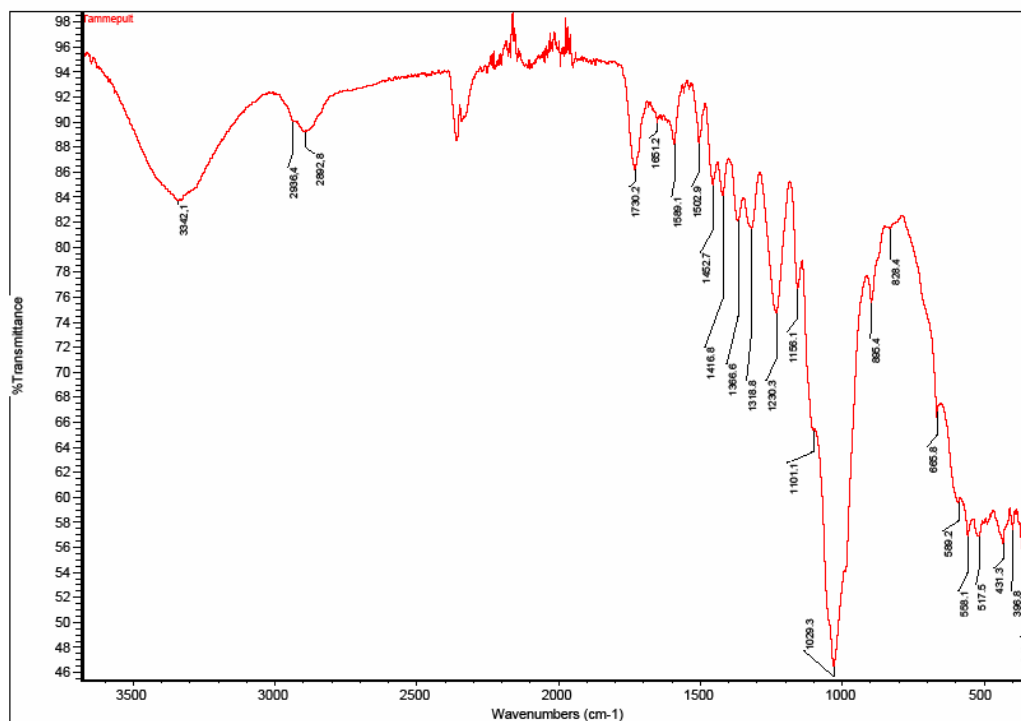
Pinnakate	tahvli nr	kaal 10 (g) 07.apr.09	kaal 11 (g) 13.mai.09	kaalude 10 ja 11 vahe	Vahe (% algkaalust)	keskmiselt (% algkaalust)	Niiskust pinnakihis mais: keskmiselt (%)	Dielektriline läbitavus mais keskmiselt
--	1	206,35	204,94	1,41	0,69484		6,2	3,43
--	2	206,46	205,556	0,904	0,44432	0,52974142	6,2	3,56
--	3	204,79	203,882	0,908	0,45006		6,2	3,54
-	4	227,68	226,85	0,83	0,36838		6,2	3,22
-	5	224,86	224	0,86	0,38667	0,36626362	6,5	3,27
-	6	230,15	229,368	0,782	0,34374		6,5	3,25
				0	0,00000			
Pinotex	7	226,6	225,85	0,75	0,33569	0,33818012	6,7	3,37
	8	233,516	232,732	0,784	0,34067		6,9	3,4
Paraloid	9	232,722	231,92	0,802	0,34917	0,33343269	7	6,7
	10	229,11	228,392	0,718	0,31770		6,4	3,32
Plexisol	11	225,804	225,11	0,694	0,31173	0,31172798	6,9	6,9
	12	216,31	215,5	0,81	0,38114		7	3,38
Unica	13	229,366	228,668	0,698	0,30866	0,30205796	6,8	6,65
	14	229,176	228,508	0,668	0,29546		6,5	3,39
Uretaan	15	227,44	226,752	0,688	0,30680	0,31893918	6,7	7
	16	238,45	237,672	0,778	0,33108		7,3	3,48
Kolorex	17	232,93	232,108	0,822	0,35705	0,35027223	7,2	7,25
	18	230,34	229,558	0,782	0,34349		7,3	3,37
Sellak	19	225,692	224,95	0,742	0,33223	0,33355425	6,6	6,4
	20	228,626	227,868	0,758	0,33488		6,2	3,26
Taruvaik	21	223,292	222,464	0,828	0,37508	0,38243465	6,4	6,45
	22	234,09	233,188	0,902	0,38978		6,5	3,37
Vaha	23	230,53	229,87	0,66	0,29019	0,29567957	7	7,3
	24	228,25	227,572	0,678	0,30117		7,6	3,42
Tiikpuuõli	25	227,71	227,012	0,698	0,30963	0,31089446	6,5	6,65
	26	231,204	230,49	0,714	0,31216		6,8	3,38
Mooniõli	27	231,52	230,832	0,688	0,30069	0,29377009	6,8	6,95
	28	225,66	225,02	0,64	0,28685		7,1	3,34
Lineaõli	29	226,378	225,766	0,612	0,27323	0,27323268	6,8	6,8
	30	217,496	216,86	0,636	0,29654		7,2	3,38

Pinnakate	tahvli nr	kaal 11 (g)	kaal 12(g)	kaalude 12	Vahe	keskmiselt	Niiskust, pinnakihis	Dielektriline läbitavus 10.06
		13.mai.09	10.juuni.09	ja 11 vahe				
--	1	204,94	213,99	9,05	4,45978		12,3	4,37
--	2	205,556	214,63	9,074	4,45995	4,4152921	12,1	4,51
--	3	203,882	212,61	8,728	4,32615		12,2	4,39
-	4	226,85	234,148	7,298	3,23909		11,7	3,92
-	5	224	231,29	7,29	3,27773	3,18795203	12,2	3,98
-	6	229,368	236,3	6,932	3,04703		11,95	3,87
Pinotex	7	225,85	232,07	6,22	2,78399	2,84722993	11,7	3,95
	8	232,732	239,43	6,698	2,91047		12,2	3,97
Paraloid	9	231,92	238,448	6,528	2,84209	2,93166523	11,5	3,75
	10	228,392	235,22	6,828	3,02124		11,6	3,84
Plexisol	11	225,11	231,76	6,65	2,98702	2,987019	11,8	3,97
	12	215,5	223,398	7,898	3,71636		12,6	4,21
Unica	13	228,668	234,84	6,172	2,72928	2,75391113	12,2	3,95
	14	228,508	234,79	6,282	2,77854		11,9	3,92
Uretaan	15	226,752	233,222	6,47	2,88517	2,89924413	12	4
	16	237,672	244,518	6,846	2,91332		12,7	4,17
Kolorex	17	232,108	239,548	7,44	3,23169	3,25337536	12,4	4,13
	18	229,558	237,014	7,456	3,27506		12,5	4,09
Sellak	19	224,95	232,11	7,16	3,20587	3,11431341	12,1	3,99
	20	227,868	234,71	6,842	3,02275		12	3,98
Taruvaik	21	222,464	229,162	6,698	3,03420	3,034202	11,7	3,92
	22	233,188	240,13	6,942	2,99987		12,1	4,13
Vaha	23	229,87	236,66	6,79	2,98540	2,98540274	12,1	4,07
	24	227,572	234,03	6,458	2,86869		12,2	4,04
Tiikpuudli	25	227,012	233,97	6,958	3,08655	3,16090063	11,6	4,02
	26	230,49	237,89	7,4	3,23526		12	4,16
Mooniõli	27	230,832	238,07	7,238	3,16332	3,1907334	12,2	4,03
	28	225,02	232,2	7,18	3,21814		12	3,9
Linaõli	29	225,766	232,84	7,074	3,15825	3,158247	12,4	4,01
	30	216,86	225,54	8,68	4,04709		13	4,45

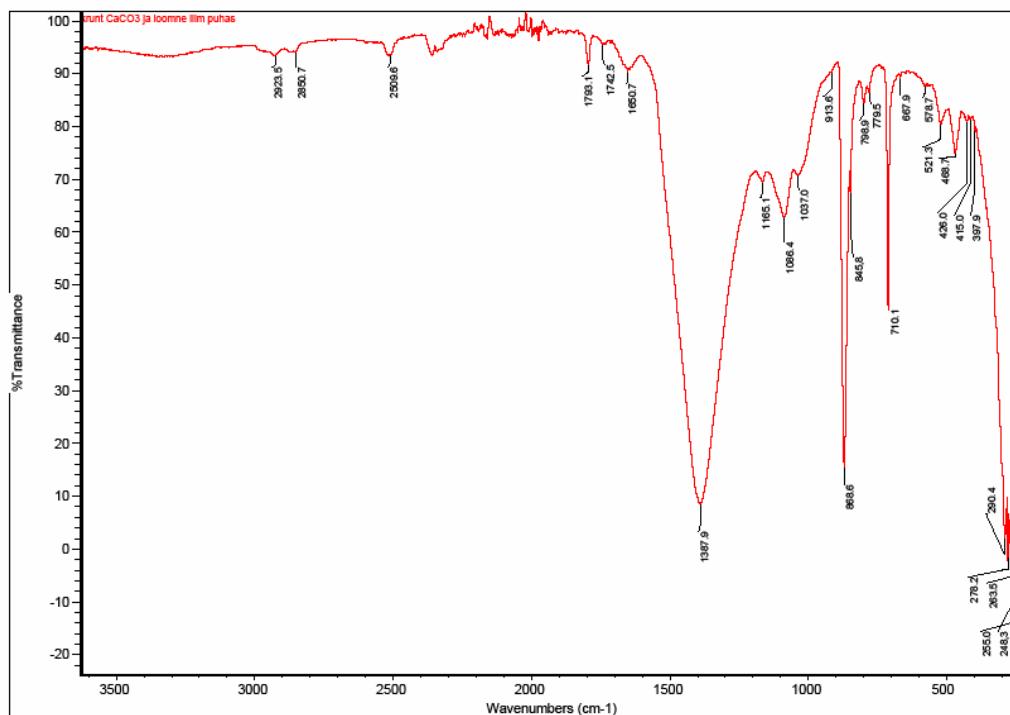
Pinnakate	tahvli nr	kaal 12 (g)	kaal 13(g)	kaalude 12	Vahe	keskmiselt	Niiskust pinnakihis	Dielektriinne läbitavus 18.05
		10.juuni.09	18.juuni.09	ja 13 vahe				
--	1	213,99	209,75	4,24	2,08944		10,6	3,95
--	2	214,63	210,67	3,96	1,94638	1,90371968	10,2	4,04
--	3	212,61	209,23	3,38	1,67534		10,4	4,08
-	4	234,148	231,55	2,598	1,15308		9,7	3,75
-	5	231,29	228,652	2,638	1,18610	1,14895601	9,5	3,71
-	6	236,3	233,78	2,52	1,10769		9,6	3,68
Pinotex	7	232,07	230,18	1,89	0,64594	0,88791468	9,7	3,81
	8	239,43	237,29	2,14	0,92989		10,1	3,86
Paraloid	9	238,448	236,09	2,358	1,02660	1,05843328	9,5	3,64
	10	235,22	232,756	2,464	1,09027		10,3	3,7
Plexisol	11	231,76	229,546	2,214	0,99448	0,99447514	9,6	3,79
	12	223,398	220,59	2,808	1,32129		10,9	3,98
Unica	13	234,84	232,952	1,888	0,83488	0,87433822	10,2	3,86
	14	234,79	232,724	2,066	0,91380		10	3,75
Uretaan	15	233,222	231,03	2,192	0,97748	0,99599587	10	3,79
	16	244,518	242,134	2,384	1,01451		10,6	3,9
Kolorex	17	239,548	236,902	2,646	1,14934	1,17073202	10,6	3,87
	18	237,014	234,3	2,714	1,19213		11,1	3,8
Sellak	19	232,11	229,57	2,54	1,13728	1,08067862	9,7	3,66
	20	234,71	232,392	2,318	1,02408		9,8	3,7
Taruvaik	21	229,162	226,99	2,172	0,98392	0,99971603	9,8	3,78
	22	240,13	237,78	2,35	1,01551		10	3,88
Vaha	23	236,66	234,418	2,242	0,98575	0,98575448	10,5	3,81
	24	234,03	232,02	2,01	0,89286		10,9	3,77
Tiikpuuõli	25	233,97	231,568	2,402	1,06552	1,08581343	9,9	3,73
	26	237,89	235,36	2,53	1,10611		10,4	3,93
Mooniõli	27	238,07	235,552	2,518	1,10048	1,13963355	10,7	3,86
	28	232,2	229,57	2,63	1,17879		10,2	3,68
Linaõli	29	232,84	230,112	2,728	1,21794	1,2179387	10,4	3,77
	30	225,54	221,8	3,74	1,74379		10,9	3,94

# Lisa 4 IP-spektrid

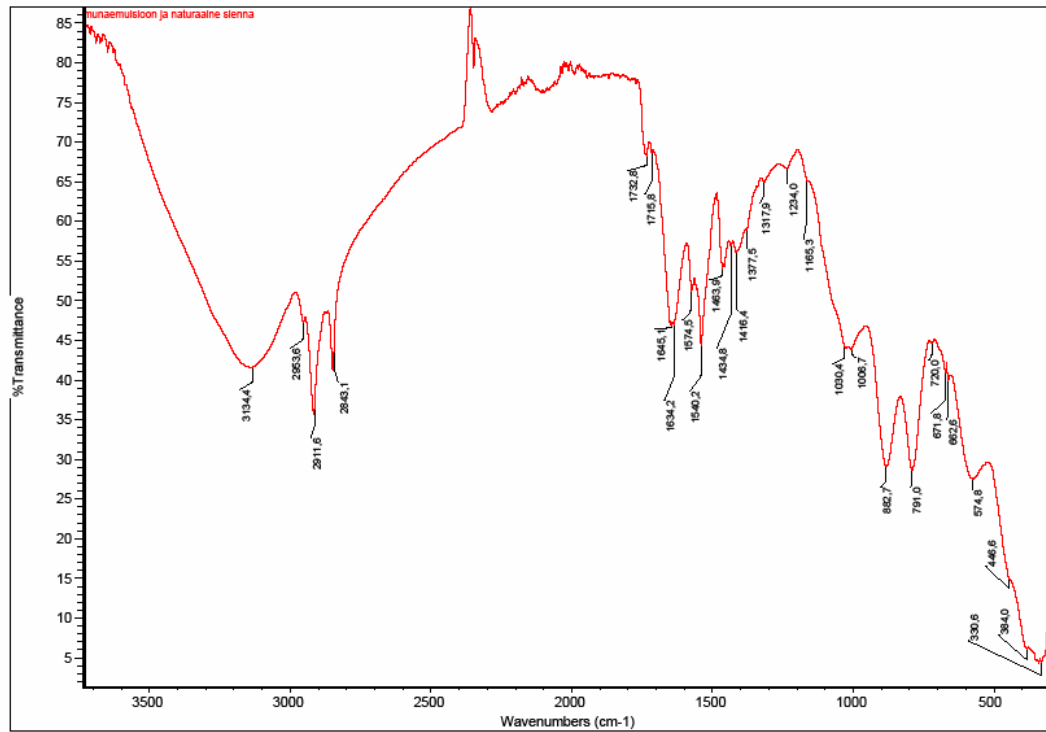
## 1. Tammepuit



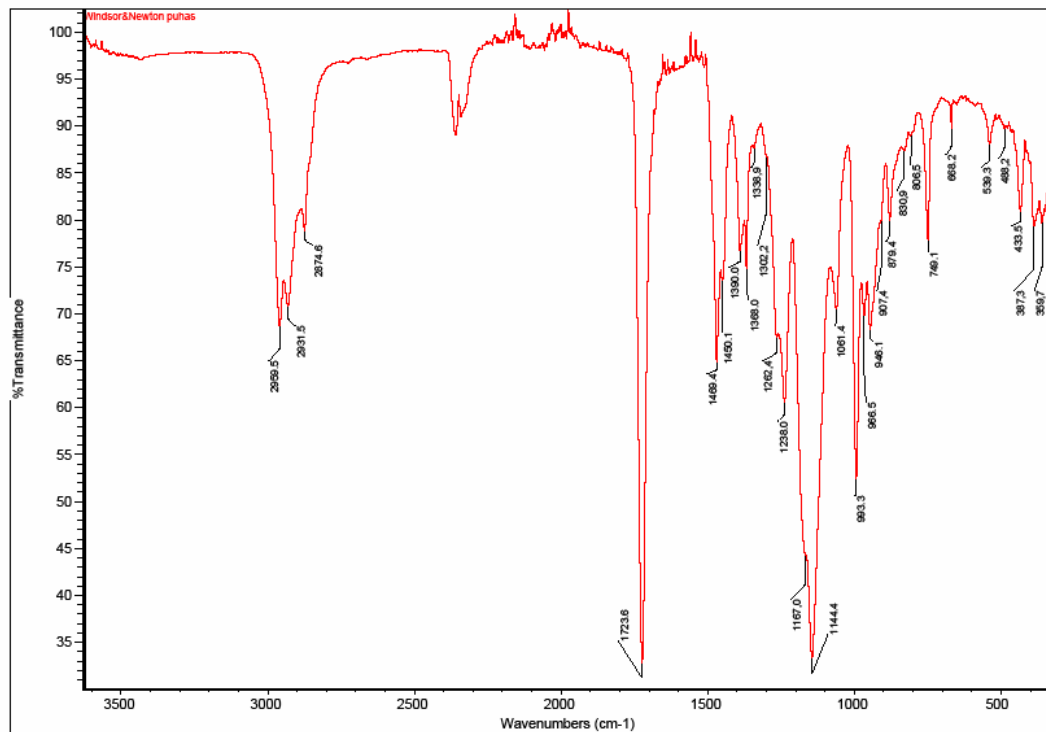
## 2. Kruut



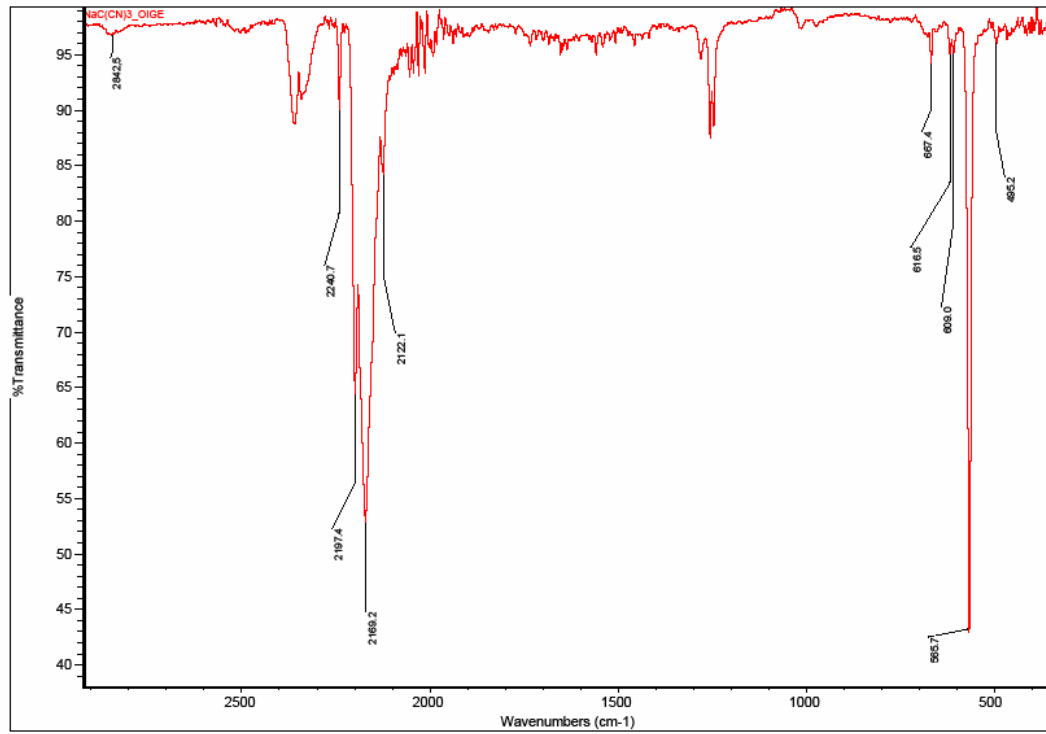
### 3. Munaemulsioon ja naturaalne sienna (maalikiht)



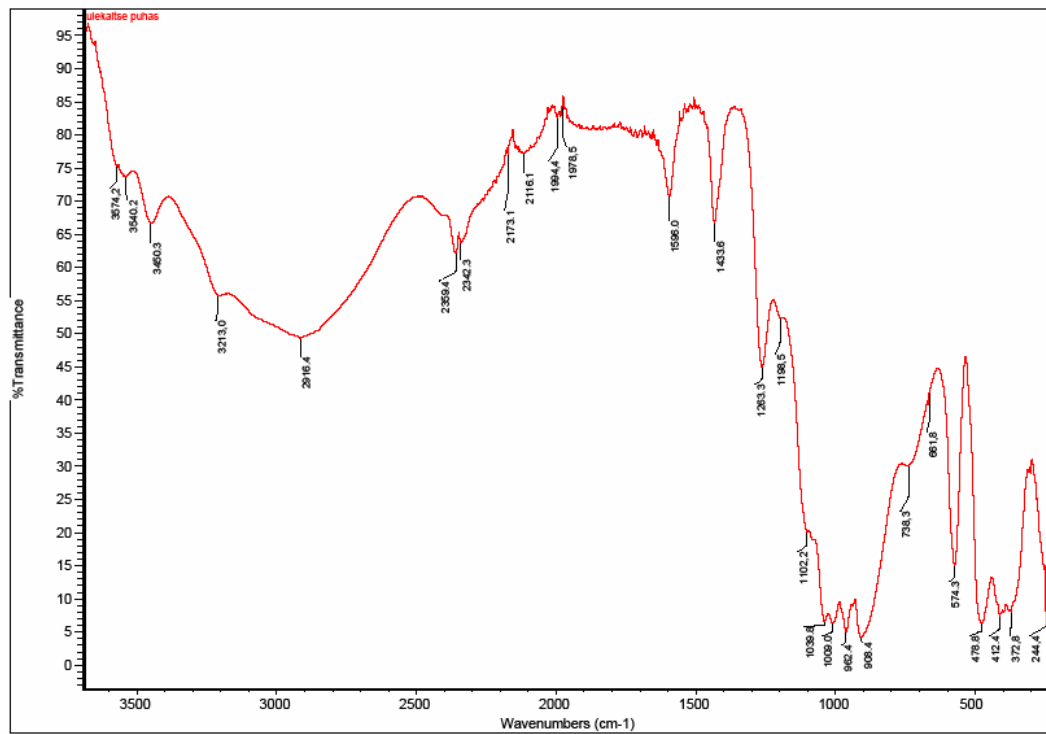
### 4. Windsor & Newton kattelakk



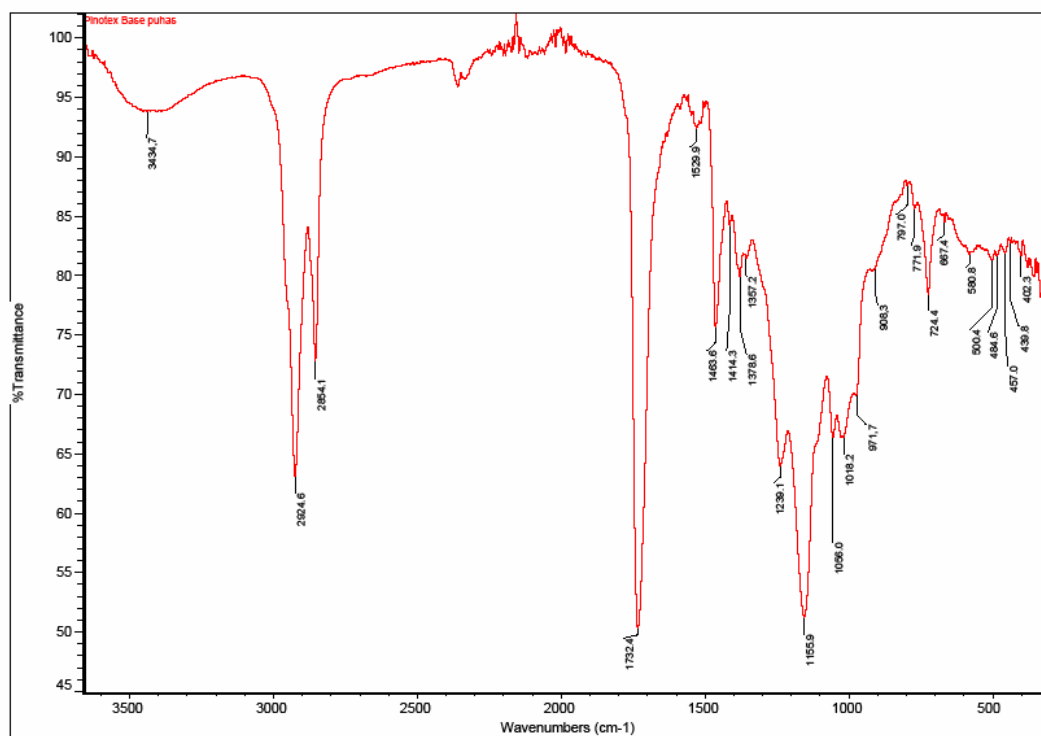
## 5. NaC(CN)<sub>3</sub>



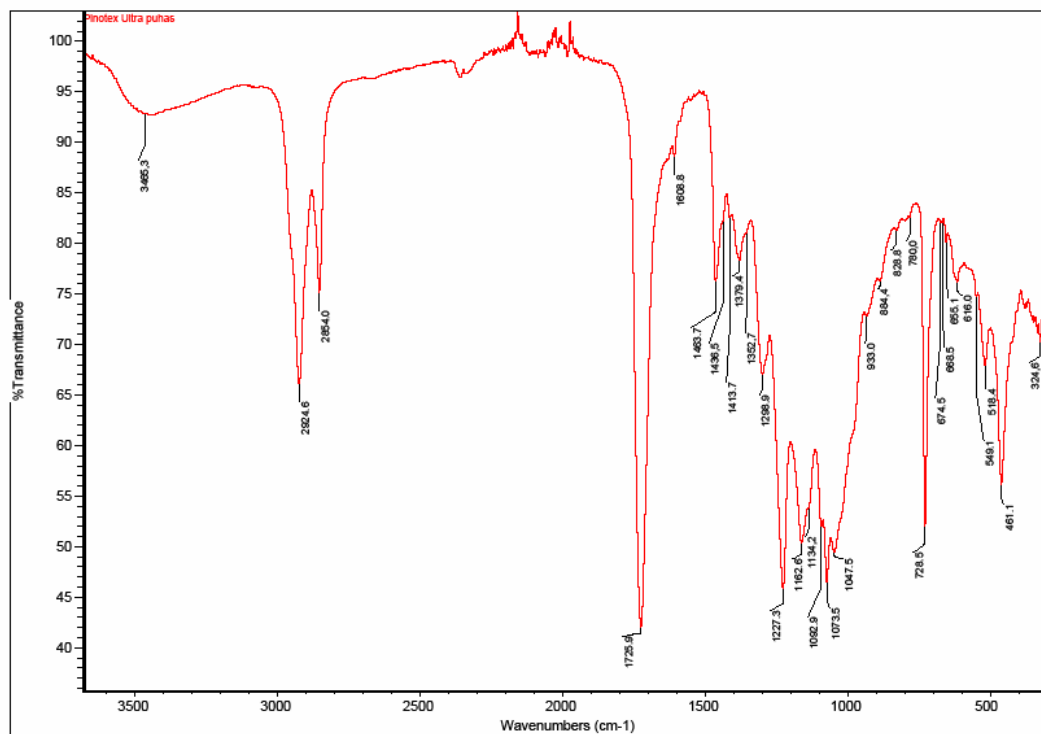
## 6. Holz Prof



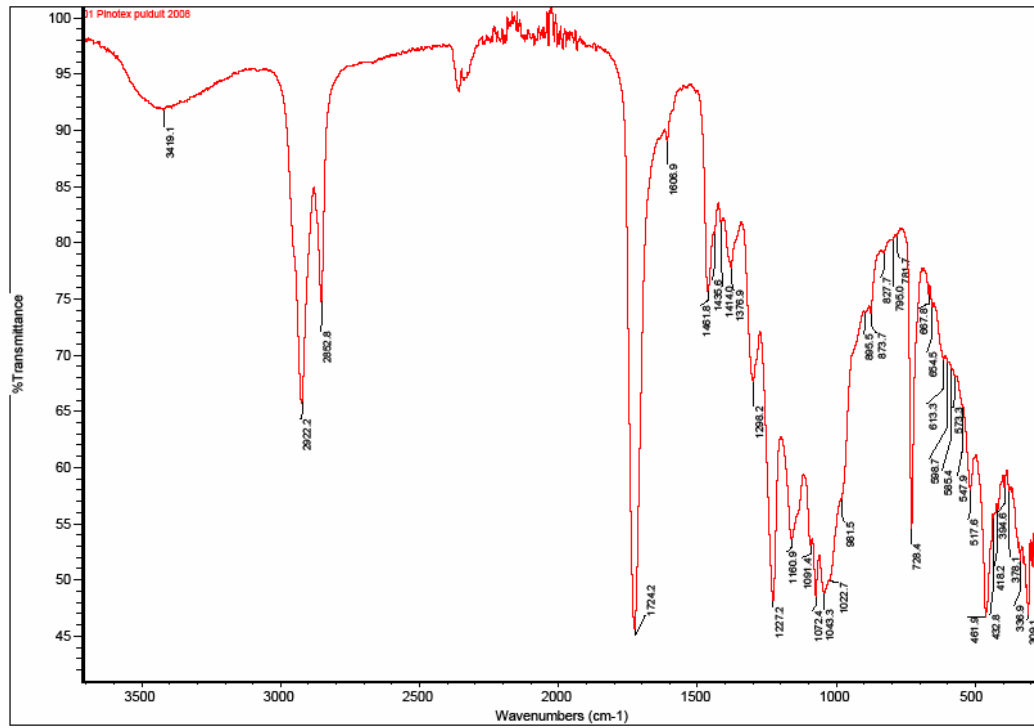
## 7. Pinotex Base



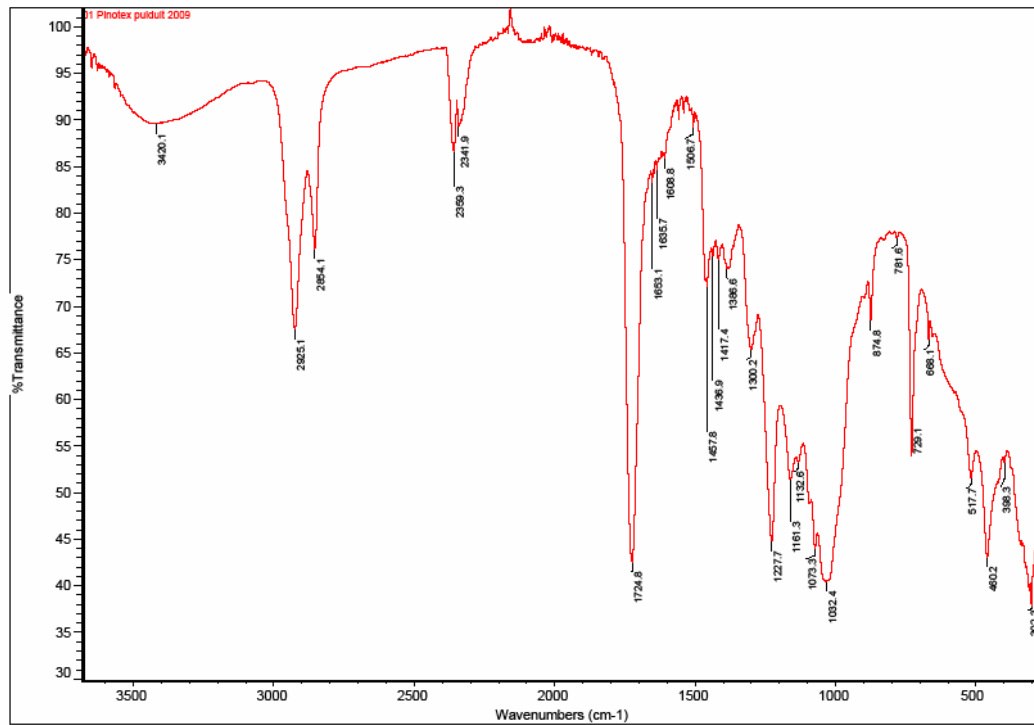
## 8. Pinotex Ultra



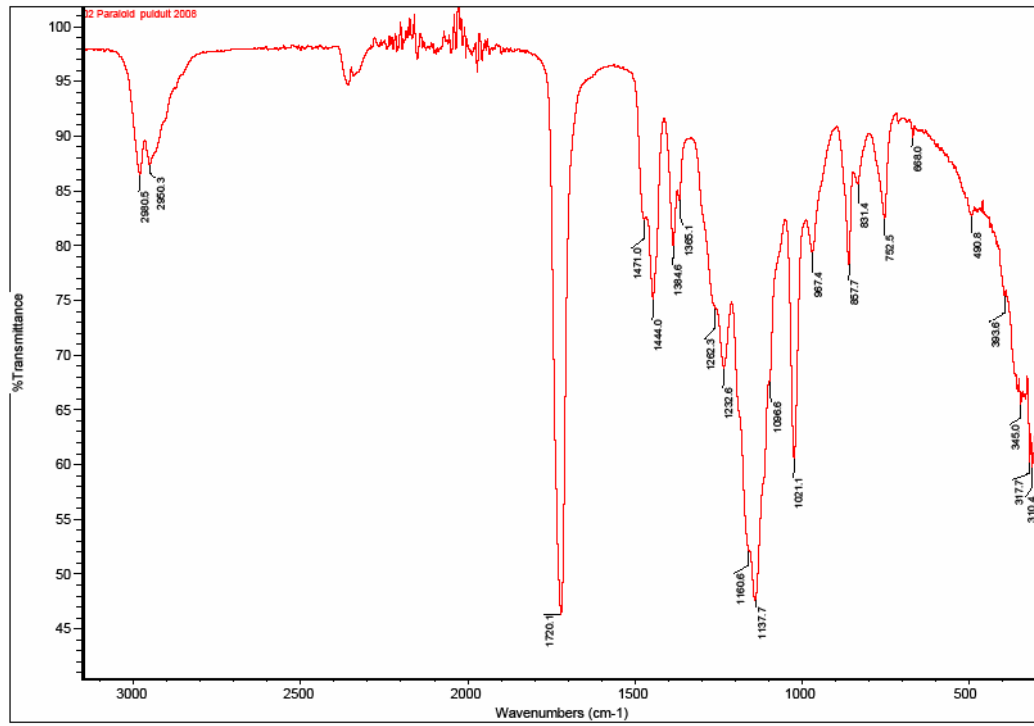
### 9. Pinotex Ultra VT pinnalt katse algul



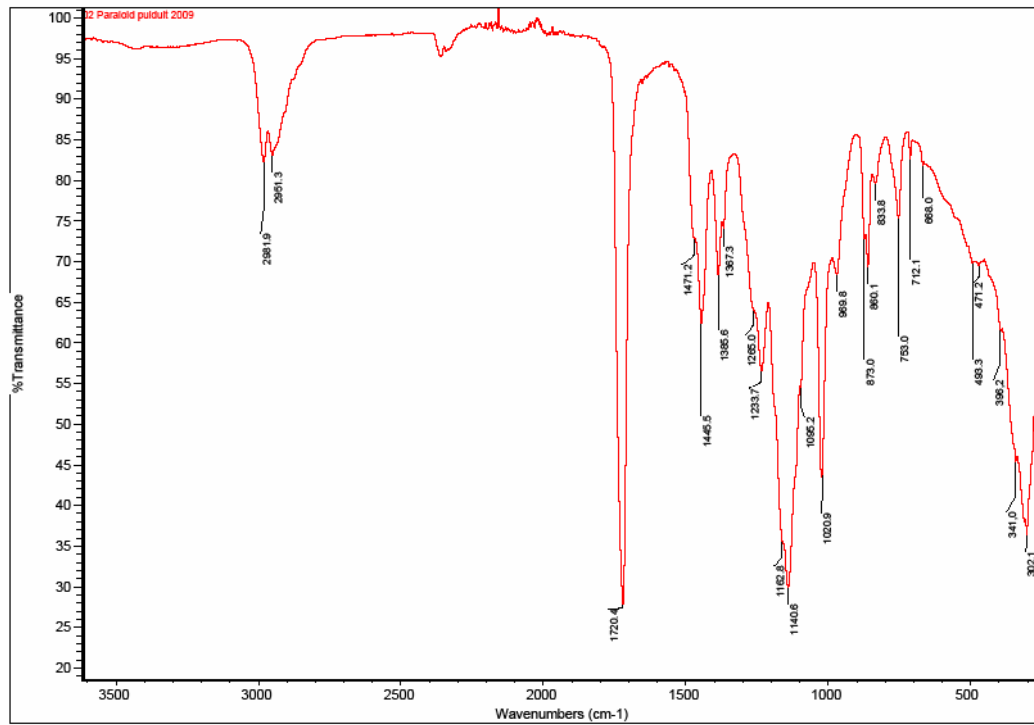
### 10. Pinotex Ultra VT pinnalt katse lõpus



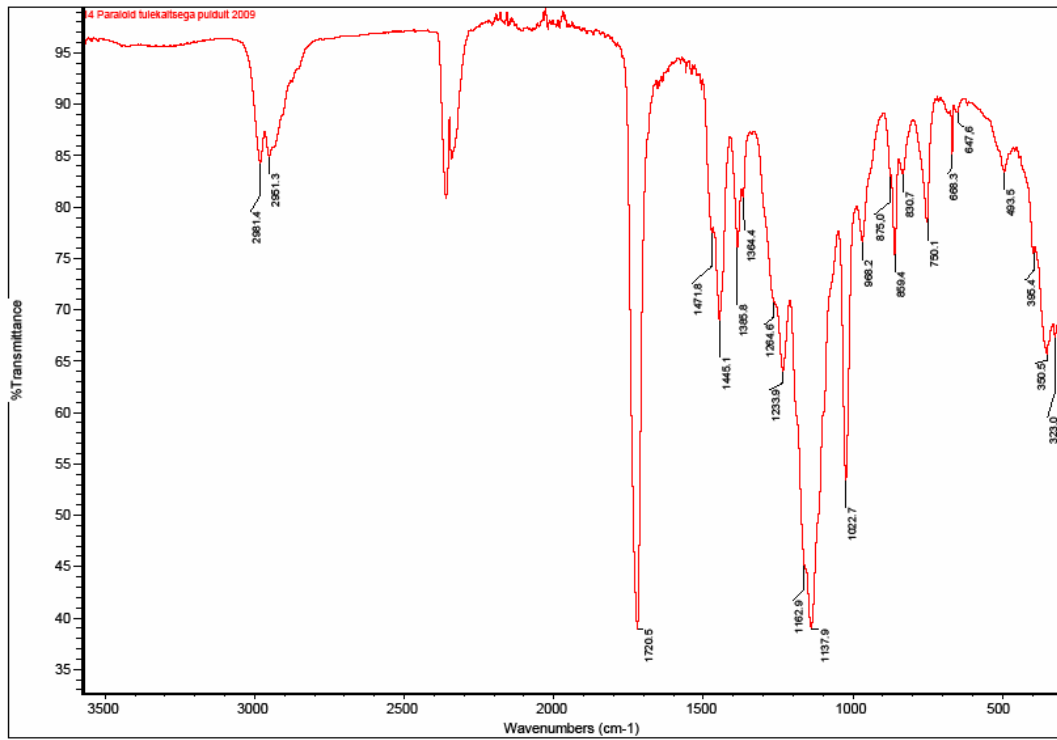
## 11. Paraloid B72 VT pinnalt katse algul



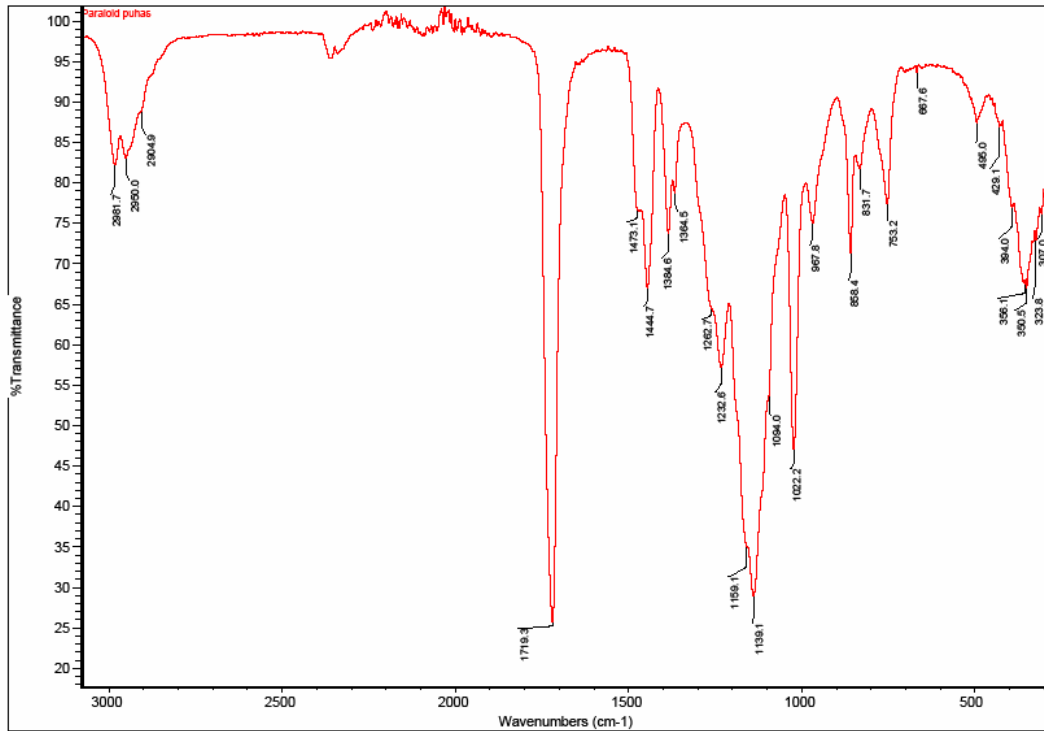
## 12. Paraloid B72 VT pinnalt katse lõpus



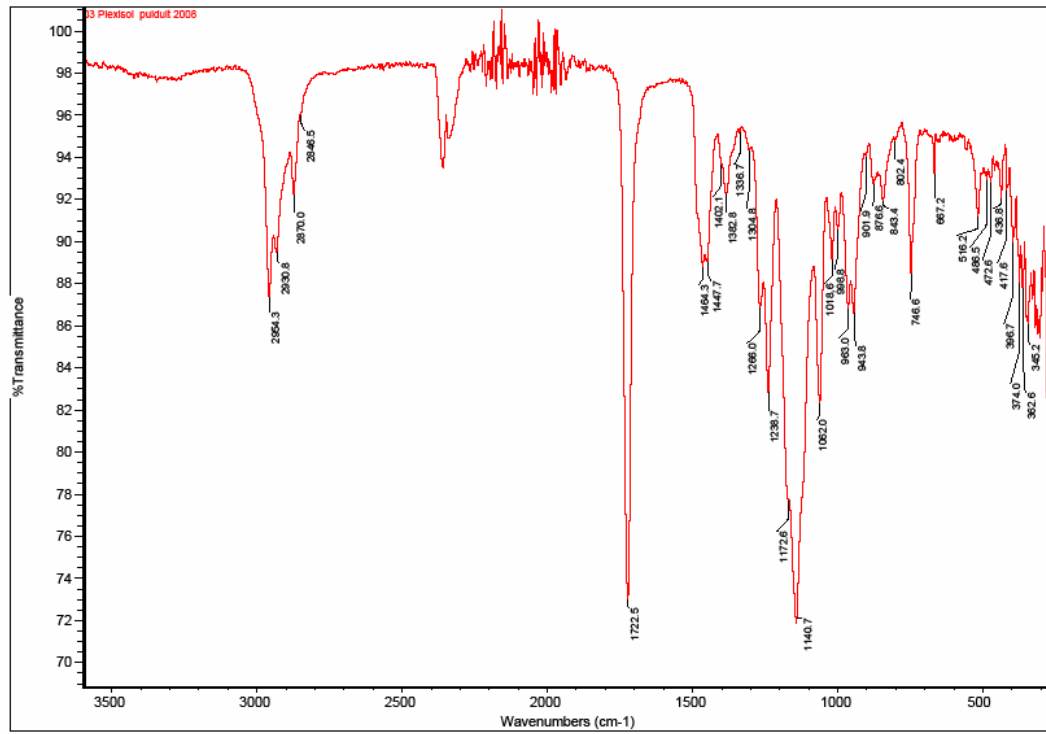
### 13. Paraloid tulekaitsega VT pinnalt



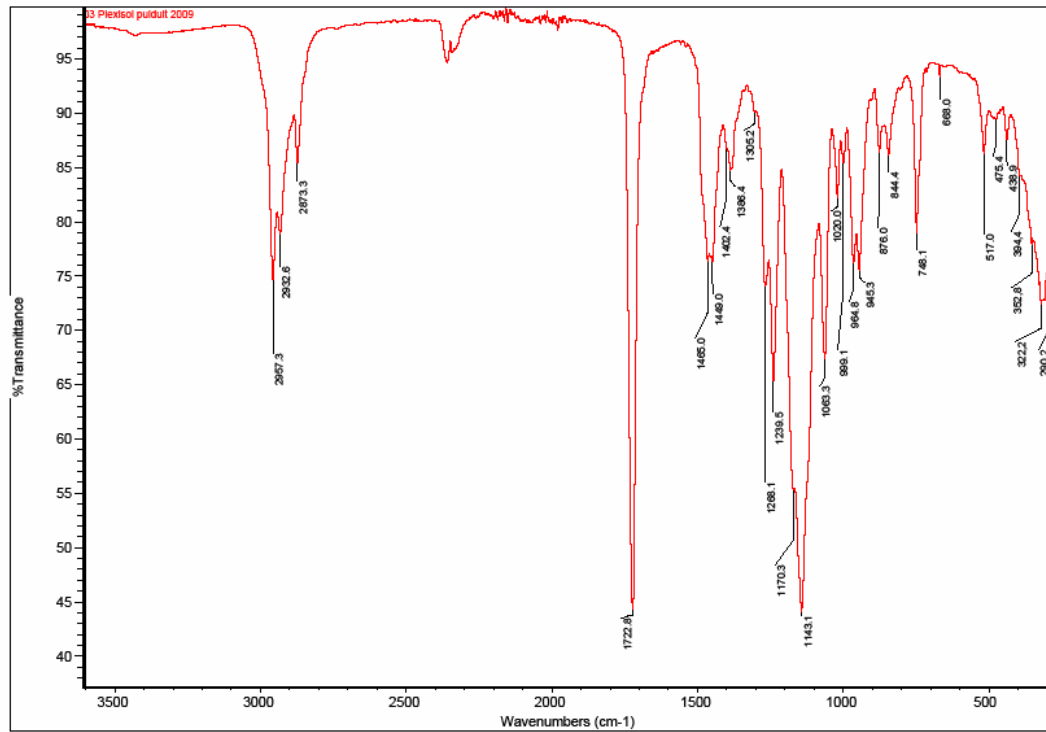
### 14. Paraloid B72



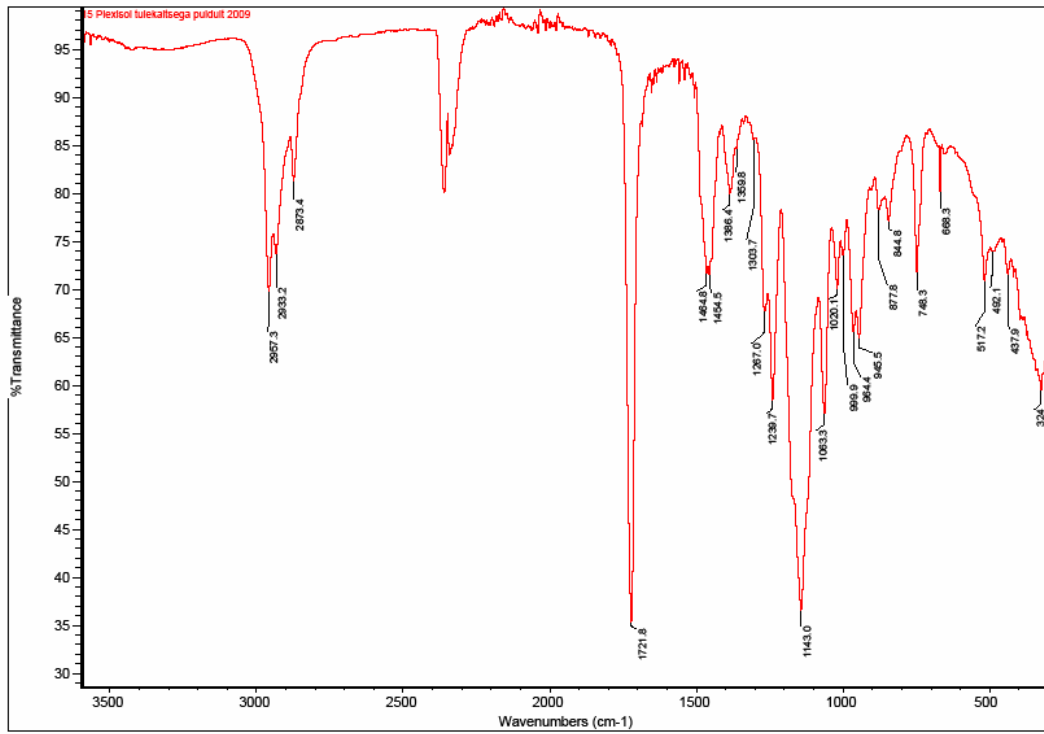
15. Plexisol P 550 VT pinnalt katse algul



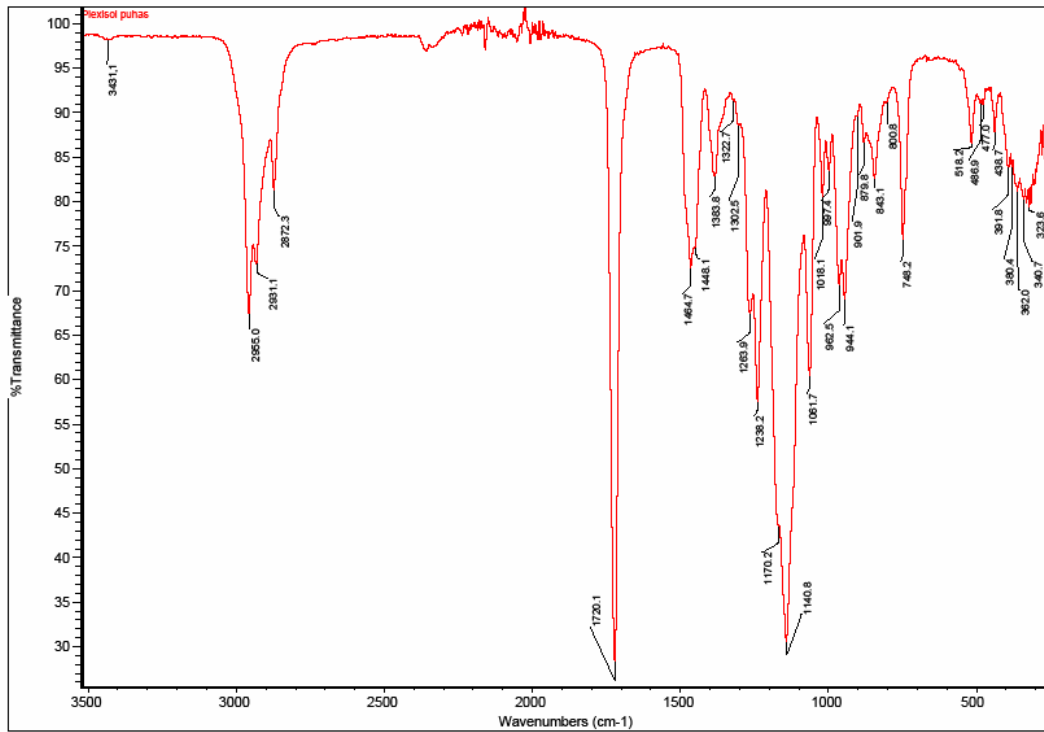
16. Plexisol P 550 VT pinnalt katse lõpus



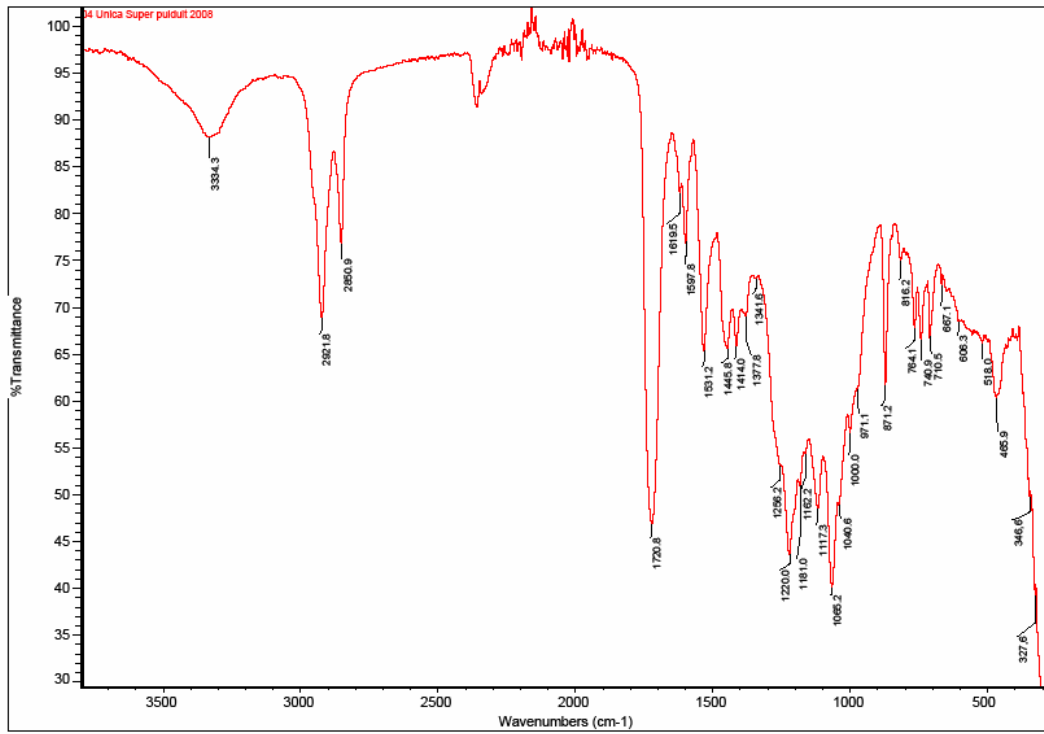
17. Plexisol P 550 tulekaitsega VT pinnalt



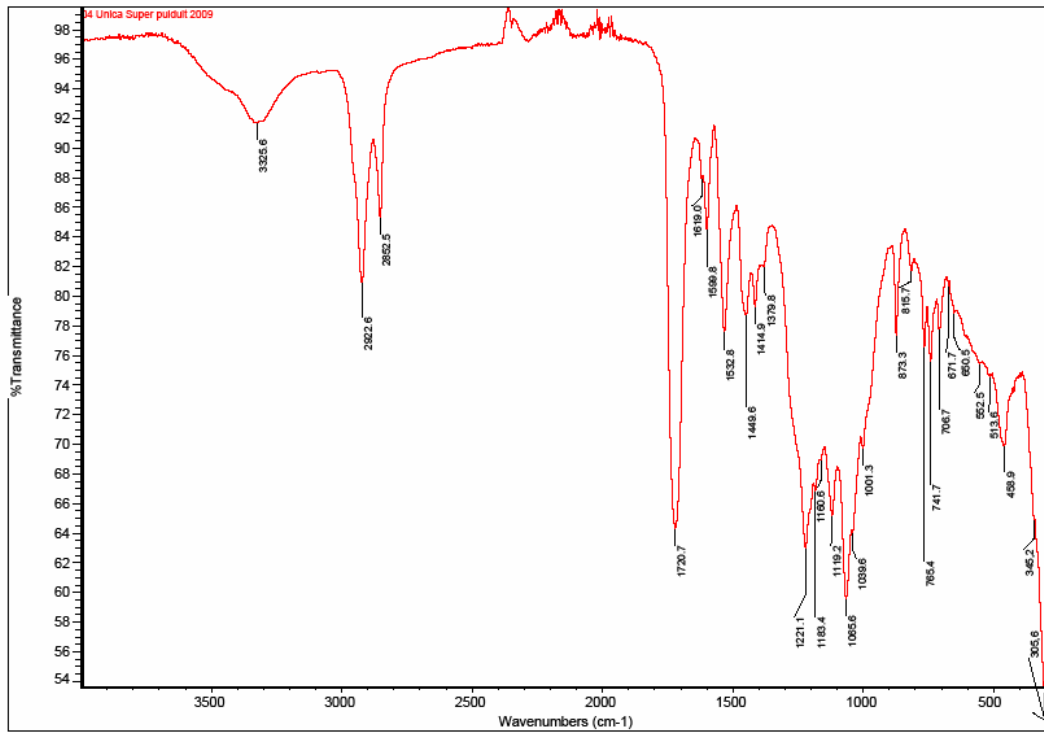
18. Plexisol P 550



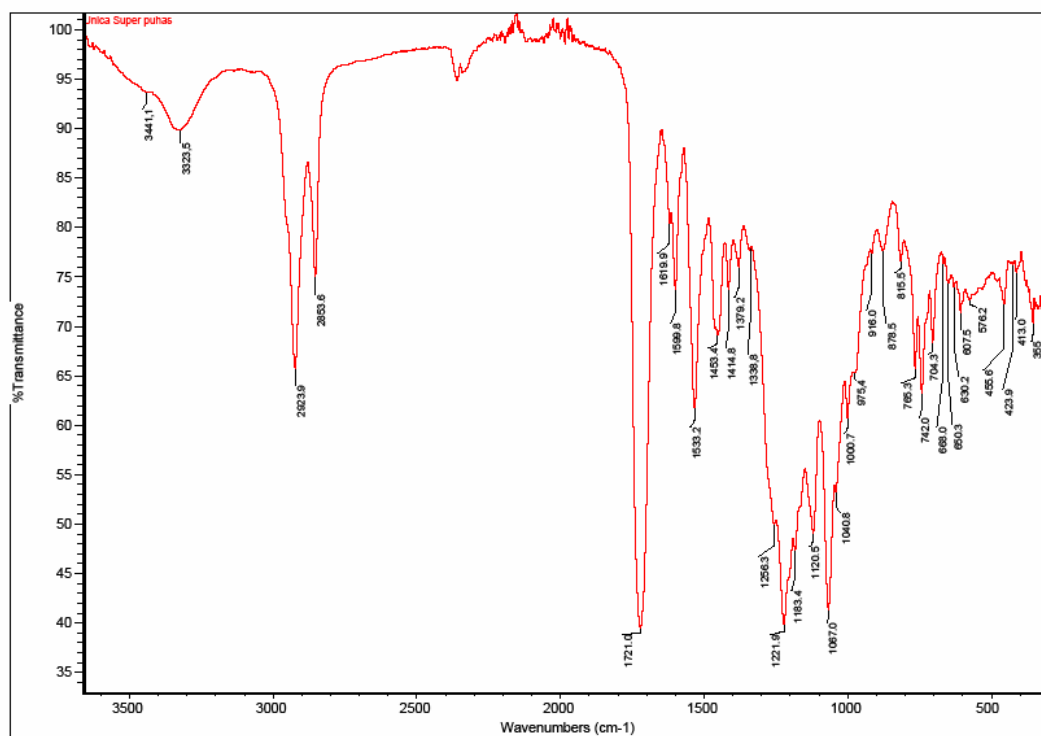
19. Unica Super VT pinnalt katse algul



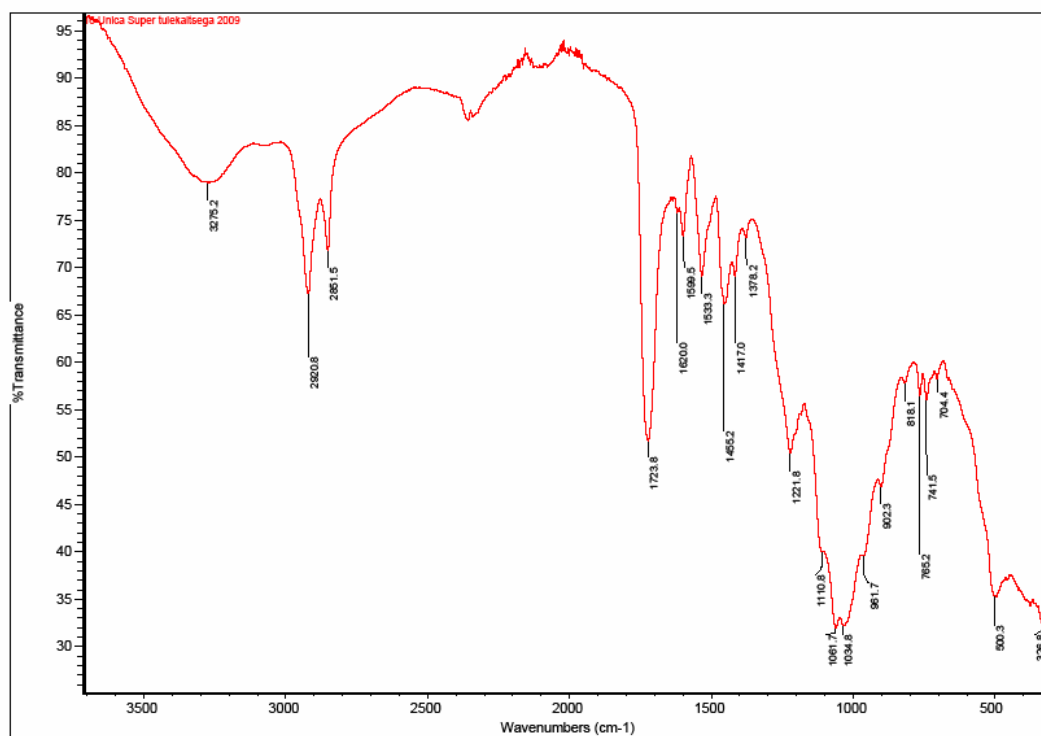
20. Unica Super VT pinnalt katse lõpus



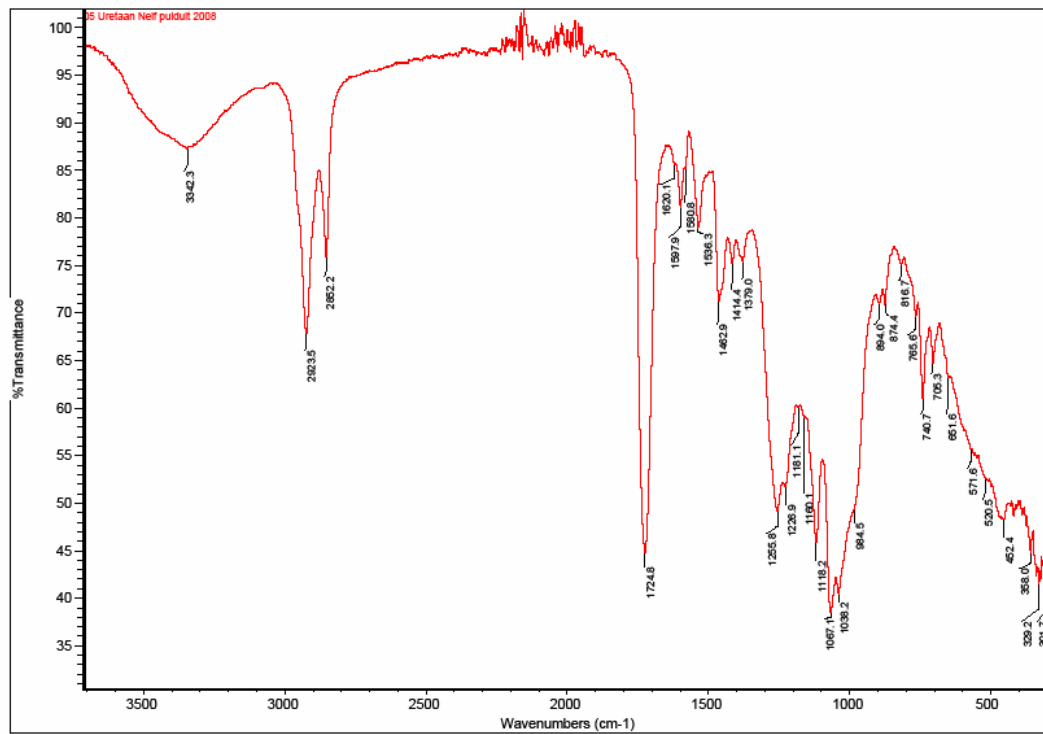
## 21. Unica Super



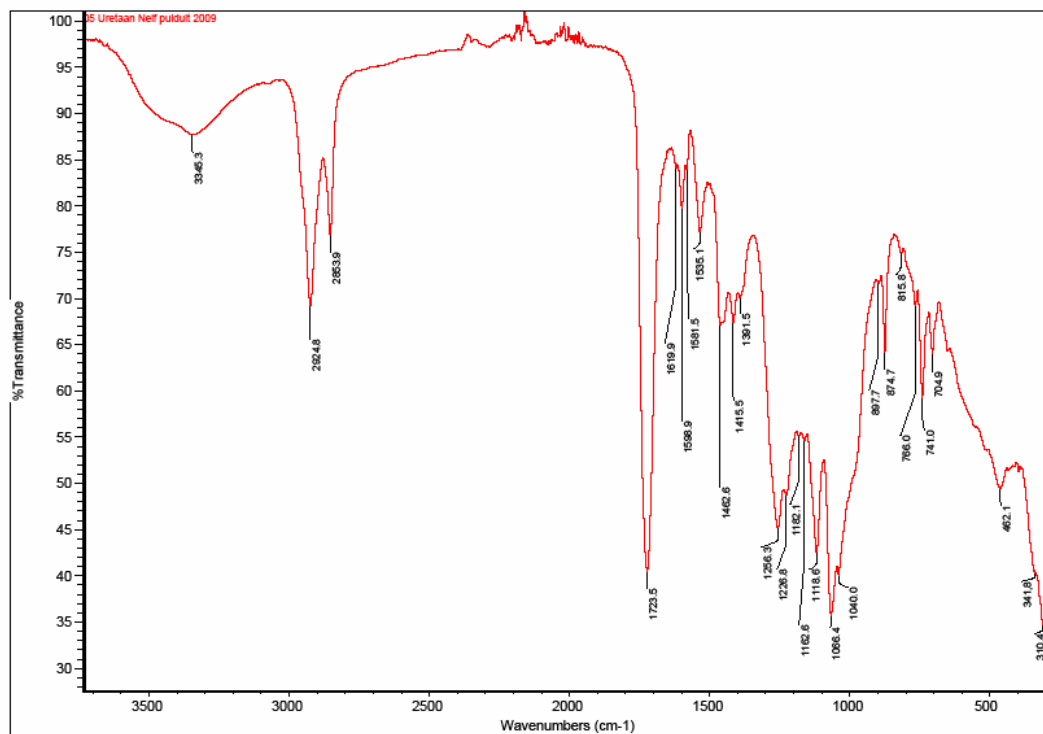
## 22. Unica Super tulekaitsega VT pinnalt



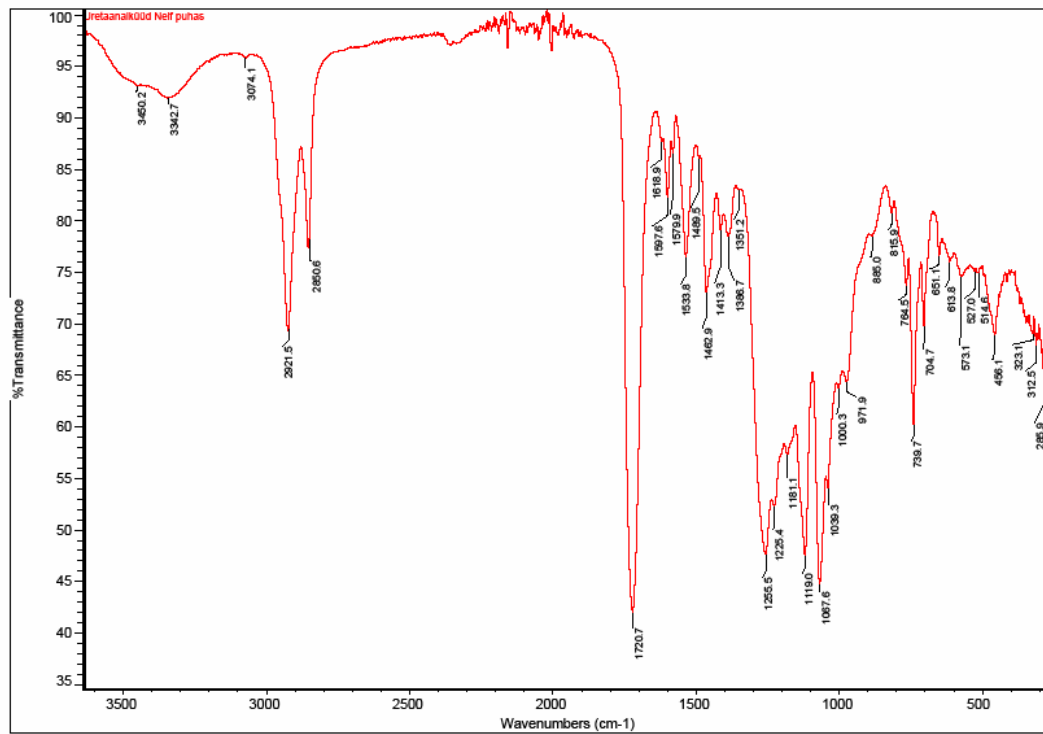
23. Uretaanalküüd firmalt Nelf VT pinnalt katse algul



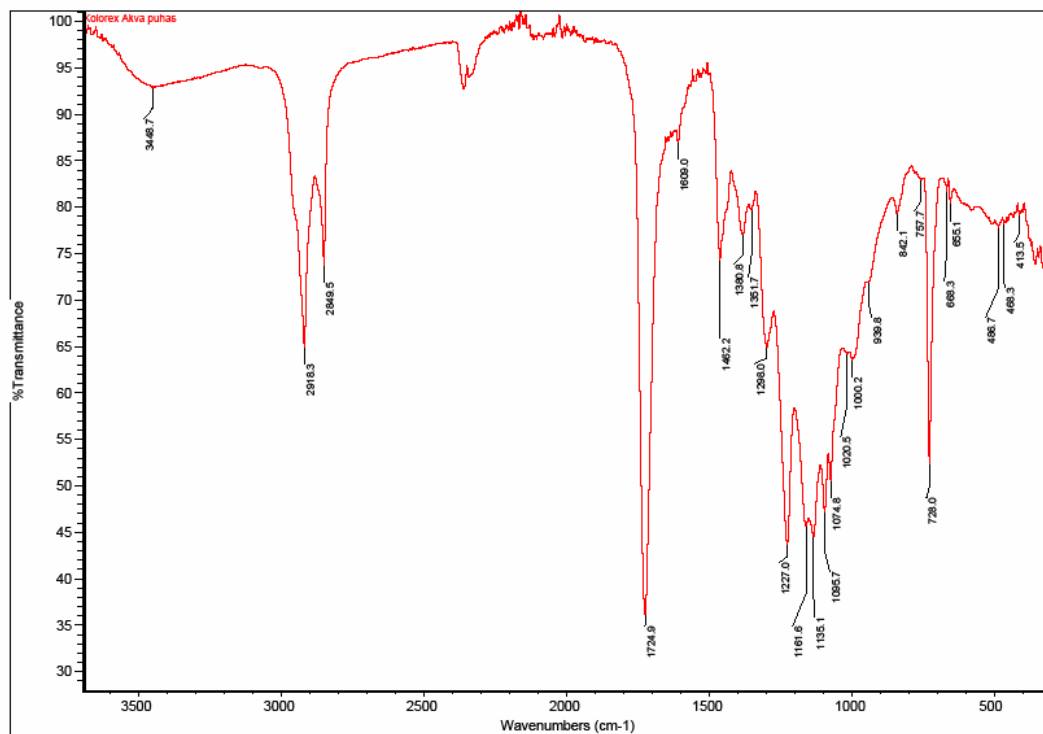
24. Uretaanalküüd firmalt Nelf VT pinnalt katse lõpus



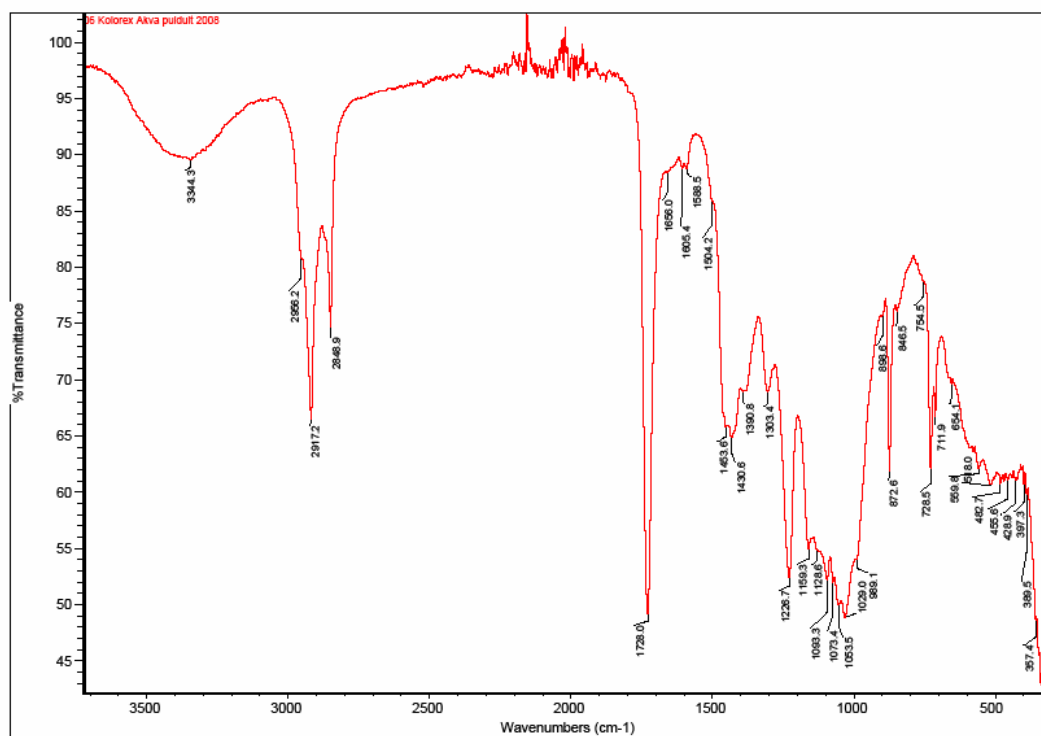
## 25. Uretaanalküüd firmalt Nelf



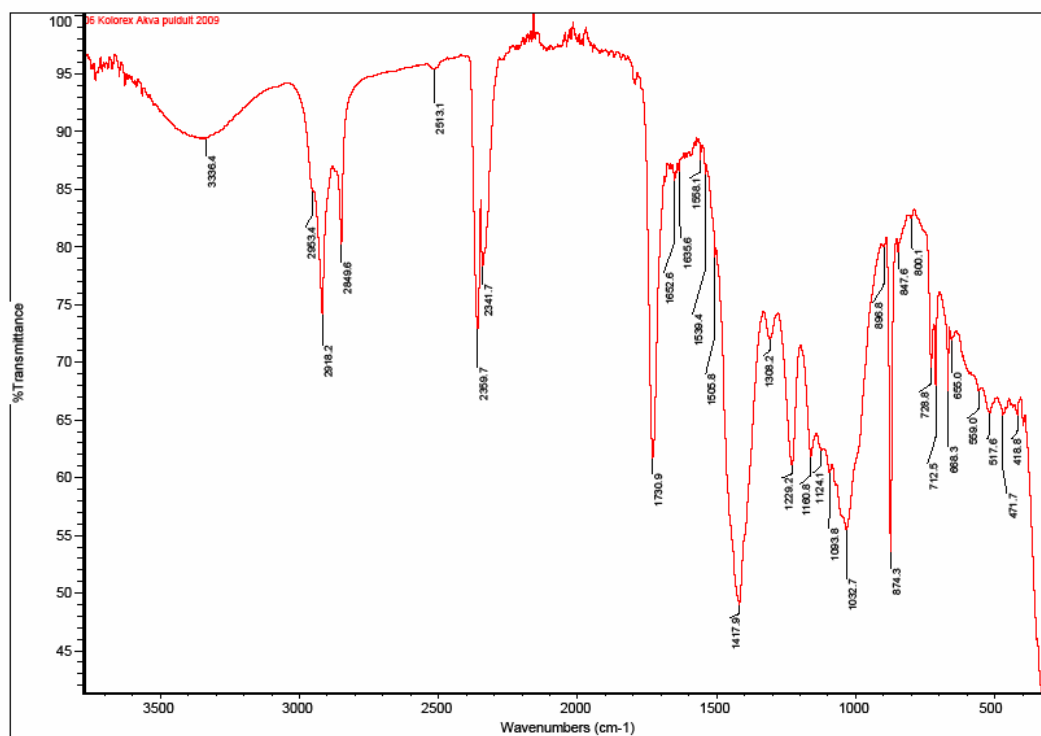
## 26. Kolorex Akva



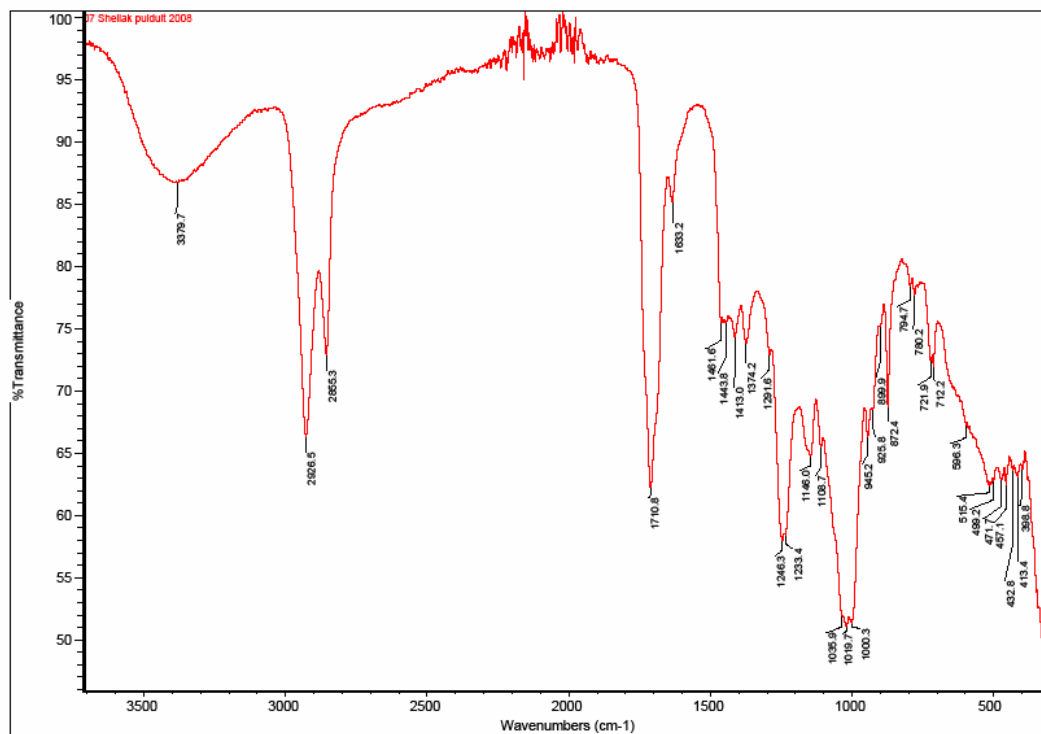
## 27. Kolorex Akva VT pinnalt katse algul



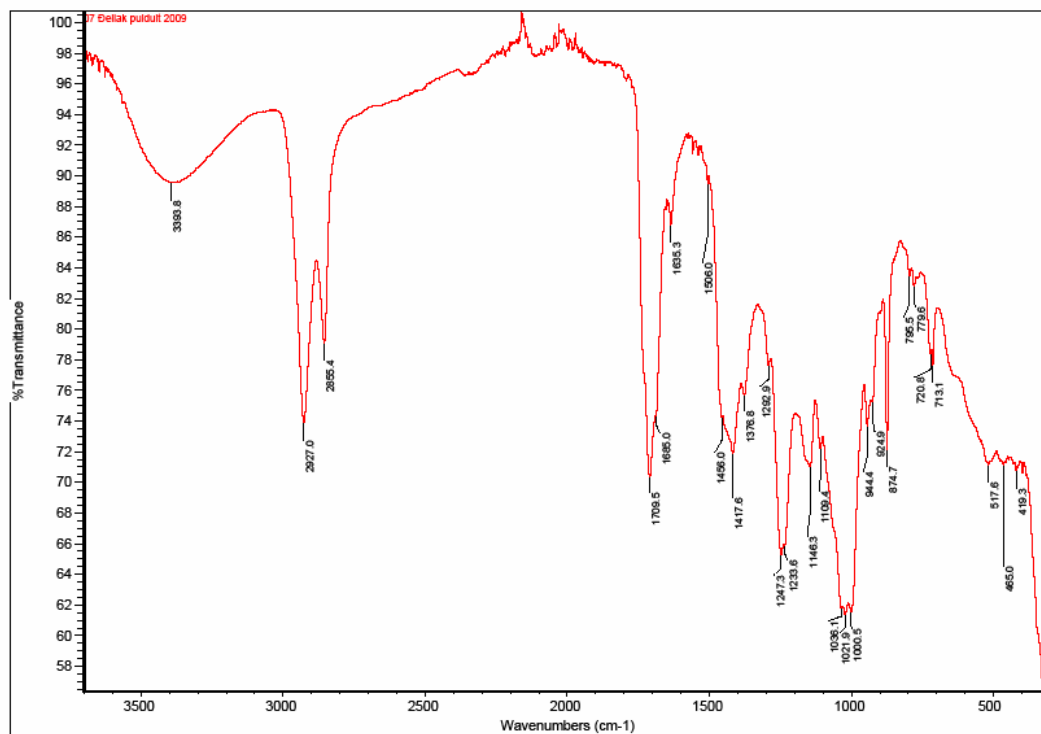
## 28. Kolorex Akva VT pinnalt katse lõpus



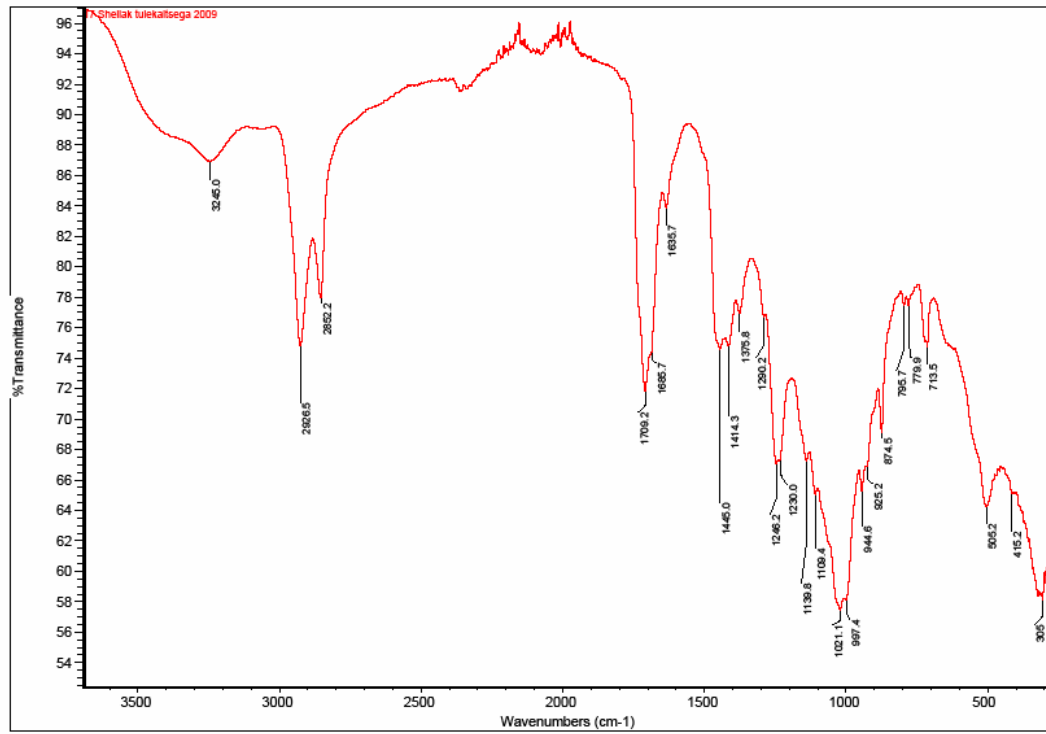
### 29. Šellak VT pinnalt katse algul



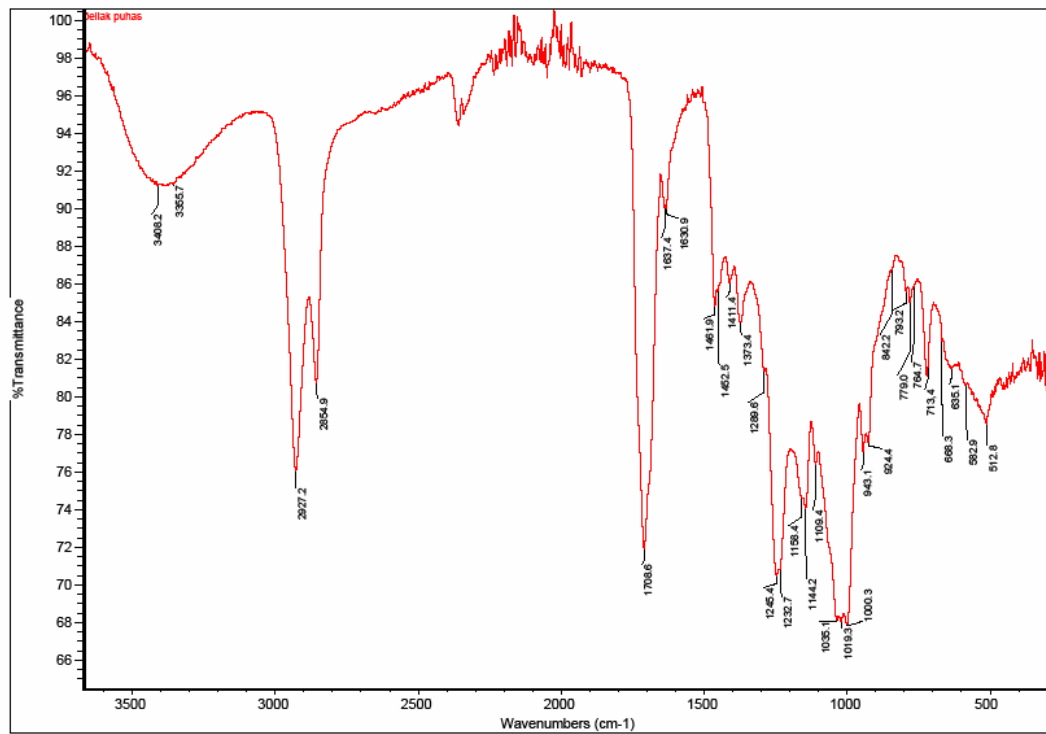
### 30. Šellak VT pinnalt katse lõpus



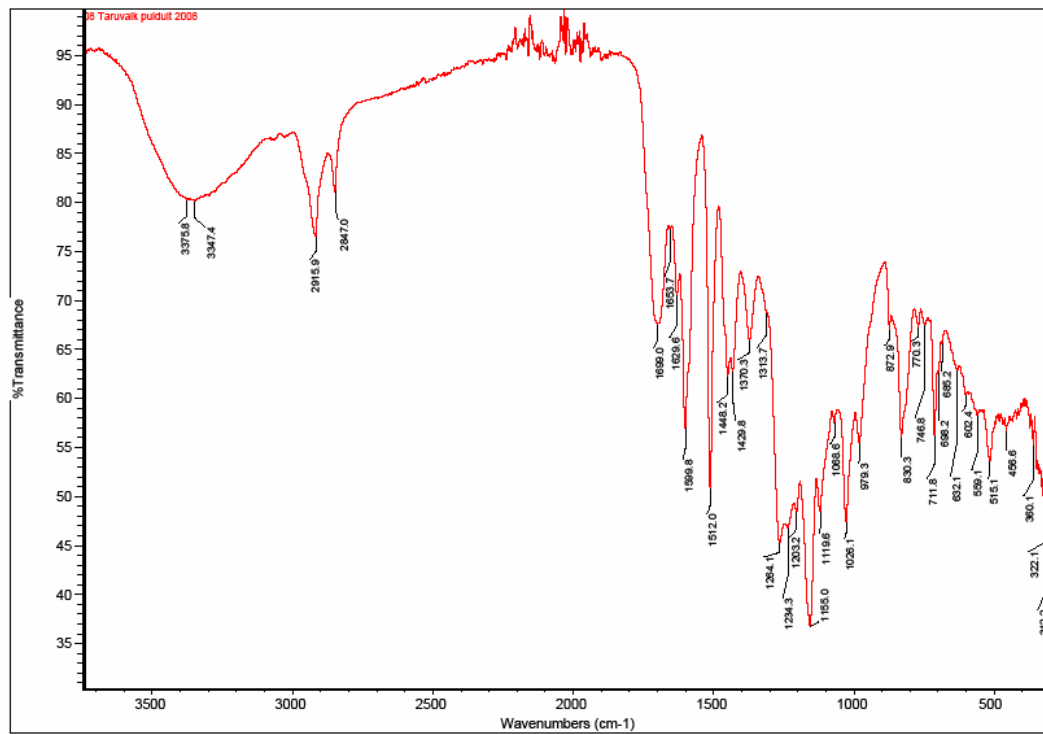
### 31. Šellak tulekaitsega



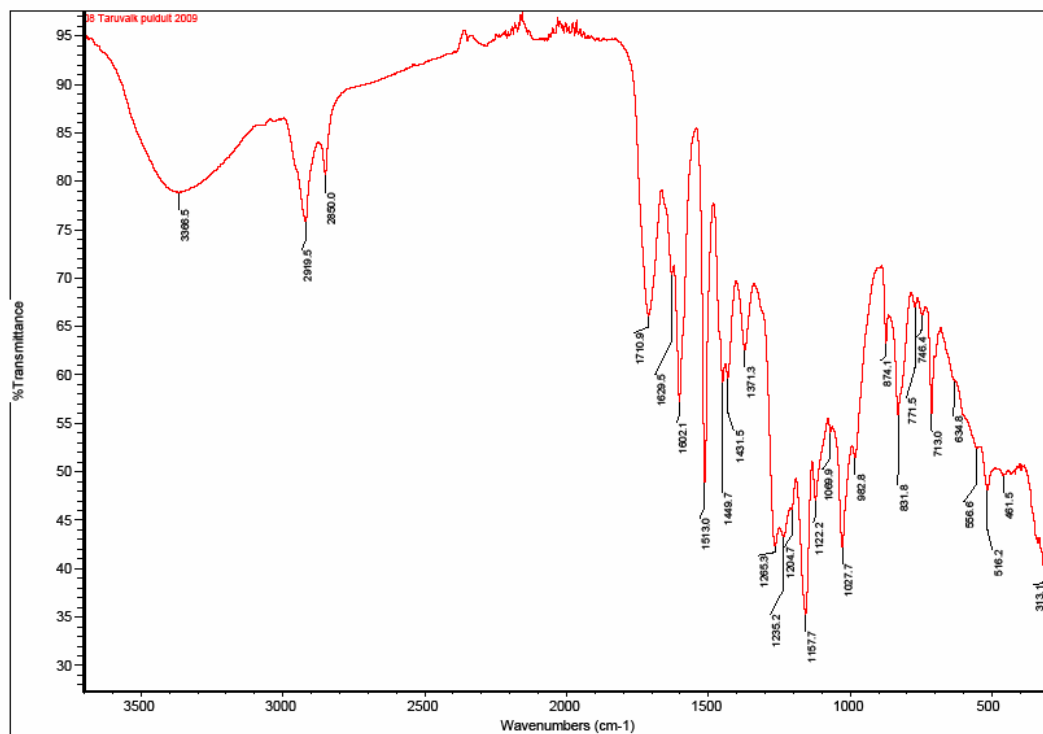
### 32. Šellak



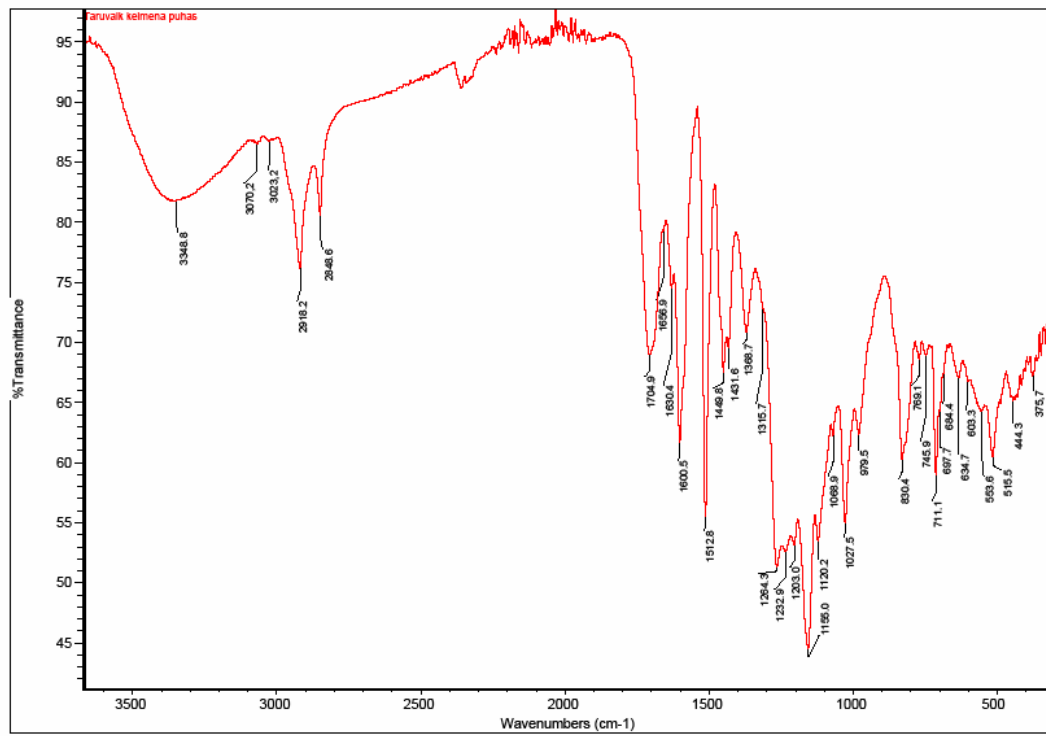
### 33. Taruvaik VT pinnalt katse algul



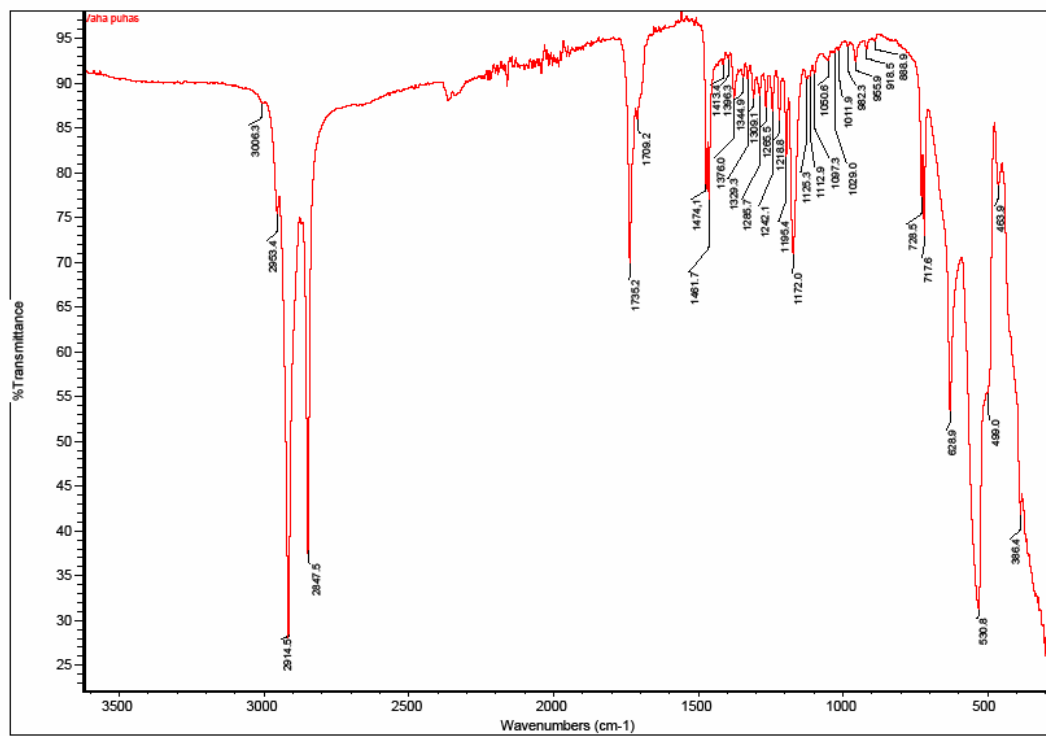
### 34. Taruvaik VT pinnalt katse lõpus



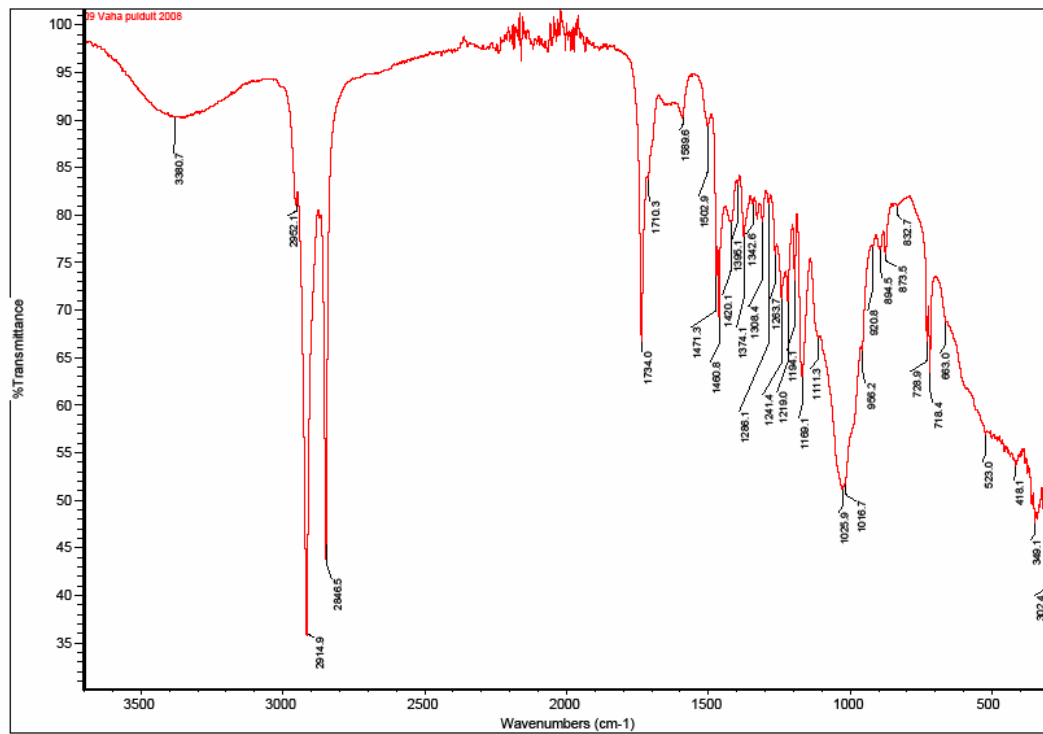
### 35. Taruvaik



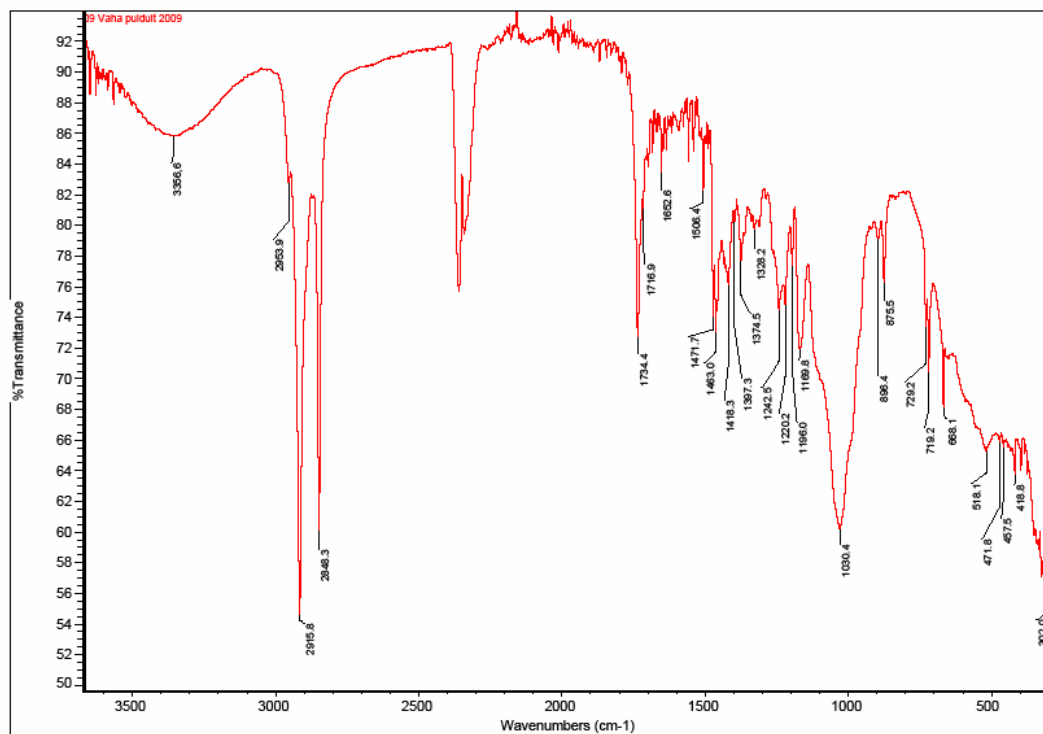
### 36. Vaha



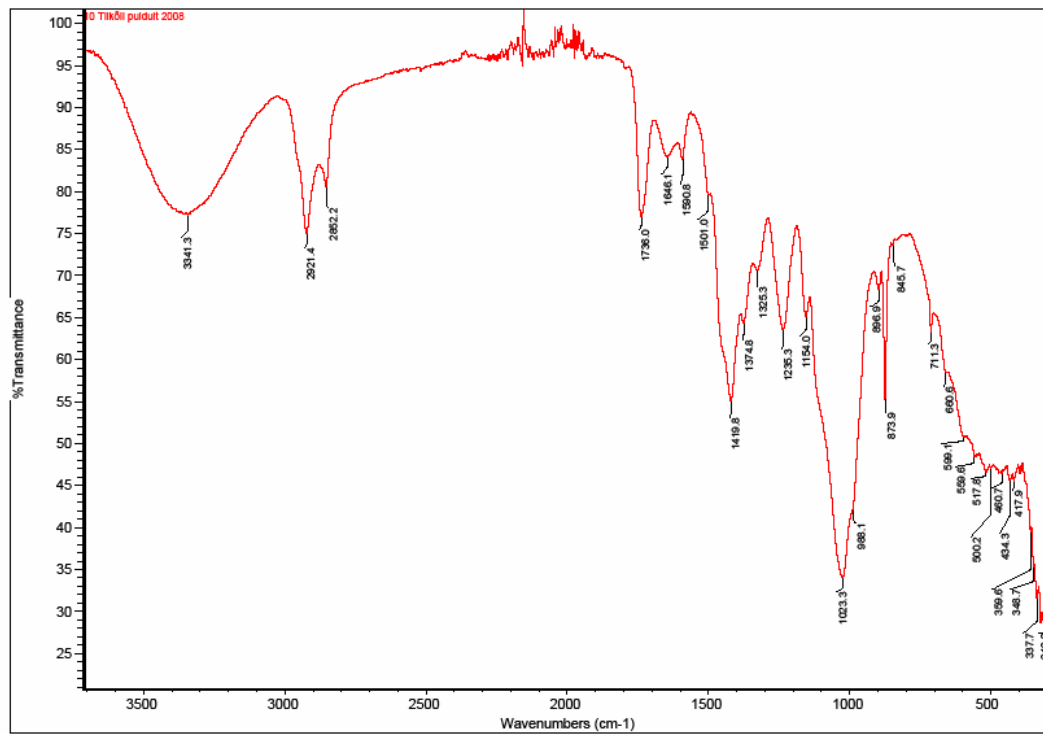
### 37. Vaha VT pinnalt katse algul



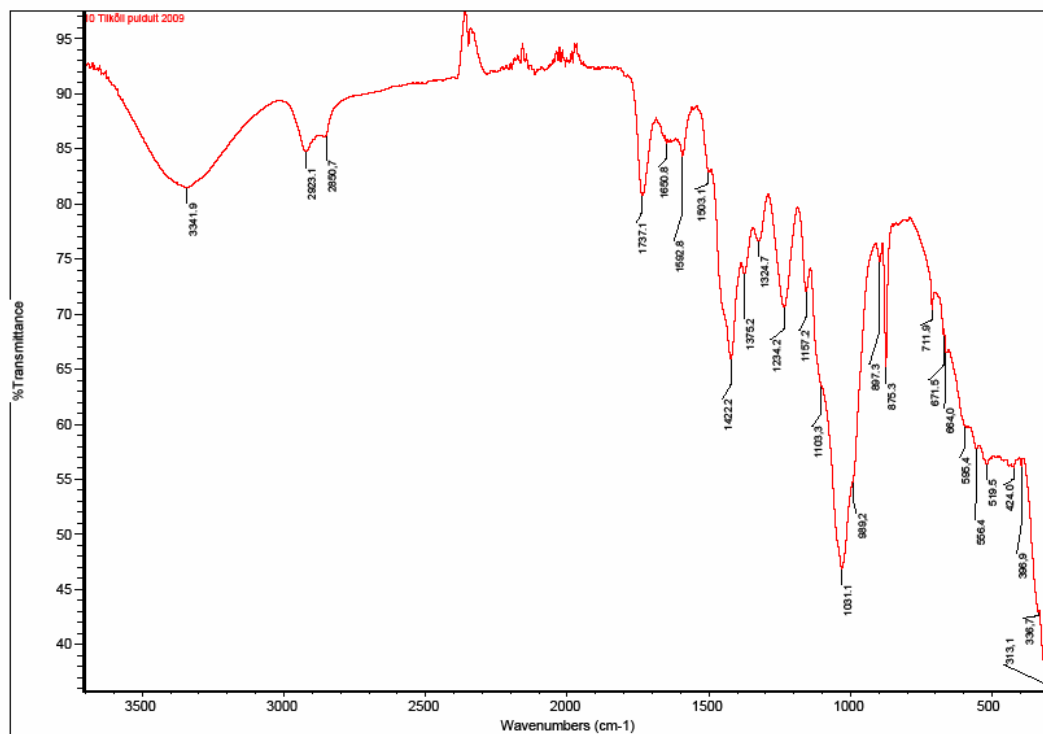
### 38. Vaha VT pinnalt katse lõpus



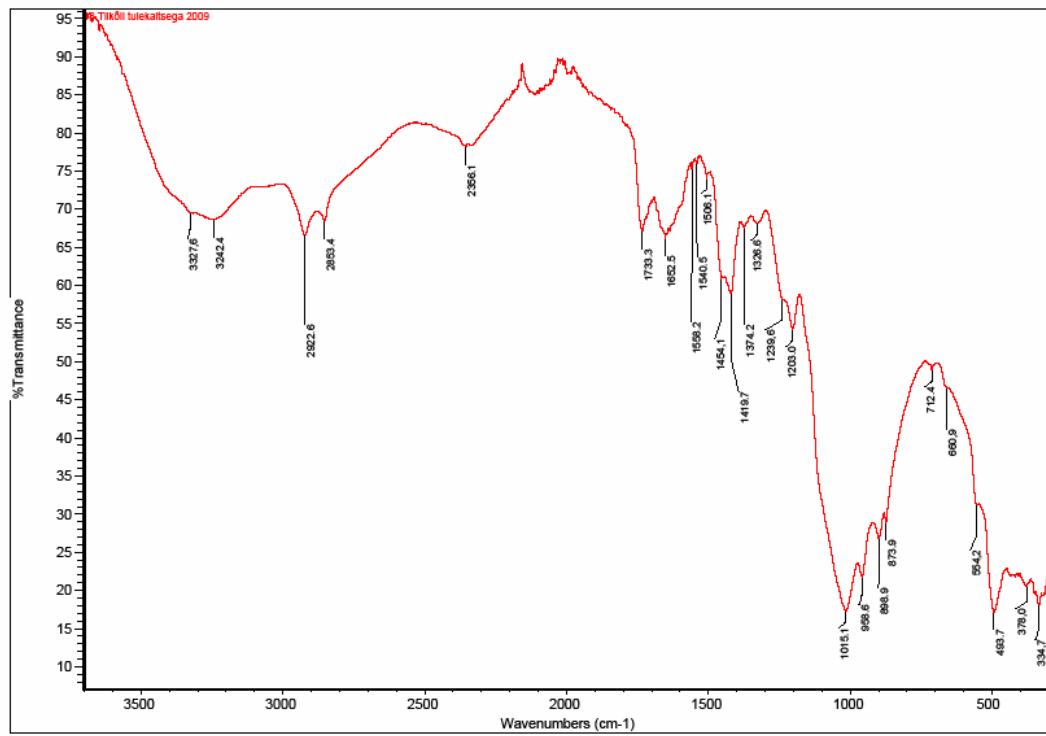
### 39. Tiikõli VT pinnalt katse algul



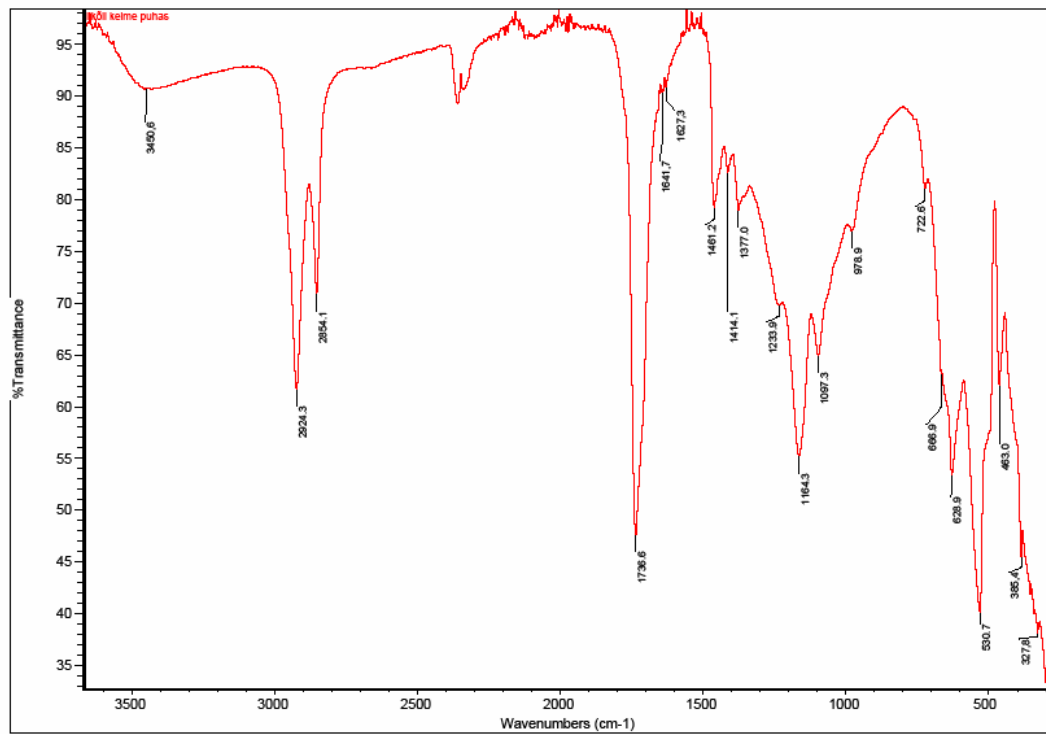
### 40. Tiikõli VT pinnalt katse lõpus



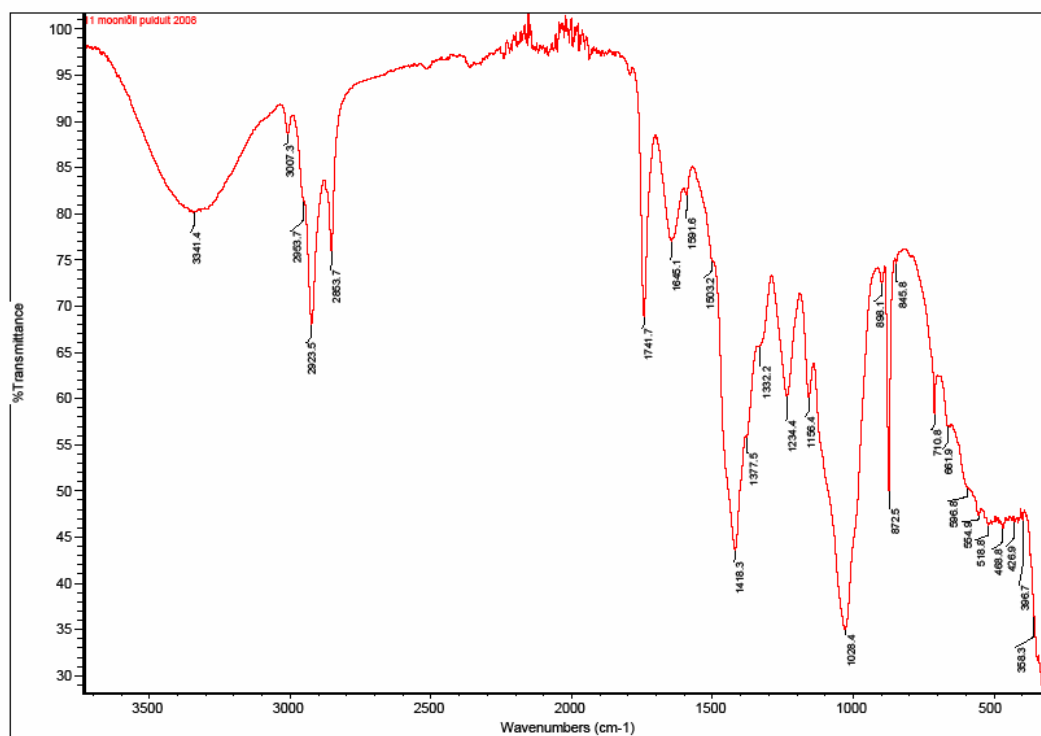
#### 41. Tiikõli tulekaitsega



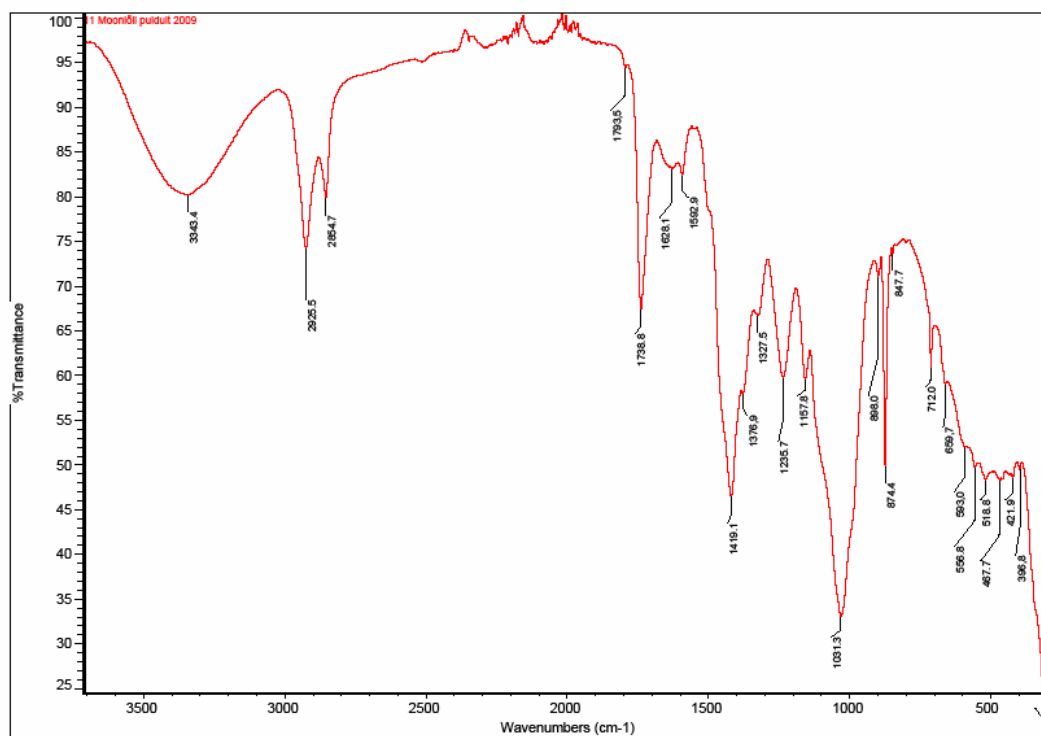
#### 42. Tiikõli



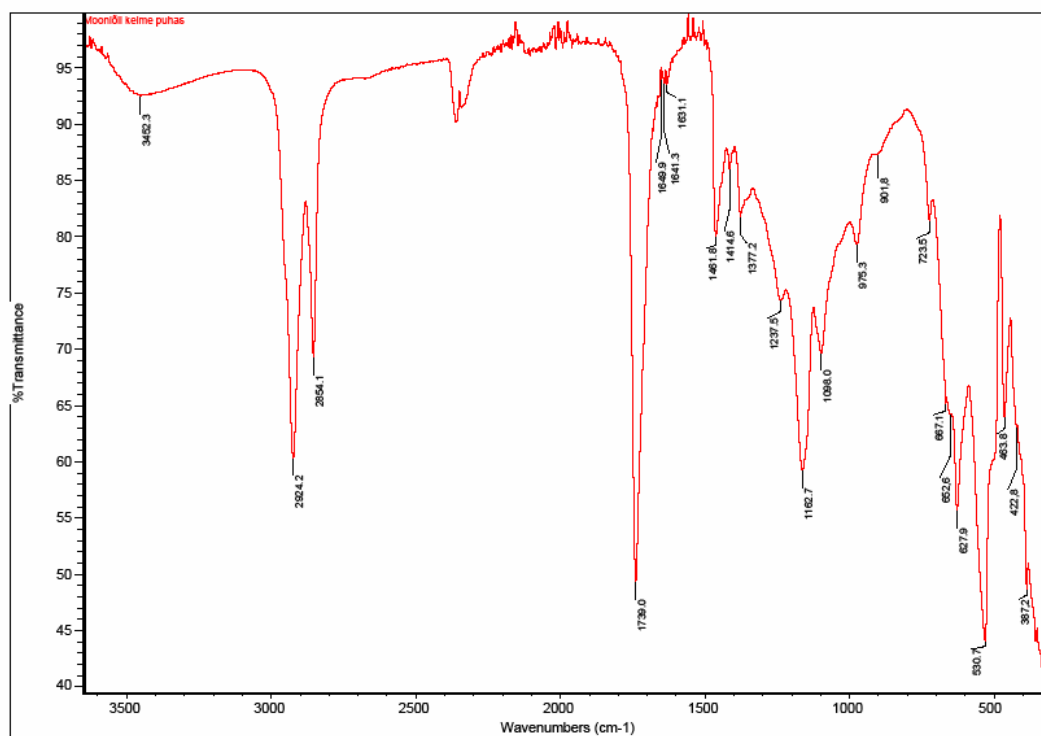
#### 43. Mooniõli VT pinnalt katse algul



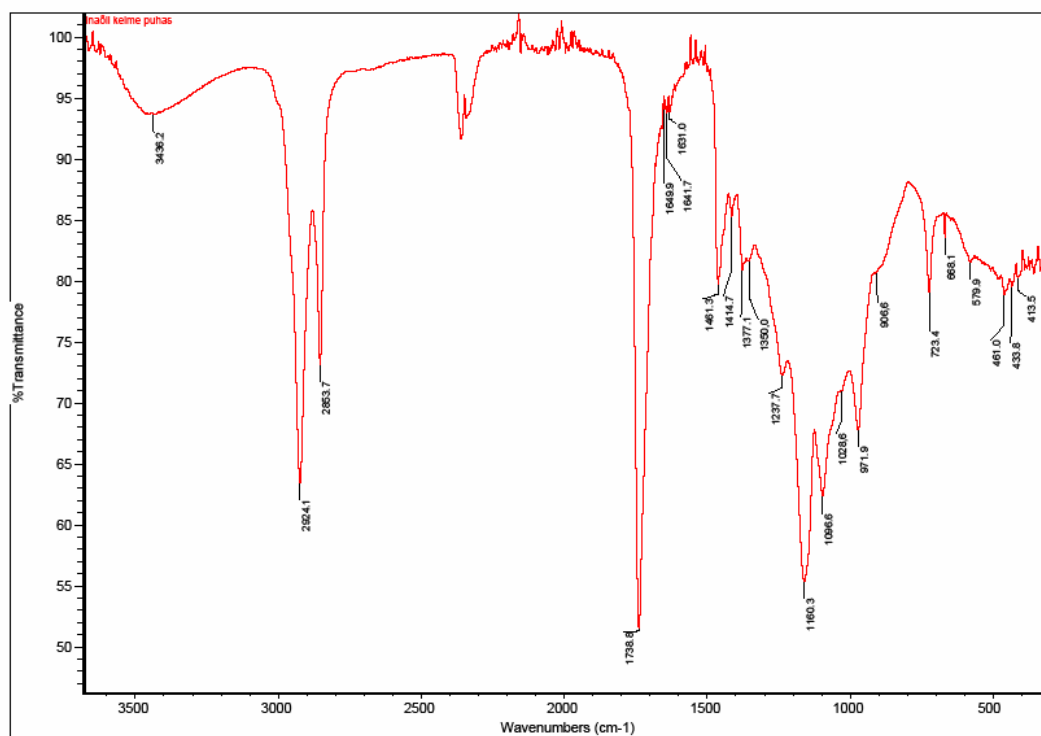
#### 44. Mooniõli VT pinnalt katse lõpus



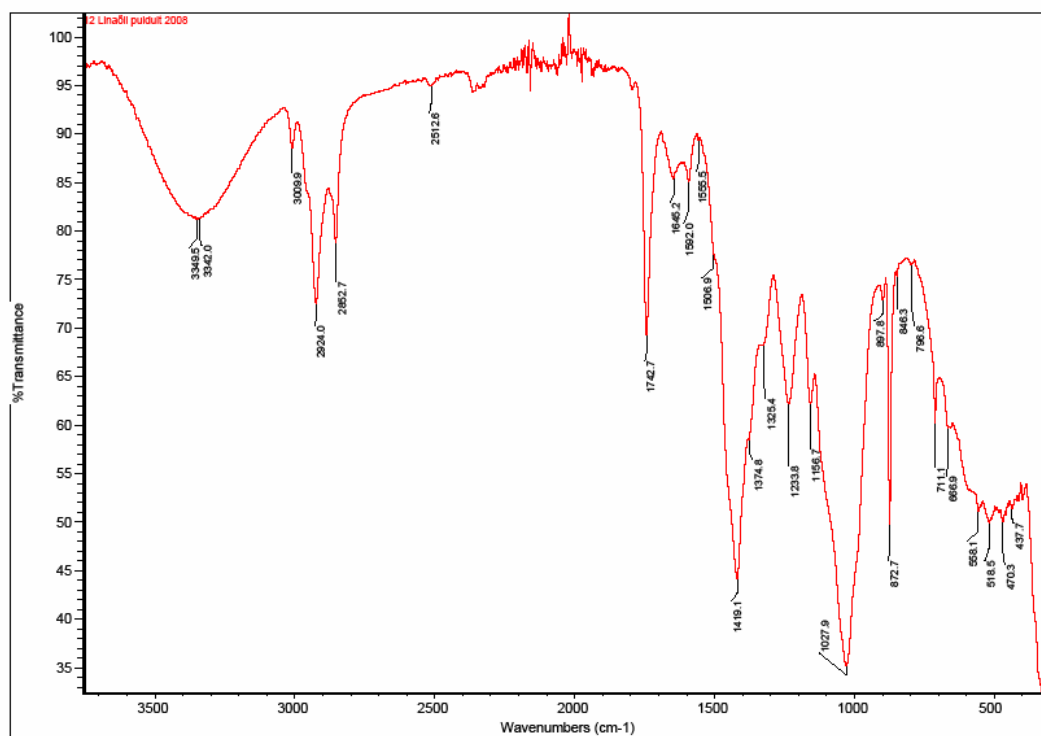
#### 45. Mooniõli



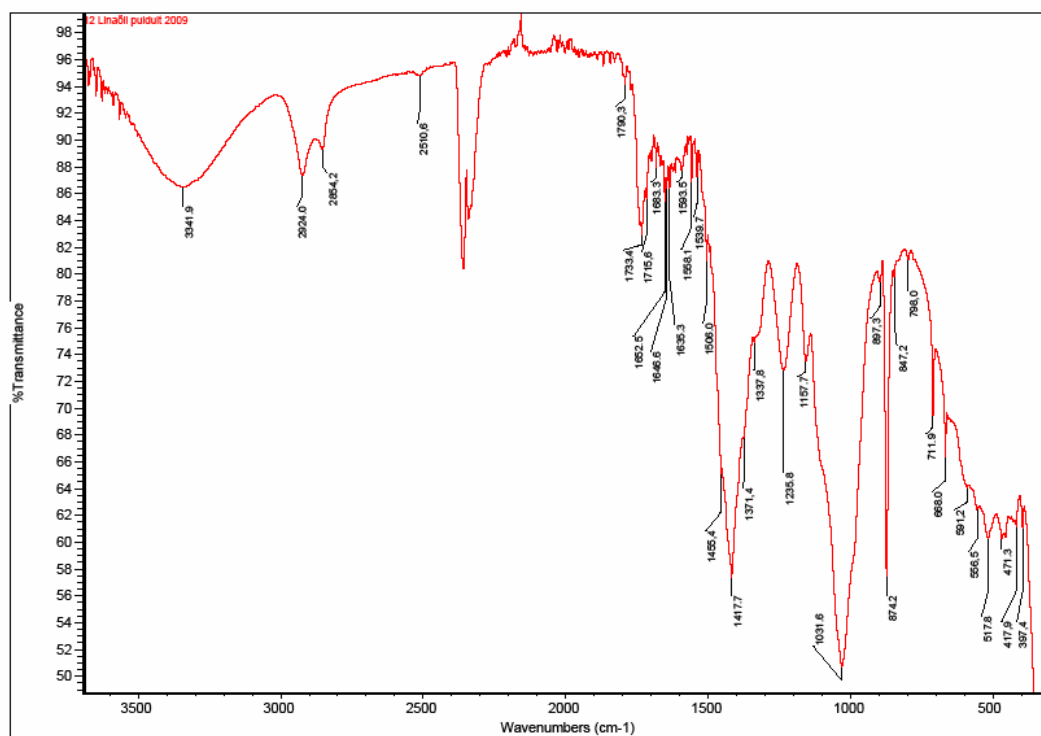
#### 46. Linaõli



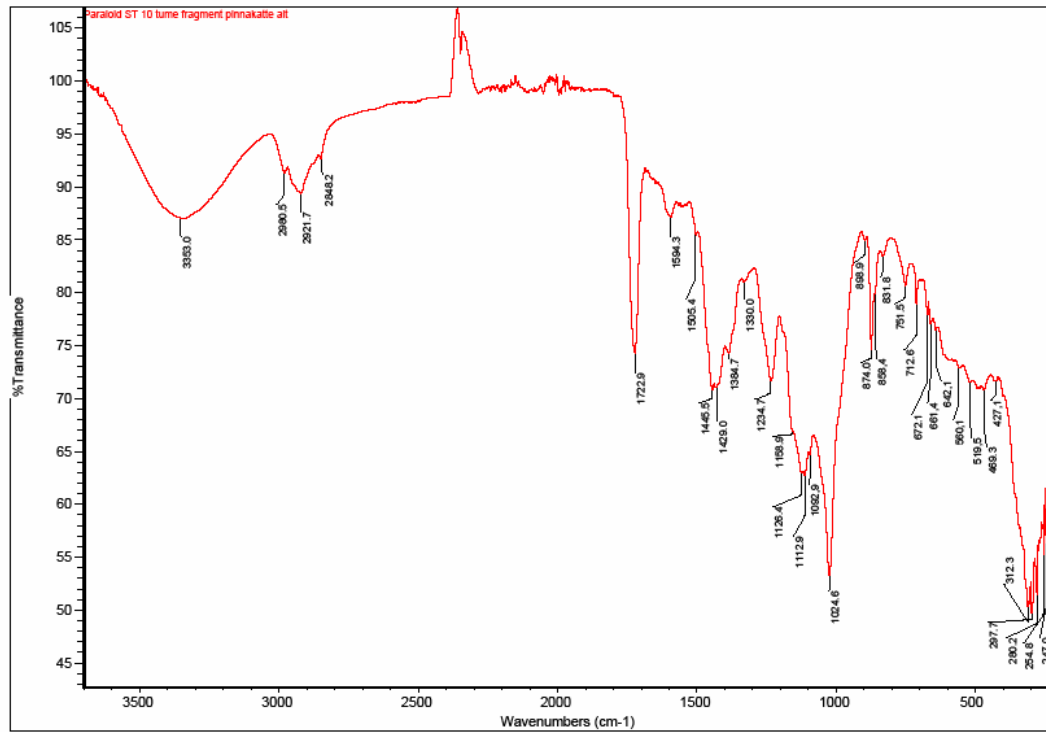
47. Linaõli VT pinnalt katse algul



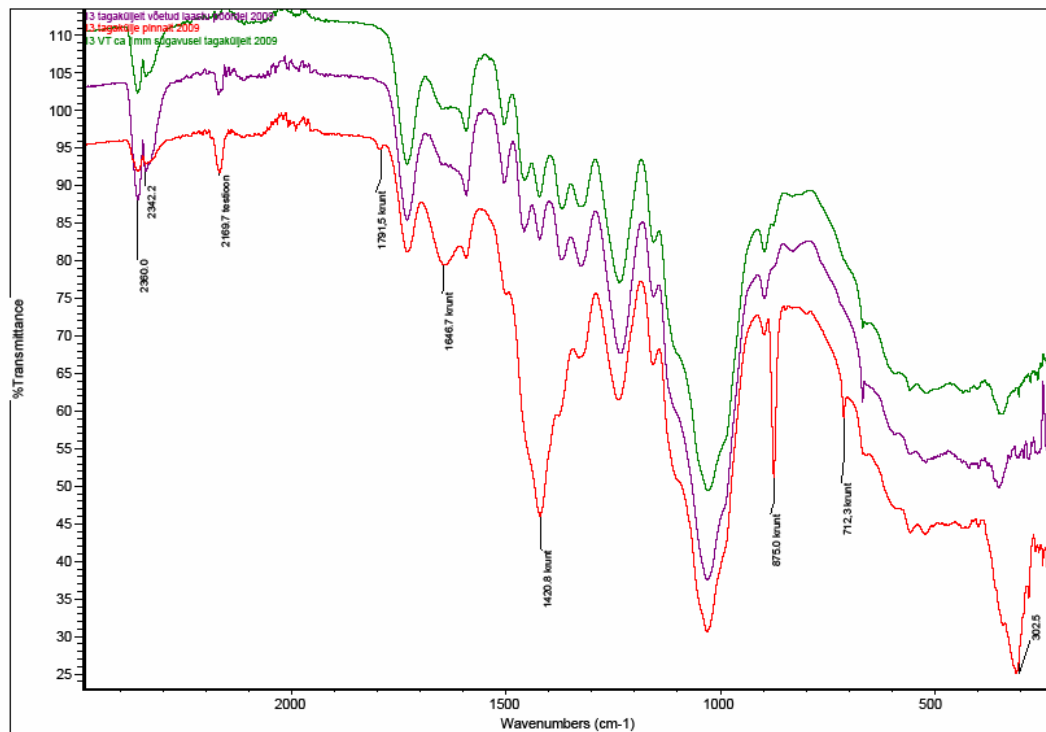
48. Linaõli VT pinnalt katse lõpus



49. Tume fragment ST-1 nr 10



50. Testioon VT nr 13 (pind saastunud krunditolmuga) erinevatel sügavustel katse lõpus



## Lisa 5

### Selgitused fotomaterjali juurde

Fotod on jaotatud katsetahvritel kasutatud pinnakatete järgi kaustadesse, kus nad esinevad ajalises järjestuses. Järjestus on saavutatud failide nummerdamise teel. Faili nimetus algab kahekohalise numbriga, mis on sama nendel fotodel, mis on võetud samal pildistamissessioonil. Sellele numbrile järgneb pildistamise kuupäev. Aasta (2008) on märgitud ainult kõige esimese pildistamiskorra juurde, mil pildistati kõiki tahvleid nii esimeselt kui tagumiselt küljelt. Pärast kuupäeva tuleb katsetahvli number, väiketahvlite puhul tähis VT ning selle järel katsetahvli number. Sageli järgneb tahvli numbrile mõni väiketäht (või mitu) samal pildistamiskorral samast tahvlist võetud fotode eristamiseks. Tegemist on valikuga suurema hulga fotode seast, mistõttu viimane täheline element eri fotode nimetustes võib pärineda tähestiku juhuslikust osast. Katse käigus püüti pildistada kahjustusi esmasel märkamisel, esines aga juhtumeid, kui kahjustus oli alles algusjärgus ja liiga väike; mõned pildid äpardusid ka muudel põhjustel. Tulemuste kokkuvõtmisel magistritöös on loomulikult arvestatud ka neid kahjustusi, mille kohta on vaid kirjeldus katsepäevikus. Kahjustuste täpne tekkimisaeg ei ole teada, sest sagedasem ülevaatus oleks häirinud vanandamisrežiimi.

1. Kateteta referentsid. Põhiline jälgimisobjekt on tahvlis nr. 1 detsembri alguseks tekkinud lõhe. Teatud huvi pakuvad ka torkeaukude ümbruses tekkinud lõhed tahvlis nr 2, mis on vähem või rohkem märgatavad sõltuvalt tahvli mõõtmete muutumisest erinevatel õhuniiskustel. Suurtahvel nr 3, mille niiskusesisaldust hügromeetriga ei mõõdetud (seega ei suurendatud ühe külje eripinda ja avatud välismõjudele), püsis kahjustusteta.
2. Tagakatteta referentsid. Põhiliselt on pildistatud silmakujulisi lõhesid tahvlite otstes. Tahvlil nr. 6 ei ole esikülje vasakpoolsetes nurkades kliimakõikumistega seotud maalikaod krundini, vaid tema sai paar korda mehaaniliselt vigastada.
3. Pinotex Ultra. Peale üldpiltide on pildistatud kahjustust tahvli 7 esiküljel, mis on arenenud tekstiili piiril ning kahjustust 8. tahvli külgservas. Katse lõpus on võetud fotosid mõnedest külgservadest ka selleks, et demonstreerida kahjustuste puudumist.

4. Paraloid B72. Põhiliselt jälgitakse tumendavat reaktsiooni tahvlite otstes, aga ka maalikihi irdumist. Osadel fotodel on võrdlusena näidatud Pinotexiga kaetud tahvlit.
5. Plexisol P 550. Esitatud on ka pilte tahvlist nr 12, mis osutus defektseks ja ei läinud arvesse. Huvitav on see, et tõenäoliselt defektse puidu suurema tiheduse tõttu ei ilmunud selle tahvli otstesse tumedaid reaktsiooniprodukte. Maalikihi kahjustused olid aga eriti varased ja suured. Plexisol on üks väheseid pinnakatteid, millega kaitstud väiketahvlite krundil esines kahjustusi.
6. Unica Super. Tahvli nr. 13 esiküljel, vasakus ülemises nurgas on taas mehaaniline kahjustus, mis tekkis veel enne katset. Sellest paigast aga ei ole kahjustus edasi arenenud - selle pinnakattega tahvlid olid vormilt ühed stabiilseimad.
7. Poolmatt kriimustuskindel uretaanlakk firmalt Nelf. Tahvel nr. 16. sisaldas väikest oksakohta, seetõttu oleks võinud teda mitte arvestada, aga kuna tema näitajad katse käigus sarnanesid paarilise omadega, siis võeti ta arvesse. Varem kahjustus hoopis tahvel nr. 15 esiküljelt. Pange tähele ka väiketahvli krundikahjustusi.
8. Kolorex Akva. Neid fotosid tasub kindlasti vaadata, et teha järeldusi pinnakatete kohta, mida tootja reklaamib kui niiskust pooleldi läbilaskvaid ja mitte-umbseid. Ebasoodsamaid mõjusid kui antud näidistel on raske leida. Kõigi tahvelmaali mudelite niiskusvahetus destabiliseeriti hügrokoopse pinnakatte abil täielikult, alates väiketahvlist.
9. Šellak. Kahjustused olid nii ilmekad, et nende pildistamine õnnestus sellest korrast alates, kui neid märgati.
10. Taruvaik. Katse lõpus tehtud fotol tahvlist 22 on näha esiküljel kohti servades, kust on nähtavale hõõrdunud valget krunti. Need on jäljed kinnitustest, mida kasutati väikeseks täiendavaks katseks. Ühte kahest taruvaiguga kaetud tahvlist maandati mõne nädala jooksul. Tulemused ei andnud üheselt tõlgendatavat mõõteriistadega kogutud infot, mis oleks küps antud töös esitamiseks. Siiski on katse lõpus võetud tahvlite otsaservade fotodelt näha, et maandamata tahvel 21 on katse lõpus tagaküljelt pisut kumer (tendents hoida niiskust tagakülje lähedal) ja 22 mitte.
11. Vaha. Veebruaris märgatud kahjustustest on ainult madala kvaliteediga fotod. Selliste väga peente pragude pildistamine on mõnelgi korral ebaõnnestunud.
12. Tiikpuuõli.
13. Mooniõli. Krakelüüride pildistamine osutus õlilaikude pildistamisest tunduvalt kergemaks. Katse lõpus on pildistatud ka tekstiili krundialust serva markeeriv

krakelüüri. Miks sellist tüüpi kahjustus tekib? Igasugused materjalide üleminekud on haavatavateks kohtadeks, aga liimitud riide serva lõigates on ilmselt ka puidu sisse tõmmatud noaga kriimustus. Kui niiskus sinna ligi pääseb, siis selles kohas on puidu eripind suurem ja niiskusvahetus kiirem. Kriimustatud on aga kõiki tahvleid üsna sarnaselt, oluline on ikkagi see, milliseks reguleerivad erinevad pinnakatted niiskusvahetuse ja kui kiiresti tahvel oma mõõtmeid muudab. Enamusel tahvlitest defekt nähtavale ei ilmunud.

14. Linaõli. Kahjuks ei õnnestunud maalikihi krakelüüride varasemad fotod.

## **Lisa 6**

### **Fotod**

(asuvad kaustas **Lisa 6** ainult elektroonilises versioonis)