

Rein Reiska

Puidu kaitseimmutus

Põhineb projektil : Polümeermaterjalide instituudi ja ettevõtete koostöö väljakujundamine magistriõppekava KAOM02/09 « Materjalitehnoloogia » alusel läbiviidava taseme- ja täiendkoolituse õpiväljundite süsteemi ellurakendamisel ja täiustamisel.

Õppeaine : KMM0240 « Puidu kuivatamine ja hüdrotermiline töötlemine »



Euroopa Liit
Euroopa Sotsiaalfond



Eesti tuleviku heaks

SISUKORD

1	MEETODID JA VAHENDID PUIDU KAITSMISEKS	3
1.1	Sissejuhatus	3
1.2	Puidu kaitsmine bioloogiliste kahjustuste eest	3
1.3	Puidu tulekaitse	4
2	IMMUTUSPROTSESSIDE TEOREETILISED ALUSED	5
2.1	Sissejuhatus	5
2.2	Puidu kapillaarsüsteem	5
2.3	Vedeliku liikumine puidus kspillaarjõudude mõjul	6
2.4	Vedeliku liikumine puidus välise rõhu mõjul	10
2.4.1	Vedeliku suunamine rõhu all immutatava puiduproovi ühte otsa	10
2.4.2	Immutamine vannides puidu eelneva kuumutamise	10
2.4.3	Autoklaavimmutus	11
2.5	Immutusainete difusioon puitu	15
3	SEADMED JA TEHNOLOGIA PUIDU IMMUTAMISEKS	19
3.1	Immutusmeetodite liigitus ja puidu ettevalmistamine immutamiseks	19
3.2	Kapillaarimmutus	20
3.3	Difusioonimmutus	22
3.4	Surveimmutus vannis	22
3.5	Autoklaavimmutuse tehnoloogilised skeemid	23
3.6	Autoklaavid ja abimahutid	27
3.7	Immutusseadmete tööskeemid	28
4	PUIDUKAITSEVAHENDID	31
4.1	Nõuded keemilistele puidukaitsevahenditele	31
4.2	Trendid puidu biokaitsevahendite tootmises ja kasutamises	32
4.2.1	Ajalooliselt levinumad puidukaitsevahendid	32
4.2.2	Muud puidu biokaitsevahendid	33
4.2.3	Töödeldud puidu utiliseerimine	35
LISA 1	TANALITH E	36
LISA 2	EMULSIONIMMUTI MÄNNIPUIDULE	37
LISA 3	PUIDUKAITSE EESTI-EUROOPA STANDARDID	40
KIRJANDUS		41

PUIDU KAITSEIMMUTUS

1 MEETODID JA VAHENDID PUIDU KAITSMISEKS

1.1 Sissejuhatus

Puit kujutab endast orgaanilist materjali, mis allub kergesti mädanikele ja teistele puitu kahjustavatele teguritele. Sellised tegurid avaldavad märkimisväärset mõju puidu vastupidavusele eksploatatsioonitingimustes. Puidu riknemise kutsuvad esile: seened, millede elutegevus põhjustab puidu mädanemist ja lagunemist, teatud liiki putukad, kes närivad puitu käikusid, alandades puidu mehaanilist tugevust; atmosfääri mõju, mis on seotud mitmekordse puidu niiskumise ja kuivamisega. Puidu korduv niiskumine ja kuivamine põhjustab pinnakihtide destruktsiooni ja mõjub soodsalt seenkahjustuste tekkimisele.

Et pikendada puidu, puittoodete ja – konstruktsioonide eluiga on vaja neid kaitsta eespool loetletud mõjude eest. Kattes puidu ja puitkonstruktsioonide pindasid erinevate materjalidega on võimalik tõsta nende vastupanuvõimet mehaanilistele ja atmosfääri mõjudele. Samuti annab hea kaitse ilmastikuolude vastu puitehitiste ja -konstruktsioonide värvimine ja krohvimine. Väga efektiivseks kaitsemeetodiks on puidu immutamine bioloogilist ja tulekaitset tagavate ainetega.

1.2 Puidu kaitsmine bioloogiliste kahjustuste eest

Erinevad puiduliigid on erineva vastupanuvõimega seentele. Peamised puiduliigid, mis leiavad tööstuslikku ja ehituslikku kasutamist on mädanemiskindluse järgi jaotatud nelja gruppi: püsivad; keskmiselt püsivad; vähepüsivad ja mittepüsivad (vt tabel 1.1).

Tabel 1.1

Puiduliikide mädanemiskindlus

Klass	Puiduliik	
	Maltspuidulised	Lülipuidulised
Püsivad	Harilik mänd, saar	Siberi mänd, lehis, harilik mänd, tamm, saar
Keskmiselt püsivad	Kuusk, siberi mänd, lehis, nulg	Kuusk, nulg, pöök
Vähepüsivad	Kask, pöök, valge pöök	Künnapuu
Mittepüsivad	Pärn, lepp, haab	Pärn, haab, kask, lepp

Kõige efektiivsem ja praktilisem meetod puidu kaitseks bioloogiliste kahjustuste eest on puidu *antiseptimine* või *konserveerimine*. Need meetodid põhinevad mikroorganismidele toksiliste ainete kasutamisel eesmärgiga tappa puidus esinevad mikroorganismid või luua ebasoodne keskkond nende eluks.

Antiseptimine seisneb õhukese antiseptikumi kile pealekandmises puidu pinnale, mis tagab puidu lühiajalise kaitse seenkahjustuste eest.

Konserveerimiseks nimetatakse pikaajalist puidu kaitset bioloogiliste kahjustuste eest, mis tagatakse antiseptikumide viimisega immutusmeetodil küllalt sügavale puitmaterjali sisemusse.

Seente areng puidus toimub vaid kindla temperatuuri ja niiskuse juures. Alumine temperatuuripiir seente elutegevuseks 0^o-5^oC ja ülemine 45^o-50^o C . Seente areng lakkab ka juhul, kui niiskus puidus on alla 18-20 % või kui niiskus on suurem kui 120-150%. Madala niiskuse korral võib seente elutegevuse puudumise põhjuseks lugeda vee puudumist, kõrge niiskuse korral aga õhu puudumist rakuõõntes. Seetõttu on võimalik rakendada ka selliseid puidukaitse meetodeid, mis põhinevad puidu niiskuse ja temperatuuri hoidmisel seenorganismide elutegevuseks ebasoodsates piirides.

Üheks põhiliseks ja kõige lihtsamaks puidukaitse meetodiks on puidu niiskuse alandamine tema kuivatamisega. Kuivatamine on väga kindel meetod pikaajaliseks puidu kaitseks tingimustes, mis välistavad niiskumise. Kõrgendatud niiskuse printsiipi kasutatakse lühiajaliseks puidu kaitseks. Näiteks materjali vihmutamine või säilitamine vees.

1.3 Puidu tulekaitse

Üheks puidu, kui konstruktsioonmaterjali puuduseks võib lugeda tema suhteliselt kergest süttivust ja põlevust. Erinevate puiduliikide tulepüsivus on toodud tabelis 1.2.

Tabel 1.2

Puiduliikide tulepüsivus

Klass	Puiduliik
Püsivad	Tamm, lehis
Keskmiselt püsivad	Valge pöök, kask, saar
Mittepüsivad	Mänd, kuusk, haab, lepp, pöök

Tabelist järeldub, et enamus tootmises suurt tähtsust omavatest puiduliikidest ole tulepüsivad.

Rahuldav tulepüsivus saavutatakse puidust ehitiste krohvimisega, pindade pealistamisega lehtmetailiga ja pindade katmisega laki või värviga, mis sisaldavad tulekindlaid komponente.

Kõige usaldusväärsem puidu tulepüsivus saavutatakse puidu immutamisel tulekindlate immutusainetega, mida nimetatakse *antipüreenideks*.

Antipüreenid võib kanda puidu pinnale või kasutada immutusmeetodit, mis tagab antipüreeni viimise sügavale materjalisse. Tavalisemad antipüreenid on ammooniumfosfaat, ammooniumsulfaat, booraks ja boorhape.

2 IMMUTUSPROTSESSIDE TEOREETILISED ALUSED

2.1 Sissejuhatus

Immutamise eesmärgiks on muuta puidu teatud omadusi, milleks võib olla lisaks bioloogilisele vastupidavusele ja tulekindlusele ka nt elektrijuhtivus, värvus, mehaanilised omadused jne. Olenevalt konkreetsest eesmärgist kasutatakse mitmesuguseid immutusaineid, mis erinevad nii oma füüsikaliste ja keemiliste omaduste poolest kui ka puidule avaldatava mõju poolest. Nad võivad puidus sisalduda:

- mehhaaniliste lisanditena
- adsorbeeruda puidukiudude poolt
- astuda puiduga keemilisse reaktsiooni

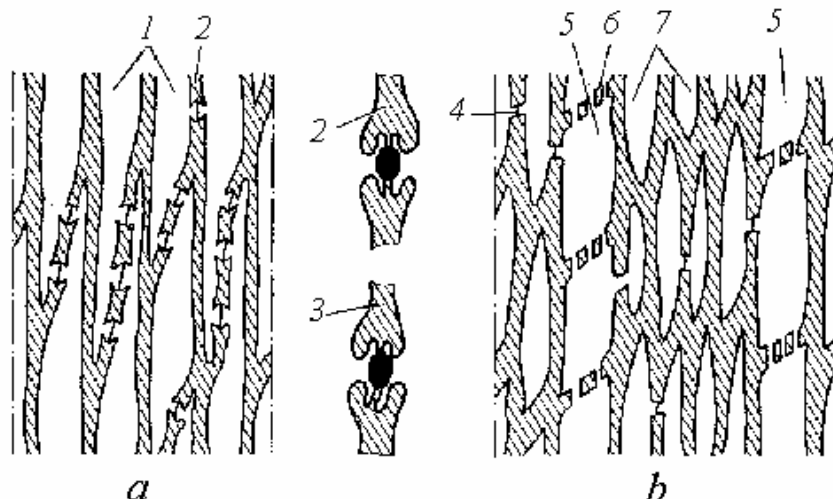
Tavaliselt siiski keemilist reaktsiooni ei toimu ning immutusprotsessi vaadeldakse puhtfüüsikalise nähtusena. Seetõttu võib puidu immutamist vaadelda kui järgmiste füüsikaliste nähtuste kogumit:

- vedelike liikumine puidus kapillaarrõhu mõjul
- vedeliku liikumine puidus täiendava välisrõhu mõjul
- immutusaine ionide ja molekulide difuusne ümberpaigutus veega täidetud rakuõontes

Tootmisprotsessis toimub immutamine harilikult kõigi eelpoolnimetatud füüsikaliste nähtuste koosmõjul, kuid olenevalt immutusmeetodist on ühe või teise nähtuse osakaal erinev.

2.2 Puidu kapillaarsüsteem

Immutusprotsessi kulgemisele avaldab olulist mõju puidu ehitus. Puidus liigub vedelik kapillaarsüsteemis, mida on skemaatiliselt kujutatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1. Puidu kapillaarstruktuuri skeem

a- okaspuu b- lehtpuu 1- trahheiid 2- koobaspoor 3- koobaspoor sulgunud membraaniga 4- lihtpoor 5- sooned 6- diafragma 7- libriformkiud

Okaspuudes (joonis 2.1,a) toimub vedelike ja toitainete liikumine mööda trahheide, mis moodustavad kuni 95% okaspuude puidu mahust. Trahheidid on piklikud otstest teritunud rakud, mis on omavahel ühendatud. Kevad- ja sügispuidu trahheidide läbimõõt on erinev. Kevadpuidus võib trahheidide läbimõõt jääda vahemikku $3 \cdot 10^{-5}$ kuni $5 \cdot 10^{-5}$ m ja sügispuidus vahemikku $1.3 \cdot 10^{-5}$ kuni $2.5 \cdot 10^{-5}$ m .

Trahheidid on varustatud koobaspooridega, mis on suletud membraaniga, milles omakorda on submikroskoopilised avaused. Avauste läbimõõt on piirides $2 \cdot 10^{-7}$ - $6 \cdot 10^{-7}$ m. Koobaspoorid paiknevad trahheidide radiaalseintes ühe pikuti asetseva reana. Kuna trahheidid on koobaspooride kaudu omavahel ühenduses, siis moodustavad nad tüvesuunalisi ridasid. Tänu sellele on ka arusaadav, miks vedeliku liikumine tüve suunas on palju parem kui ristisuunas.

Puidutüve ristlõike vaatlemisel näeme, et trahheidid paiknevad radiaalsetes ribades ja on kevadpuidus enam-vähem ruudukujulised või raadiuse suunas veidi piklikud. Sügispuidu trahheidid on samuti piklikud, kuid tangentsiaalsuunas.

Erinevate okaspuuliikide kapillaaride vedelikujuhtivus on erinev. Vedeliku liikumise puidus määrab suuresti ära koobaspoori läbimõõt ja avauste arv selle membraanis. Puidu elutegevuse tagajärjel toimub lüli- ja küspuidus vaikude ja muude ekstraktiivainete ladestumine rakuseintesse. Ladestumise tulemuseks on osaliselt sulgunud membraanide avaused ja rakuseinte mikrokapillaarid, mis halvendab järsult vedelike läbitavust.

Lehtpuudel (joonis 2.1,b) on vettjuhtivateks anotoomilisteks elementideks sooned. Nende läbimõõt on $3 \cdot 10^{-5}$ - $9 \cdot 10^{-5}$ m. Sooned moodustuvad pikkade (kuni 3 m) vertikaalsete õhukeseseinaliste suure siseruumiga rakkude reast, mis on oma rõhtvaheseinad kas osaliselt või täielikult kaotanud. Vaheseinte jäänused säilivad diafragma näol, milles on ümarad või pilutaolised avad. Soonte vahel asetsevad puidukiud e. libriform ja teised puidukoed (puiduparenhüüm), rakkude läbimõõt $1.5 \cdot 10^{-5}$ - $4 \cdot 10^{-5}$ m. Need rakud on omavahel ja soontega ühenduses peamiselt lihtpooride kaudu. Poorid kujutavad endast membraaniga kaetud avasid, milles on väikesed submikroopilised avaused.

Samuti nagu okaspuudel on ka lehtpuude vedelikejuhtivus oluliselt parem tüve pikitelje suunas.

2.3 Vedeliku liikumine puidus kapillaarjõudude mõjul

Kapillaarsuseks nimetatakse mittesegunevate keskkondade , harilikult tahke ja vedela faasi kokkupuute piirkonnas ilmnevaid pindpinevusnähtusi, kitsamas mõttes märgumisega kaasnevaid imendumisnähtusi kapillaarides ja poorides.

Kapillaarsusega seletub vedelike tõus või langus peenikestes torudes (kapillaarides) ja poorsetes keskkondades. Kapillaarsust põhjustab vedeliku pinna kõverdumisest (pindpinevus) tingitud lisarõhk, mida nimetatakse **kapillaarrõhuks** (p_k)

Silindrilises kapillaaris on võimalik kapillaarõhku arvutada valemiga

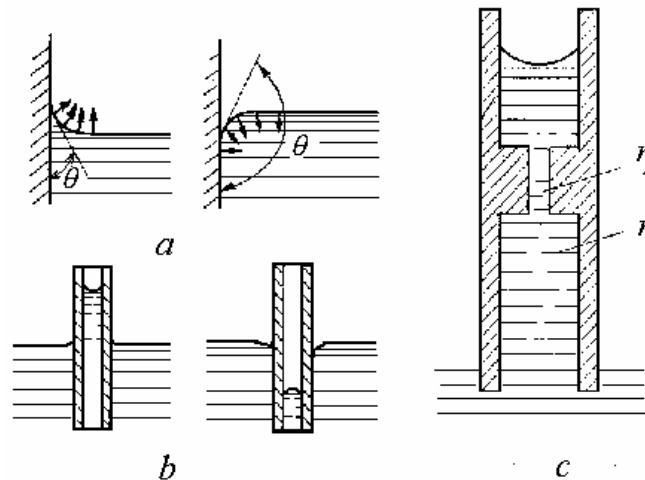
$$p_k = \frac{2\sigma_{\Pi} \cos \theta}{r} \quad (2.1)$$

kus

- r - kapillaari raadius
- σ_{Π} - pindpinevustegur
- θ - äärenurk

Pindpinevus on nähtus, mis iseloomustab vedeliku molekulide vahel mõjuvaid jõude. Pindpinevust mõõdetakse tööga, mida tuleb teha vedeliku ja küllastunud auru piirpinna pindala suurendamiseks jääval temperatuuril ühe ühiku võrra (s.o vastava arvu vedeliku molekulide viimiseks vedeliku seest faaside piirpinnale) või jõuga, mis hoiab koos pinna ühikulise pikkusega piirjoont. Pindpinevuse mõõtühikud on džaul ruutmeetri kohta (J/m^2) ja njuuton meetri kohta N/m . Pindpinevustegur oleneb vedeliku keemilistest omadustest ja temperatuurist. Pindpinevuse vähendamiseks lisatakse vedelikele pindaktiivseid aineid.

On teada, et kapillaarjõudude resultant vedeliku pinnakihis on suunatud selle vedeliku sisse. Vedeliku ja tahke keha kokkupuutepiiril tekib kindel nurk θ , mida nimetatakse **märgumisnurgaks e. äärenurgaks** (joonis 2.2,a). Nurk θ on teravnurk juhul, kui vedelik on märgav ning nürinurk, kui vedelik on mittemärgav.



Joonis 2.2. Meniski moodustumine kapillaaris
(Lihtsustatud puidukapillaari skeem)

Märgumine on vedeliku laialivalgumine tahke keha pinnal. Märgumist põhjustab eri keskkondade molekulide vastastikuse mõju erinevus ühe keskkonna molekulide vastastikusest mõjust. Märgumine ilmneb kolme või kahe (tahke, vedela ja gaasilise või tahke ja vedela) faasi lahtuspinnal, nt mingis anumal oleva vedeliku pinnakihi ja anuma seina kokkupuutejoonel.

Märgava vedeliku puhul (nt vesi puhtal klaasil) on molekulaarjõud vedeliku pinnakihi ja tahke keha pinna vahel suuremad kui vedeliku sisemuses. Mittemärgava vedeliku puhul (nt elavhõbe klaasil) on olukord vastupidine.

Täieliku märgumise korral tahkel alusel tilku ei teki ja vedelik valgub laiali üle kogu pinna. Mittemärgav vedelik jääb pinnale tilkadena. Anumas oleva vedeliku pind muutub märgumise tagajärjel kõveraks (menisk).

Meniskiks nimetatakse vedeliku kõverdunud vaba pinda vedeliku ja tahke keha kokkupuute piirkonnas. Peenes kapillaaris on menisk sfääriline, märgava vedeliku korral nõgus, mittemärgava vedeliku korral kumer (joonis 2.2,b).

Positiivne kapillaarrõhk (mittemärgav vedelik) tekitab vedeliku nivoo languse kapillaaris, negatiivne kapillaarrõhk aga tekitab nivoo tõusu. Immutusained on tavaliselt sellised, mis märgavad puitu.

Vaatleme vedeliku liikumise mehhanismi puidus kapillaarjõudude mõjul. Oletame, et puidust proovikeha telg ühtib kiudude suunaga ning katsekeha niiskus on väiksem hügroskoopsuspäärist. Katsekeha üks ots olgu asetatud vette. Eraldame katsekehast ühe vertikaalse rea vedelikku juhtivaid rakke (sooned või trahheiidid). Eraldatud elementi võib vaadelda kehana, mis koosneb vaheldumisi asetsevatest makro- ja mikrokapillaaridest, millede raadiused on vastavalt r_1 ja r_2 (joonis 2.2,c).

Kapillaarjõudude mõjul hakkab vedelik täitma makrokapillaare. Olgu mingil suvalisel ajamomendil τ vedeliku asend kapillaaris nii nagu seda on näidatud joonisel. Rõhulang, mis põhjustab vedeliku liikumise üles on tingitud kapillaarrõhust p_K , raskusjõust tingitud rõhust p_g ja rõhust, mille kutsus esile kokkusurutav õhk p_0 :

$$\Delta p = p_K - p_g - p_0. \quad (2.2)$$

Vedeliku liikumise intensiivsus kapillaaris on määratud tema mahtkiirusega $\frac{dV}{d\tau}$, (m^3/s), mis avaldub Poiseuille` võrrandiga:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\pi r^4}{8\mu l} \Delta p \quad (2.3)$$

kus

r - kapillaari raadius

μ - vedeliku viskoossus

Δp - rõhulang kapillaaris

l - kapillaari pikkus

Põhiliseks takistuseks vedeliku liikumisele puidus on mikrokapillaarid. Võrreldes makrokapillaaride takistust mikrokapillaaride omaga, on see tühine. Arvestades seda tingimust ja et $p_g = \bar{\delta}_1 \rho g$, saame võrranditest (2.1) ja (2.3)

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\pi r_2^4}{8\mu \delta_2} \left(\frac{2\sigma_{II} \cos \theta}{r_1} - \delta_1 \rho g \right) \quad (2.4)$$

kus

$\delta_2 = \sum l_2$ - mikrokapillaaride summaarne pikkus

$\delta_1 = \sum l_1$ - makrokapillaaride summaarne pikkus

ρ - vedeliku tihedus

g - raskuskiirendus

Vedeliku lineaarkiiruse saame, kui jagame võrrandi mõlemad pooled läbi makrokapillaaride pinnaga πr_1^2 :

$$\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{r_2^4}{8\mu\delta_2 r_1^2} \left(\frac{2\sigma_{\Pi} \cos\theta}{r_1} - \delta_1 \rho g \right) \quad (2.5)$$

Võrrandi (2.5) abil tehtud arvutused annavad vedeliku liikumise kiiruseks kiudude suunas 30-150 mm / ööpäevas, kiudude ristisuunas 0,2...3 mm/ööpäevas. Sellised vedeliku liikumise kiirused on saadud ka eksperimentaalselt.

Vedeliku tõus kapillaarides lakkab, kui kapillaarrõhk võrdsustub raskusjõu rõhuga. Maksimaalne tõstekõrgus

$$\delta_{\max} = \frac{2\sigma_{\Pi} \cos\theta}{r_1 \rho g} \quad (2.6)$$

kus

σ_{Π} - pindpinevustegur

θ - äärenurk

r_1 - mikrokapillaari raadius

ρ - vedeliku tihedus

g - raskuskiirendus

Puidus δ_{\max} ei ületa 1 m.

Proovikeha täielikul kastmisel vedelikku hakkab vedelik kapillaaridesse tungima korraga igast küljest. Raskusjõud sellisel juhul praktiliselt ei avalda mingit mõju vedeliku ümberpaigutuse kiirusele. Kuid kapillaarrõhule avaldab vastupidist survet puidus kokkusurutav õhk. Rõhulang, mis põhjustab vedeliku liikumist on sellisel juhul arvutatav

$$\Delta p = p_K + p_0 - p_{\delta} \quad (2.7)$$

kus

p_0 - ümbritseva keskkonna surve

Kokkusurutava õhu rõhk p_{δ} sõltub immutustsooni sügavusest ja proovikeha kujust (silindriline, plaadikujuline). Kokkusurutava õhu surve on arvutatav järgmiste valemitega:

lõpmata plaadi korral $S = 2R$

$$p_{\delta} = p_0 \frac{R}{R - \delta} \quad (2.8)$$

silindri korral, mille raadius on R

$$p_{\delta} = p_0 \frac{R^2}{(R - \delta)^2} \quad (2.9)$$

kus δ - immutustsooni sügavus.

Vaatleme nüüd vedeliku liikumist puidu kapillaarsüsteemis juhul, kui see on täidetud vaba niiskusega. Kui katsekeha, mille pikkus ületab 1 m asetada vertikaalselt ühte otsapidi vedelikku, siis mingit vedeliku liikumist ei toimu. Lühema katsekeha korral või juhul kui katsekeha on vedelikus horisontaalselt toimub vedeliku edasiliikumine vaid sellises mahus, kuivõrd vedelik jõuab aurustuda avatud otsast. Aurustumise intensiivsus võib olla suurem kapillaarimavusest ning sel juhul hakkab katsekeha avatud otsast kuivama. Märjas puidus on kapillaarliikumise intensiivsus seega minimaalne. Üleni vette paigutatud katsekehas aga kapillaarliikumist ei toimu üldse, kuna puudub kapillaarrõhkude vahe.

2.4 Vedeliku liikumine puidus välise rõhu mõjul

Ülerõhu saavutamiseks puidu immutamisel on erinevaid meetodeid. Praktikas kasutatakse meetodeid, kus rõhuvähe saavutatakse peamiselt järgmisel kolmel viisil:

- vedeliku suunamine rõhu all immutatava puiduproovi ühte otsa;
- immutamine külmades vannides puidu eelneva kuumutamisega;
- autoklaavmeetod.

2.4.1 Vedeliku suunamine rõhu all immutatava puiduproovi ühte otsa

Vedeliku suunamisel rõhu all puiduproovi ühte otsa võib vedeliku läbivoolu arvutada Poiseuille` võrrandiga (2.3).

Δp ei avaldu aga lihtsalt rakendatud lisarõhu ja atmosfäärirõhu vahel, sest lisarõhule toimib vastassuunas kapillaarrõhk:

$$\Delta p = p - (p_{at} + p_k) \quad (2.10)$$

Kui puidukapillaarid on täidetud vaba niiskusega, on proovi teises otsas vastassuunas mõjuv kapillaarrõhk väike ning vedeliku liikumapanekuks piisab ülerõhust 0.2- 0.3 baari.

Juhul, kui aga kapillaarsüsteem ei ole täidetud vaba niiskusega, võib vedeliku liikumisel pooride membraanide mikrokapillaarides tekkida vasturõhk mitukümmend baari, mistõttu kuiva puidu puhul sellist immutusmeetodit ei ole võimalik kasutada.

2.4.2 Immutamine vannides puidu eelneva kuumutamisega

Puidu nõutav temperatuur saavutatakse tema hoidmisega kuumades vedelikes. Samuti on levinud teised puidu eelkuumutamise meetodid. Pärast kuumutamist asetatakse immutatav materjal külma immutusvanni, kus toimub puidu lõplik immutamine.

Puidu kuumutamisel kasvab temperatuuri mõjul rakuõntes oleva õhusegu rõhk. Peamiseks põhjuseks võib lugeda veeauru partsiaalrõhu suurenemist. Rakuseinte läbilaskvuse tagajärjel eemaldub osa auru- gaasisegu ja rõhk rakuõntes jääb ligilähedaseks atmosfäärirõhule, kusjuures peamise osa rõhust moodustab veeauru partsiaalrõhk, mis vastab rakuõntes valitsevale temperatuurile ja küllastusastmele.

Edasisel puidu jahutamisel vannis, mis on täidetud immutusvedelikuga, toimub puidu kapillaarsüsteemis rõhu alanemine. Rõhu alanemise peamiseks põhjuseks on temperatuuri langemine puidus, mille tulemusena toimub auru-gaasisegu mahu vähenemine ja veeauru kondenseerumine (küllastunud veeauru rõhk langeb järsult temperatuuri alanedes).

Vedeliku rõhku vannis võib lugeda võrdseks atmosfäärirõhuga. Kuna atmosfäärirõhk on nüüd suurem kui rõhk puidu kapillaarsüsteemis, siis toimub immutusaine imendumine puitu. Tekkinud rõhulangu on võimalik määrata võrrandiga

$$\Delta p = p_{at} - [p_{k1} + (p_{at} - p_{a1})(T_2/T_1)] \quad (2.11)$$

kus

p_{at} - atmosfäärirõhk

p_{k1} - küllastunud veeauru rõhk jahutatud puidu kapillaarsüsteemis, sõltub külma immutusvanni temperatuurist

p_{a1} - veeauru partsiaalrõhk kuumutatud puidu kapillaarsüsteemis

T_1 - keskmine kuumutatud puidu absoluutne temperatuur

T_2 - keskmine jahtunud puidu absoluutne temperatuur.

Kui immutamisele tahetakse allutada puitu, mille niiskus on suurem rakuseinte küllastuspiirist, siis tuleb arvestada sellega, et veeauru partsiaalrõhk p_a ja küllastusrõhk p_k on sama temperatuuri juures võrdsed. Kui aga puidu niiskus on allpool rakuseina küllastuspiiri, siis veeauru partsiaalrõhk on arvutatav :

$$p_a = p_k \cdot \varphi \quad (2.12)$$

kus φ on küllastusaste puidu tasakaaluniiskuse diagrammil .Küllastusaste φ on seotud puidu tasakaaluniiskusega.

Rõhulang Δp on omakorda sõltuvuses veeauru partsiaalrõhust p_a ja küllastusrõhust p_k . Nii partsiaalrõhule, kui ka küllastusrõhule avaldavad mõju puidu niiskus, kuumutus- ja jahutustemperatuuride vahe ning puidu algkuumutuse temperatuuri väärtus. Suurendades algkuumutamise temperatuuri rõhulang Δp oluliselt kasvab. Puidu immutamisel vannides, kasutades erinevaid eelkuumutamise meetodeid, ei saa rõhulang olla suurem baromeetrilisest rõhust.

2.4.3 Autoklaavimmutus

Autoklaavimmutusel on võimalik saavutada palju suurem rõhulang, kasutusel on kuni 1.5 MPa. Puit laaditakse hermeetilisse autoklaavi, autoklaav täidetakse immutusvedelikuga ja tema rõhk tõstetakse kuni nõutud tasemeni pumpade või kompressorite abil. Vedeliku voolutihedus puidus l ülerõhu toimetel on proportsionaalne rõhu gradiendiga $dp/d\delta$:

$$l = -K \frac{dp}{d\delta} \quad (2.13)$$

kus K - puidu juhtivustegur [kg/ (m·s·Pa)]
 δ - immutussügavus (max võimalik antud surve)
 $\frac{dp}{d\delta}$ - rõhugradient

Juhtivustegur K iseloomustab vedeliku massi, mis ajaühikus läbib puidust proovikeha pindalaga 1 m² rõhu gradiendi korral 1 Pa/m. See tegur sõltub puiduliigist, ka sellest, kas on tegemist lüli- või maltspuiduga, proovikeha temperatuurist ja niiskusest, vedeliku liikumise suunast kiudude orientatsiooni suhtes ja immutusaine omadustest. Arvulised väärtused sellele tegurile määratakse eksperimentaalselt. Samuti võib juhtivusteguri väärtuse leida empiiriliste valemite kasutamisel. Näiteks on männipuidu juhtivusteguri arvutamiseks välja töötatud valem 2.14. See valem võimaldab leida männipuidu ristikiudu juhtivusteguri veeslahustuvate immutusainete korral.

$$K = (3.5 + 0.015W + 0.71\omega - 3.36p)10^{-9} \quad (2.14)$$

kus W - puidu niiskus, %
 ω - lahuse kontsentratsioon, %
p - vedeliku rõhk, MPa

Selle valemi kasutamine on õigustatud vaid juhul, kui puidu niiskus on piires 8-50 %, lahuse temperatuur kuni 60°, kontsentratsioon kuni 15 % ja rõhk 0,1...0,5 MPa.

Vaatleme vedeliku liikumise eripära puidus ülerõhu mõjul. Oletame, et proovikeha on ristkülikukujuline (laud, mis omab määravat mõõtu R) ja on täielikult ümbritsetud vedelikuga, mis avaldab talle survet p_v . Immutussügavus vaadeldaval ajamomendil olgu δ . Enne immutuse algust oli surve puidu sisemuses konstantne ja võrdne ümbritseva keskkonna survega:

$$p(\eta,0) = p_0, \quad \text{kui } R \geq \eta \geq 0; \quad R = \frac{S}{2}. \quad (2.15)$$

Surve katsekeha pinnal $p(0,\tau)$ on samuti konstantne:

$$p(0,\tau) = p_v. \quad (2.16)$$

Vedeliku survele avaldab vastumõju surve, mis võrdub kapillaarrõhu (p_k) ja puidus kokkusurutava õhu surve summaga (p_δ):

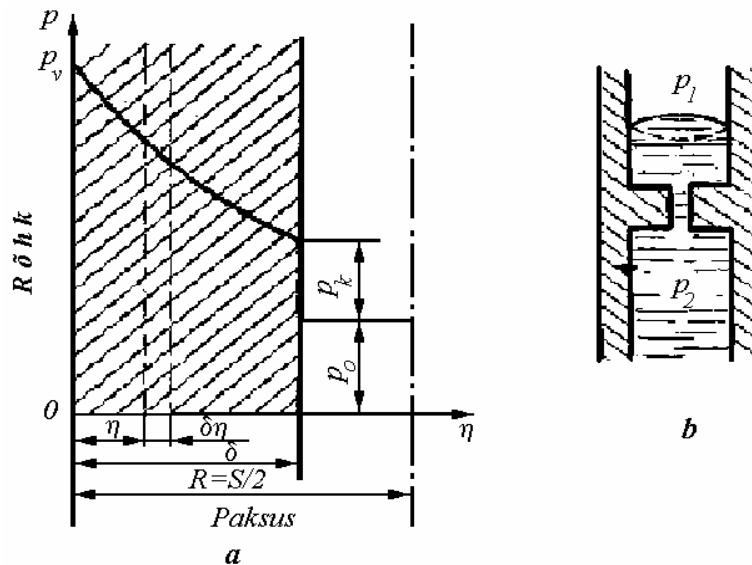
$$p(\delta, \tau) = p_k + p_0 \underbrace{\frac{R}{R - \delta}}_{p_\delta} \quad (2.17)$$

Kapillaarrõhk, mis tekib vedeliku sundliikumisel puidu kapillaarsüsteemis, on vastassuunaline vedeliku liikumisele.

Olgu kapillaaris (joonis 2.3) rõhk $p_2 > p_1$. Selle rõhkude erinevuse tõttu hakkab vedelik tungima väiksema surve suunas, mis tingib vedeliku pinna meniski kuju muutuse ja kapillaarrõhk hakkab seetõttu kohe mõjuma vastassuunas. Vedeliku liikumine on seejuures võimalik ainult juhul, kui avaldise

$$\Delta p = p_2 - p_1 - p_k \quad (2.18)$$

väärtus on positiivne ja kus p_k on kapillaarne vasturõhk, mis sõltub puiduliigist, proovikeha paiknemisest tüves, temperatuurist ja niiskusest. Männi maltspuidul on $p_k \approx 0.03$ MPa.



Joonis 2.3. Immutusprotsessi matemaatilise mudeli skeem

Surve muutumist ajas võib kirjeldada Fourier` diferentsiaalvõrrandiga. Saematerjali jaoks on see võrrand järgmine:

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{K}{m'} \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) \quad (2.19)$$

kus η - punkti koordinaat immutatud tsoonis tingimusel, et $\delta \geq \eta \geq 0$
 m' - erimahtuvus, mis iseloomustab puitu kui immutusobjekti.

Erimahtuvus on arvuliselt võrdne immutusvedeliku massi muutumisega puidu mahuühikus surve muutumisel ühe ühiku võrra. Erimahtuvuse ühikuks on $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa})$. Tema arvvärtus sõltub puidu omadustest, immutusaine omadustest ja rõhust ning on kindlaksmääratav eksperimentaalselt.

Välja on töötatud ka mõningad empiirilised valemid, mis võimaldavad arvutada puidu erimahtuvust. Näiteks on maltspuidulise männi immutamiseks soolade vesilahustega saadud erimahtuvuse arvutamiseks järgmine empiiriline valem:

$$m' = (0.219 - 0.017W + 0.0012t - 0.292p) \cdot 10^{-2}. \quad (2.20)$$

Kuna Fourier` võrrandil puudub analüütiline lahendus, siis on seda lahendatud arvmeetoditega, kasutades raali.

Tulemuste analüüs näitab, et küllaldase täpsusega võib survevälja materjalis iseloomustada astmefunktsiooniga (survejaotus materjalis erinevatel ajahetkedel). Lõpmata plaadi puhul:

$$\tau = 0.75S^2 \frac{m'\bar{p}}{Kp_v} Z \quad (2.21)$$

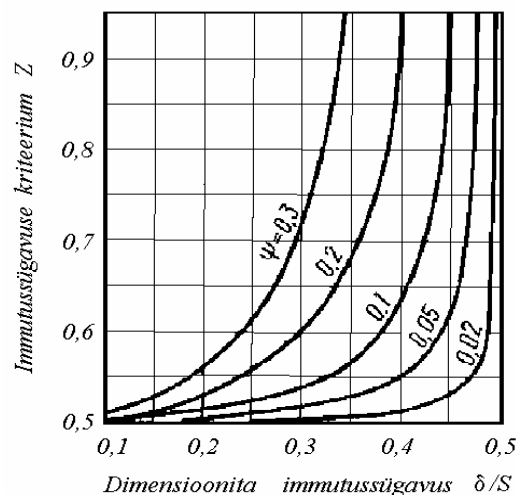
kus S - materjali paksus, m; Z -immutussügavuse kriteerium
 \bar{p} - keskmine surve immutustsoonis (Mpa), mille võib arvutada valemiga:

$$\bar{p} = \frac{(p_v + p_{\delta} + p_k)}{2} \quad (2.22)$$

Immutussügavuse kriteerium Z on dimensioonita suurus, mis sõltub plaadi paksusest ja suhtelisest algrõhust ψ :

$$\psi = \frac{(p_0 + p_k)}{p_v} \quad (2.23)$$

Immutussügavuse kriteeriumi Z võib leida ka diagrammilt (joonis 2.4) dimensioonita immutussügavuse $\frac{\delta}{S}$ ja suhtelise algrõhu ψ järgi.



Joonis 2.4. Immutussügavuse kriteerium

Maksimaalne võimalik immutussügavus δ_{\max} leitakse lähtudes sellest, et δ_{\max} puhul on rõhkude vahe võrdne nulliga: $p_v - p_K - p_\delta = 0$. Arvestades seda tingimust ja teisendades valemit (2.8), saame:

$$\delta_{\max} = \frac{S}{2} \left(1 - \frac{p_0}{p_v - p_K} \right). \quad (2.24)$$

Valem 2.24 on rakendatav ainult riskülikukujulise saematerjali korral, mille paksuse suhe laiusesse on $B/S \geq 8$. Juhul, kui $B/S < 8$ tuleb kasutada arvutuslikku materjali paksust S_a :

$$S_a = \frac{SB}{(S + B)}. \quad (2.25)$$

Arvutused on küllaldaselt täpsed ainult kergeltimmutatavate puiduliikide korral. Hästi immutatavad on lülipuiduta lehtpuud ja puuliigid, millel maltspuidu niiskus on alla 50-60%. Väga niiske ja raskesti immutatava puitmaterjali korral tuleb enne nende immutamist läbi viia täiendavad eeltötlusoperatsioonid.

2.5 Immutusaine difusioon puitu

Kui niiske puit kasta soolade vesilahusesse või katta puit pastaga, mis sisaldab immutuslahuseid, siis molekulid ja ioonid difundeeruvad immutuslahusest vette, mis täidab puidu rakuõõsi. Toimub nõndanimetatud difusioonimmutamine. On ilmselge, et selline immutusviis ei ole kasutatav puidu korral, mis ei sisalda või sisaldab vähesel määral vaba vett.

Lahustunud aine difundeeruvate molekulide voo tihedus on määratud Ficki seadusega:

$$i = -D \left(\frac{dw}{dx} \right) \quad (2.26)$$

kus D - difusioonitegur, m^2/s
 dw/dx - immutusaine gradient rakuõõne vabas vees, $kg/(m^3 \cdot m)$

Erinevate immutusainete difusioonitegur puidus sõltub puidu niiskusest ja temperatuurist, difusioonivoolu suunast kiudude suuna suhtes, lahuse viskoossusest ning difundeeruvate molekulide ja ionide mõõtmetest.

Vabade lahuste difusiooniteguri D_0 võib arvutada Einsteini valemiga

$$D_0 = R_T T / N \cdot 1/6 \pi \mu r_0 \quad (2.27)$$

kus R_T - universaalne gaasikonstant [$8.31 \cdot 10^7 J/(mol \cdot K)$]
 T - absoluutne temperatuur K

N - Avogadro arv ($6.023 \cdot 10^{23} 1/\text{mol}$)
M - lahusti viskoossus, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
 r_0 - difundeeruva molekuli raadius, m.

D_0 väärtust võib leida ka mitmetest keemiaalastest käsiraamatutest.

On iseenesestmõistetav, et immutusaine molekulide ja ionide liikumine puidu kapillaarsüsteemis on tunduvalt aeglasem kui vabades lahustes. Selle põhjuseks võib lugeda seda, et ainult osa puidu ristlõikest on täidetud vedelikuga, samuti on sunnitud difundeeruv osake kulutama lisaenergiat, et läbida rakuseina poori membraan. Arvutuste tulemusena on kindlaks tehtud, et värskeltraitud kuusepuidu difusioonitegurid on:

difusiooni suund on paralleelne kiudude suunaga $D_{\parallel} = 0.649 D_0$ (2.28)

difusiooni suund on risti kiudude suunaga $D_{\perp} = 0.045 D_0$ (2.29)

kus D - difusioonitegur puidus
 D_0 - difusioonitegur vabas lahuses.

Eelpooltoodud võrrandid annavad vaid orienteeruva difusiooniteguri väärtuse aine difusioonil puidus. Palju täpsemalt on võimalik difusioonitegur kindlaks määrata eksperimentaalsel teel. On välja töötatud mõned empiirilised valemid, mis võimaldavad leida difusiooniteguri teatud immutusainete ja tööstuslikult kasutatavate puiduliikide korral. Näiteks on kuusepuidu immutamiseks fluoril põhinevate ainetega välja töötatud järgmine valem difusiooniteguri leidmiseks risti kiudude suunaga:

$$D_{\phi} = (1.955 + 0.04W + 0.005t + 0.0044t^2) \cdot 10^{-11} \quad (2.30)$$

Valemist on näha, et difusioonitegur kasvab temperatuuri ja niiskuse suurenedes.

Immutusaine kontsentratsiooni muutust sortimendi etteantud punktis difusioonimutuse korral on võimalik arvutada Fourier` võrranditega.

Ühemõõtmeliste kehade puhul need võrrandid võtavad kuju:

Plaatmaterjalidele

$$\frac{\delta\omega(x, \tau)}{\partial\tau} = D_x \frac{\partial^2\omega(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (2.31)$$

Silindritele

$$\frac{\delta\omega(r, \tau)}{\partial\tau} = D_r \left(\frac{\partial^2\omega(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial\omega(r, \tau)}{\partial r} \right); \quad (2.32)$$

Vaatame kahte juhtumit, mis omavad praktilist tähtsust.

Esimesel juhul saematerjal uputatakse kindlaksmääratud muutumatu kontsentratsiooniga immutusainesse või kaetakse immutusainet sisaldava pastaga,

mis peab garanteerima püsiva immutusaine kontsentratsiooni puidu pinnakihis. Sellisel juhul on immutusaine kontsentratsiooni erinevus materjali sees ω_s ja pinnal ω_p väga väike. Sellepärast võib piirtingimustes kirjutada $\omega_s = \omega_p$.

Immutusaine algne kontsentratsioon rakuõõne vabas vees on praktiliselt null ($\omega_0 = 0$). Lahendades võrrandid (2.31) ja (2.32) sellisel piirtingimusel analoogiliselt Fourier` võrrandile võib esitada üldisemal kujul funktsiooni

$$\theta = f\left(\frac{x}{R}; Fo\right) \quad (2.33)$$

kus θ on dimensioonita suurus, mis näitab aine kontsentratsiooni suvalises punktis

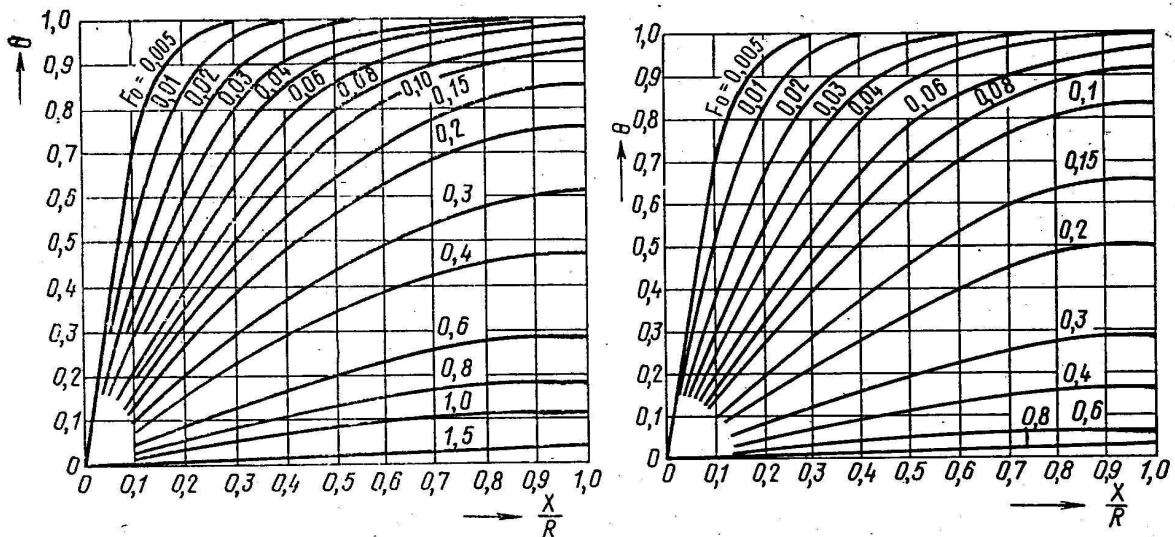
$$\theta = (\omega_s - \omega_x) / \omega_s \quad (2.34)$$

Fo - Fourier` difusioonikriteerium
 x - suvalise punkti koordinaat.

Suurust x/R nimetatakse ka dimensioonita koordinaadiks.

$$Fo = \frac{D\tau}{R^2} \quad (2.35)$$

Kuna võrrandid (2.31) ja (2.32) on analoogilised Fourier` võrranditega mittestatsionaarse soojusvahetuse korral, siis on Fourier` võrrandite graafilist lahendust, mis on toodud nomogrammil (joonis 2.5) võimalik kasutada ka difuusse immutuse arvutamisel. Dimensioonita temperatuuri asemel tuleb sel juhul kasutada dimensioonita kontsentratsiooni (θ) mõistet.

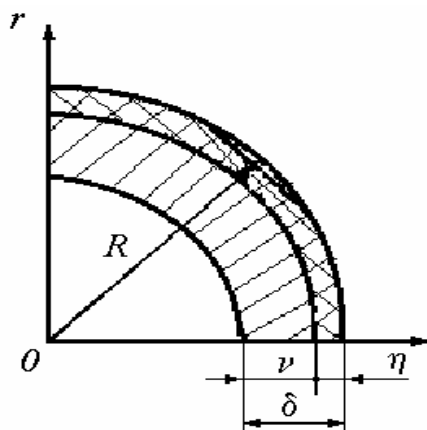


Joonis 2.5. Fourier` diagramm saematerjalile ja ümarmaterjalile

Teisel juhul silindrilisse ümarmetsamaterjali raadiusega R (joonis 2.6) ja maltspuidu paksusega δ viiakse surveimmutamise käigus püsiva kontsentratsiooniga immutusaine maltspuitu sügavusele η . Immutatud tsoonis iseloomustatakse aine

jaotust järgmise võrrandiga $\omega(r,0) = f(r)$, kus r on muutuv koordinaat. Erandkorras $\omega(r,0) = \text{const}$. Tsoonis sügavusel $R - \eta$ on aine kontsentratsioon praktiliselt null.

Pärast immutamist difundeerub aine tsoonist η ainult maltspuitu sügavusele $u = \delta - \eta$. Põhjuseks võib lugeda seda, et immutusaine juurdevool pinnale puudub ja difusioon lülipuidus (sügavusel $r - \delta$) on väga väike (see on 2 kuni 3 korda väiksem kui maltspuidus). Lülipuidu halva difusiooni põhjuseks võib lugeda tema madalat niiskust.



Joonis 2.6. Difusioonimmutusprotsessi analüüsi skeem

Arvutustulemuste analüüs võimaldab väita, et aine kontsentratsioon tsoonis η on kõikide protsesside ulatuses püsiv ja ligikaudu võrdne

$$\omega_\eta = \bar{\omega}(\eta/\delta), \quad (2.36)$$

kus $\bar{\omega}$ - keskmine algkontsentratsioon tsoonis η immutamise alguses.

Leidmaks aega, mis kulub difusiooniprotsessis vajaliku aine kontsentratsiooni ω_δ saavutamiseks tsoonis δ etteantud punktis, on välja töötatud järgnev võrrand :

$$\tau = \frac{v^2}{D} \ln \frac{\omega_\eta}{\omega_\eta - \omega_\delta} \quad (2.37)$$

Samuti on selle võrrandiga võimalik leida immutusaine kontsentratsiooni väärtus ω_δ , mis saavutatakse etteantud aja jooksul τ .

Tähtsaim immutamist iseloomustav näitaja on *immutusaine neeldumine* N , kg/m^3 , mida iseloomustatakse sisseviidud kuivaine kogusega puidu ruumalaühiku kohta.

3 SEADMED JA TEHNOLOOGIA PUIDU IMMUTAMISEKS

3.1 Immutusmeetodite liigitus ja puidu ettevalmistamine immutamiseks

Analoogselt immutusprotsesside teoreetilisele käsitlusele võib tööstuslikku tehnoloogiat liigitada järgnevalt:

- kapillaarimmutus
- difusioonimmutus
- surveimmutus

Kapillaarimmutus

Immutamist võib teostada küllastunud lahuse pealekandmisel puidu pinnale, puidu sissekastmisel immutusvannidesse või paneelimmutusena.

Difusioonimmutus

Peamised difusioonimmutuse meetodid on:

- immutuspasta pealekandmine puidu pinnale
- bandaažimmutus
- puidu leotamine küllastunud immutusvedeliku lahuses.

Surveimmutus

Surveimmutus leiab laialdast kasutamist tööstuslikes tingimustes ja seda võib teostada peamiselt kahel viisil:

- immutus lahtistes vannides
- immutus hermeetilistes survemahutites (autoklaavimmutus).

Kõigi immutusmeetodite puhul tuleb puit eelnevalt ette valmistada vastavalt immutamise meetodile. Ettevalmistusoperatsioonid on koorimine, kuivatamine, mehaaniline töötlemine ja torkimine. Mõned nendest operatsioonidest on vajalikud kõigi immutamisviiside korral, teised aga ainult kindla immutusviisi või kindla puiduliigi korral.

Puidu koorimine on vajalik teostada kõigi immutamisviiside korral. Immutamisele kuuluva puidu pind peab olema sile ja täielikult puhastatud koorest ning niinest. Koorimise ajastamine summaarses tehnoloogilises protsessis sõltub immutamise viisist. Enne kapillaarimmutamist ja immutamist rõhu all (surveimmutus) peab puidu koorimine olema teostatud võimalikult tehnoloogilise protsessi algul. See on vajalik selleks, et kasutada aega, mis jääb koorimise ja immutamise vahele puidu kuivatamiseks. Puitu, mida immutatakse difusioonimmutamise meetodil, tuleb koorida vahetult enne immutamisprotsessi algust, et vältida puidu kuivamist.

Puidu kuivatamine viiakse läbi enne kapillaar- ja surveimmutamist. Puidu immutamiseks õlide ja orgaaniliste antiseptikumide kasutamisel ei tohi puidu niiskus olla suurem kui 25 % ja immutamisel vesilahustega mitte enam kui 30 %. Puidu

eelnev kuivatamine on oluline ka seepärast, et pärast immutamist teostataval kuivatamisel võib tekkida puidus lõhesid. Lõhenemise tagajärjel võivad nähtavale tulla immutamata puidu seesmised kihid, mis on vastuvõtlikud mädanikele ja teistele puidukahjustustele.

Immutamisele mineva puidu kuivatamiseks kasutatakse *kamberkuivatust*, *atmosfäärset kuivatust* ja erandjuhtudel ka *kuivatamist vedelikkudes*. Saematerjali kuivatamiseks kasutatakse tavaliselt kamberkuivateid. Liipreid ja poste kuivatatakse tavaliselt atmosfääritingimustes.

Mehaaniline töötlemine on ette nähtud selleks, et anda materjalile nõutavad mõõtmed ja kuju (saagimine, hõveldamine, avade puurimine poltide ja konksude jaoks jne). Mehaanilise töötlemise teostamine enne materjali immutamist suurendab immutatud puidu eksploatatsiooni aega ja alandab immutusaine kulu. Kui mingil põhjusel pole võimalik mehaanilist töötlemist läbi viia enne immutamist, siis tuleb pärast mehaanilise operatsiooni sooritamist pinda töödelda täiendavalt immutusvahendiga 2-3 korda.

Torkimine kuulub raskestiimmutatavate puiduliikide (kuusk, nulg ja teised lülipuidulised puiduliigid) eeltötlusoperatsioonide hulka. Selle operatsiooni kasutamine kindlustab ühtlase immutusvedeliku imendumise nõutud sügavusele. Torkimiseks kasutatakse pinke, mis on varustatud spetsiaalsete nugadega. Noad tungivad puitu kindlale sügavusele, mille tulemusel lõigatakse puidurakud läbi kergendades immutusvedeliku pääsu materjali sisemusse. Torkimise sügavus võib olla 10-20 mm ja sõltub nõutavast immutussügavusest. Nugade paiknemine torkimisvaltsil peab tagama immutatava materjali pinnal ühtlase torkimistiheduse.

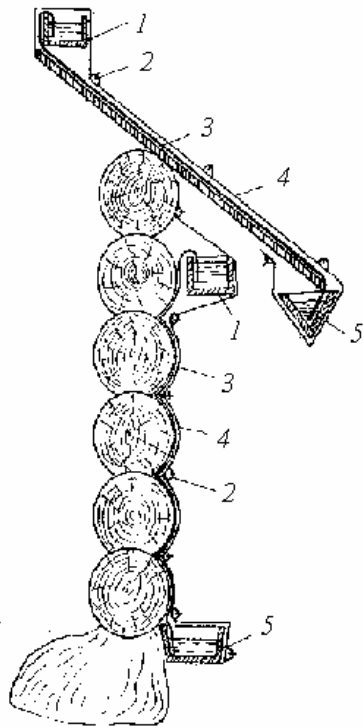
3.2 Kapillaarimmutus

Immutamist pealekandmisega materjali ja detailide pinnale kasutatakse peamiselt ehitus- ja remonttöödel ning teostatakse peamiselt kolmel viisil: lahuse pealekandmine pintsliga, materjali sissekastmine immutusvedelikku ja vedeliku pealekandmine pihustamisega. Sellise immutamismeetodi rakendamisel peab puit olema kuiv või kuivatatud niiskuseeni $W \leq W_{hp}$. Vedeliku pealekandmisel puidu pinnale toimub vedeliku imendumine puitu peamiselt kapillaarjõudude mõjul. Immutamise sügavust on võimalik tõsta 2 - 3 kordsel immutuslahuse pealekandmisel. Lahuse pealekandmiste vahe peab olema piisav selleks, et puit oleks võimeline uuesti vedelikku imema. Siiski tuleb jälgida, et iga eelnevalt pinnale kantud immutusvedelik ei kuivaks täielikult.

Immutamist lühiajalise kastmisega vannidesse kasutatakse samuti materjali korral, mis on eelnevalt kuivatatud. Vedeliku imbumine puitu toimub kapillaarjõu ja vähesel määral hüdrostaatilise rõhu mõjul. Immutuse sügavus sõltub immutusvedeliku viskoossusest, puidu imemisvõimest, immutamise kestvusest. Sellise immutusmeetodiga saavutatakse veidi suurem immutussügavus kui eelnevalt vaadeldud meetodi korral. Immutamise intensiivsuse tõstmiseks on otstarbekas immutusvedelikku eelnevalt soojendada.

Paneelimmutust kasutatakse unikaalsete puidust ehitiste ja konstruktsioonide kaitsetötluseks ilma neid lahti monteerimata. Vertikaalsete või kaldsete pindade

töötlemiseks kinnitatakse immutatavatele objektidele spetsiaalne immutuspaneel, mis koosneb tihedalt vastu immutatavat objekti asetatud seesmisest osast (pehmetest poorse materjali kihist, näiteks filterpaber) ja välimisest immutusainet mitteläbilaskvast osast. Immutuspaneeli seesmise kihi ülemine ots on asetatud immutusaine lahusesse, mis asub immutuspaneeli kohale paigaldatud paagis. Lahus liigub mööda paneeli ülevalt alla ja niisutab puud. Immutamine toimub kapillaarjõudude mõjul. Teatud juhtudel (kui puit on niiske) võib aset leida ka imbumine difusiooni mõjul. Üleliigse lahuse kogumiseks, mis voolab paneelilt, paigutatakse immutuspaneeli alla kogumispaak. Joonisel 3.1 on toodud paneelimmutuse põhimõtteline skeem palkidest seina ja laudadest katuse immutamiseks.



Joonis 3.1. Paneelimmutuse skeem puidust seina ja katuse immutamiseks

- 1 - immutusaine reservuaar 2 - kinnituspaneel 3 - immutuspaneeli sisemine pool
4 - immutuspaneeli välimine pool 5- kogumisreservuaar

Paneelimmutuse kestvus sõltub nõutavast immutussügavusest, immutatava puidu omadustest (tihedusest, poorsusest), immutusvedeliku omadustest ja ümbritseva keskkonna temperatuurist. Keskmiselt võib immutuskestvus kõikuda 15 kuni 30 ööpäevani.

Immutuspaneelid on tavaliselt piiratud mõõtmetega. Kuna erinevad immutatava objekti osad võivad olla väga erinevas seisukorras, siis tavaliselt paigaldatakse neile erinevad immutuspaneelid. Sellise tehnoloogilise lahendusega on võimalik saavutada immutatava objekti erinevatel osadel erinev immutussügavus, mis kindlustab tervele objektile ühtlase kasutuskestvuse.

Efektiivseks paneelimmutuse variandiks on ka objekti pinnapealne katkematu niisutamine immutusvedelikuga, kasutades perforeeritud toru. Sellise meetodiga on võimalik saavutada samasugune immutustulemus kui eelmise variandi kasutamisel. Eeliseks võib lugeda väiksemat töömahukust ja protsessi lühemat kestvust.

3.3 Difusioonimmutus

Immutamist pasta pealekandmisega kasutatakse peamiselt väikese koguse postide konserveerimiseks. Märg kooritud ümarmetsamaterjal määratakse igast küljest pastaga, asetatakse tihedatesse pakettidesse, kaetakse hoolikalt ruberoidi või polüetüleenkilega kinni ja hoitakse soojal aastaajal 2-3 kuud. Seejärel paketid avatakse, immutatud postid kuivatatakse laoplatsil ja väljastatakse tarbijatele.

Bandaažimmutus leiab rakendust väga erineval otstarbel kasutatavate postide konserveerimisel. Selle immutamismeetodi erinevuseks võib lugeda seda, et immutus viiakse läbi eksploatatsiooni käigus. Enne postide paigaldamist maapinda kaetakse posti see osa, mis kõige rohkem allub mädanikele (asub maa ja õhu piiril) spetsiaalse hüdroisolatsioonmaterjalist lindiga (bandaažiga). Bandaaži seesmine pind määratakse kokku antiseptikumi pastaga ja bandaaž kinnitatakse ümber posti traadi või naeltega.

Materjali immutamine leotamisega immutuslahuses erineb kapillaarimmutamisest immutatava materjali algniiskuse ja immutamise kestvuse poolest. Kindla kontsentratsiooniga antiseptikumi lahusega täidetud vannidesse laaditakse märg materjal. Immutusaine sisseimendumine materjali toimub difusiooni teel. Immutamise kestvus sellise meetodi korral võib kõikuda 2-3 tunnist kuni mõne nädalani. Pikem immutamise kestvus tagab immutusvedeliku sügavama sissetungimise puitu. Selle immutamismeetodi puuduseks võib lugeda väikest tootlikkust, kuid samas tagab immutamine vannides hea tulemuse ka raskesti immutatavate puiduliikide korral.

3.4 Surveimmutus vannis

Immutus eelneva kuumutusega. Valdavalt on kasutamist leidnud kahe (sooja ja külma) vanni kasutamine immutamisel. Immutatava materjali pakett kuumutatakse vannis, mis on täidetud kuuma immutusvedelikuga. Seejärel tõstetakse pakett kuumast vannist külma vanni, kus toimub immutusaine imbumine materjalisse.

Harvemini leiab rakendamist variant, kus kasutatakse ainult ühte (kuum-külma) vanni. Pärast paketi kuumutamist kuuma immutusvedelikuga täidetud vannis asendatakse kuum immutusvedelik kiiresti külmaga. Kuuma ja külma immutusvedeliku asendamine teostatakse vedeliku ümberpumpamise teel. Sellise meetodi kasutamisel saadava immutuse kvaliteet on veidi kõrgem kui eelmise variandi korral. See on seletatav soojendatud puidu ja õhu kontakti puudumisega immutusvedeliku asendamise ajal. Eelmise variandi puhul täituvad puidu rakuõõned õhuga, mis takistab vedeliku liikumist puidus.

Kasutamist on leidnud ka variant, kus on ühendatud kuumutamine ja kamberkuivatus. Pärast kuivatamist kamberkuivatis nõutava niiskuseeni (20-30%) asetatakse virnastatud saematerjal kohe külma immutusvedelikuga täidetud vanni.

Immutamise järel kuivatatakse saematerjal uuesti kamberkuivatis juba ekspluatatsiooniniiskuseeni.

Kasutust on leidnud ka teised immutusvariandid:

- kuumutamine ja aeglane puidu jahutamine ühes ja samas vannis ilma immutusvedeliku väljapumpamiseta
- immutamine külmas vannis puidu eelneva dielektrilise või küllastunud auruga kuumutusega. See variant ei ole laialdast tööstuslikku kasutamist leidnud.

Puidu immutust vannides eelneva kuumutusega saab rakendada veeslahustuvate immutusainete korral. Tavaliselt hoitakse kuuma vanni temperatuuri piirides 90-95°C ja külma vanni temperatuuri piirides 20-30°C. Materjali kuumutuse kestvus sõltub eelkõige materjali mõõtmetest. Külmas vannis hoitakse materjali sõltuvalt tema paksusest 1.5 - 4 tundi.

Kõik eelpool vaadeldud immutusmeetodid omavad mitmetel põhjustel piiratud tööstuslikku kasutamist. Näiteks difusioonimmutus nõuab suurt tööjõukulu ja immutusprotsessi kestvus on liiga pikk. Lisaks on ta kasutatav ainult mitteorgaaniliste veeslahustuvate immutusainete korral. Kapillaarimmutusmeetod on väheefektiivne, kuna sellega on võimalik saavutada ainult materjali pinnapealne immutus. Immutus külma- ja kuumades vannides on efektiivsem kui kapillaarimmutus ja on laialdast kasutamist leidnud juba aastaid. Siiski võib selle meetodi puuduseks lugeda väikest immutuslahuse survet, mis ei kindlusta piisavat immutussügavust.

Tänapäeval on eelistatavamad autoklaavimmutusmeetodid, mis tagavad immutusvedeliku sügava sissetungimise puitu lühikese protsessi kestvusega ning suhteliselt madala energia- ja tööjõukuluga.

3.5 Autoklaavimmutuse tehnoloogilised skeemid

Autoklaavimmutuseks on välja töötatud erinevaid tehnoloogilisi skeeme ja meetodeid. Tänapäeval leiavad tööstuses kasutamist peamiselt järgmised autoklaavimmutuse meetodid:

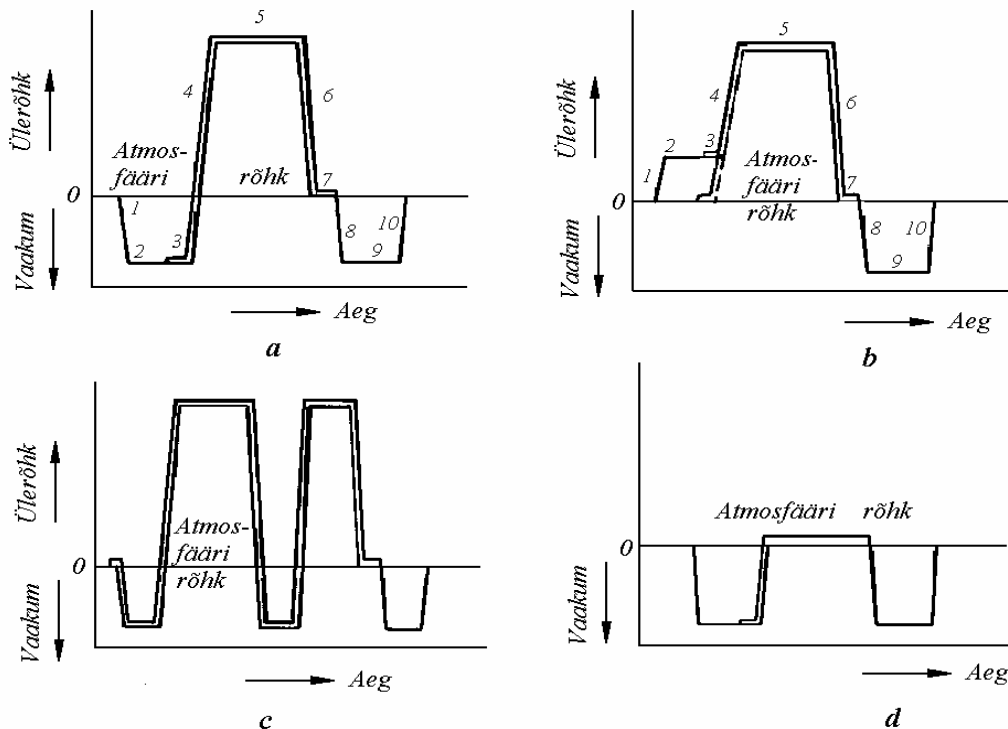
- vaakum-surve-vaakum
- surve-surve-vaakum
- mitmetsükliline immutus
- vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum
- autoklaavne difusioonimmutus
- kuivatusimmutus

Puidu immutamine meetodil vaakum-surve-vaakum

Seda immutusmeetodit võib nimetada ka täisimmutusmeetodiks, mille skeem on toodud joonisel 3.2,a. Pärast autoklaavi laadimist materjaliga teostatakse järjestikku järgmised operatsioonid: 1 - vaakumi tekitamine autoklaavis; 2 - materjali hoidmine vaakumis; 3 - autoklaavi täitmine immutusvedelikuga; 4 - immutusvedeliku survestamine; 5 - materjali hoidmine immutusvedelikus rõhu all; 6 - atmosfäärirõhu taastamine; 7 - immutusvedeliku eemaldamine autoklaavist; 8 - vaakumi tekitamine

autoklaavis; 9- materjali hoidmine vaakumis; 10 - atmosfäärirõhu taastamine ja autoklaavi tühjendamine.

Immutusvedelik tungib puitu ajal, kui puitu hoitakse vedelikus surve all. Vaakumi tekitamine protsessi alguses aitab suurendada puidu imemisvõimet ja sellega ka immutussügavust. Sellele aitab kaasa õhu eemaldamine rakuõõntest. Viimane vakumeerimine aitab kaasa liigse vedeliku eemaldamisele ja puidu pinnakihi kuivamisele.



Joonis 3.2. Autoklaavimmutusprotsessi tehnoloogilised skeemid

a – immutus meetodil vaakum-surve-vaakum, b – immutus meetodil surve-surve-vaakum, c – mitmetsükliline immutus, d - vaakumimmutus

Meetod vaakum-surve-vaakum leiab kasutamist peamiselt veeslahustuvate immutusainete korral. Immutusõli kasutatakse selle meetodi korral vaid juhul, kui puitu on vaja viia suurel hulgal immutusainet. See leiab aset tavaliselt puidu tulekindluse tõstmisel antipüreeniga, mida viiakse puitu suhteliselt palju (50-80 kg kuivainet 1m³ puidu kohta).

Immutamise kvaliteet (immutuse sügavus ja ühtlus) sõltub suurel määral immutatava puidu omadustest, immutusprotsessi režiimist, samuti põhioperatsiooni kestvusest, immutusvedeliku survest ja temperatuurist. Sõltuvalt immutatava materjali liigist ja mõõtmetest ning immutatud materjali otstarbest, samuti immutusvedeliku iseloomust võivad immutusprotsessi parameetrid olla järgmised: vaakumi suurus 0.08-0.085 MPa; immutusvedeliku surve 0.6-1.5 MPa; materjali hoidmise kestvus vaakumis 0.25-0.35 h; materjali hoidmise kestvus surve all 0.5-8 h; immutuslahuse temperatuur 20-60 °C, immutusõli temperatuur 85-95 °C.

Puidu immutamine meetodil surve-surve-vaakum

Seda meetodit nimetatakse ka piiratud neeldumise meetodiks ja selle protsessi skeem on toodud joonisel 3.2,b. Immutusprotsessis leiavad aset järgmised staadiumid: 1- materjali sisselaadimine autoklaavi ja selles õhurõhu tekitamine; 2- materjali hoidmine surve all; 3- autoklaavi täitmine immutusvedelikuga; 4- immutusvedelikule surve tekitamine; 5-immutusvedeliku hoidmine surve all; 6- atmosfäärirõhu taastamine; 7- immutusvedeliku eemaldamine autoklaavist; 8- vaakumi tekitamine autoklaavis; 9- materjali hoidmine vaakumis; 10- atmosfäärirõhu taastamine ja materjali väljalaadimine autoklaavist.

Meetodi eripära seisneb selles, et enne autoklaavi täitmist immutusvedelikuga hoitakse puitu rõhu all, mille tulemusel puidu rakuõõned täituvad lisaõhuga, mis järknevalt kokku surutakse. Immutusprotsessi lõpus immutatavas materjalis tekitatav vaakum loob olukorra, kus rakuõõntes kokkusurutud õhk väljub puidust. Väljuv õhk surub materjalist välja ka osa immutusvedelikku. Immutusmeetodii eelis võrreldes eelnevalt vaadelduga on väiksem immutusvedeliku kulu küllalt suure immutussügavuse juures.

Puidu immutamiseks kasutatakse ka varianti surve-vaakum (osaliselt piiratud imendumisega immutamine). Selle immutusprotsessi erinevus võrreldes surve-surve-vaakum immutusega seisneb selles, et protsessi algul ei hoita materjali surve all (joonis 3.2,b punktiirjoon). Sellest tulenevalt on immutusprotsessi lõpus puidu rakuõõntes kokkusurutud õhku vähem kui meetodi surve-surve-vaakum korral, mistõttu väheneb ka puidust väljasurutava vedeliku hulk. Selline immutusmeetod leiab kasutamist juhul, kui immutusvedelikuna kasutatakse õlisid ja kui immutamise eesmärgiks on saada meetodist surve-surve-vaakum suuremat immutussügavust.

Meetodid vaakum-surve-vaakum, surve-surve-vaakum ja surve-vaakum on kasutatud leidnud juba alates 19-nda sajandi lõpust ja neid võib nimetada klassikalisteks autoklaavimmutusmeetoditeks. Ka tänapäeval leiavad need meetodid laialdast kasutamist kuiva või kuivatatud ($W \leq W_{hp}$) materjali konserveerimiseks ja kergesti immutatavate puiduliikide (näiteks kask) immutamiseks. Raskesti immutatavate puiduliikide (näiteks kuusk, mänd ja teised lülipuidulised puiduliigid) korral ei ole vaadeldud meetoditega tavaliselt võimalik tagada suurt immutussügavust. Suurema immutussügavuse saavutamiseks on võimalik kasutada puidu eelkuumutust.

Mitmetsükliline immutamine

Eelkuumutuse kasutamine raskesti immutatavate puiduliikide immutussügavuse suurendamiseks ei ole ainukeseks võimaluseks. Võimalik on kasutada 2-3 või enamgi järjestikulist survetsükli vahepealse vaakumiga või ilma.

On välja töötatud erinevaid mitmetsüklilise immutuse skeeme. Häid tulemusi on andnud meetod, mis on toodud joonisel 3.2,c. Meetod leiab kasutamist peamiselt saematerjali konserveerimisel veeslahustuvate preparaatidega. Vaakumi suurus on 0.08 - 0.09 MPa ja materjali hoitakse vaakumis 3x15 min. Surve suurus on 1.1 MPa, rõhu all hoidmise aeg tsükli esimeses etapis on 60 min, teises 30 min. Kui ka immutuslahuse temperatuur on tõstetud kuni 40 °C, võib immutussügavust suurendada ca 2-kordseks võrreldes tavalise vaakum-surve-vaakum meetodiga.

Puidu immutamine meetodil vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum

Seda meetodit võib nimetada ka lihtsalt vaakumimmutuseks ja ta on ette nähtud kasutamiseks autoklaavides või lihtsustatud konstruktsiooniga hermeetilistes mahutites, mis ei sobi kasutamiseks suurel rõhul. Immutusprotsess toimub järgmises järjekorras (joonis 3.2,d) : materjali sisselaadimine autoklaavi, 15-20 minutiline materjali hoidmine vaakumis 0.08-0.09 MPa, autoklaavi täitmine immutusvedelikuga ja atmosfäärirõhu taastamine. Materjali imbumine immutusvedelikuga toimub 30-60 minuti vältel atmosfäärirõhul. Pärast seda autoklaav tühjendatakse immutusvedelikust ja tekitatakse uuesti lühiajaline vaakum, mis on vajalik materjali pinnakihi kuivatamiseks. Vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum immutus leiab kasutamist juhul, kui materjali on vaja sisse viia piiratud koguses immutusvedelikku. Immutussügavus sel meetodil on lülipuidus 1-2 mm ja maltspuidus 5-10 mm.

Autoklaavne difusioonimmutus

Kõik eespool vaadeldud autoklaavimmutusmeetodid kindlustavad rahuldava immutus kvaliteedi vaid juhul, kui immutatava materjali niiskus on alla tema rakuseina küllastuspiiri. Autoklaavne difusioonimmutus on meetodiks, millega on võimalik teostada niiske puidu konserveerimist. Selle meetodi olemus seisneb järgnevas. Niiske materjal paigutatakse autoklaavi ja keskkonda kuumutatakse küllastunud veeauruga, millele järgneb materjali hoidmine vaakumis. Sellise töötlemise käigus niiskus materjali pinnakihis langeb 20-30 %. Pärast seda viiakse puidu kuivatatud pinnakihti kõrgendatud rõhu all 5-10 mm sügavusele kontsentreeritud antiseptikumi vesilahus. Soovitav on sellise immutamismeetodi korral kasutada immutusaineid, mis kergelt difundeeruvad puitu ja ei ole väljapestavad. Pärast materjali immutamist laaditakse materjal autoklaavist välja ja lastakse laos seista 2-4 nädalat. Selle aja jooksul toimub immutusainete liikumine difusiooni mõjul materjali sisekihtidesse.

Autoklaavne difusioonimmutus leiab kasutamist peamiselt ümarmetsamaterjali, elektri- ja telefonipostide immutamisel.

Immutus koos kuivatusega

Seda meetodit kasutatakse puidu konserveerimiseks õlide või orgaanilistes lahustes lahustuvate antiseptikumidega, mis on võimelised täitma kuivatusagensi ülesannet. Meetod koosneb kahest järjestikku rakendatavast protsessist, milleks on puidu vedelikkuivatus ja sellele järgnev immutus samade vedelikega.

Kuivatust võib autoklaavis teostada kas atmosfäärirõhul või vaakumis. Esimesel juhul peab vedeliku temperatuur olema kõrgem kui 100 °C, teisel juhul võib temperatuur olla alla 100 °C, kuid kõrgem vee keemistemperatuurist antud vaakumi puhul. Lihtsam ja ökonoomsem on kuivatamine atmosfäärirõhul. Optimaalne vedeliku temperatuur on sellisel juhul 120-130 °C. Variandi puuduseks võib lugeda puidu madalat vastupidavust eksploatatsioonis. Kuivatamisel vaakumis kasutatakse 0.07-0.085 MPa vaakumit (vastav vee keemistemperatuur on 65-50 °C), kuivatustemperatuur on tavaliselt piirides 90-95 °C. Vaakumkuivatamisel kasutatavad seadmed on aga keerulisemad ja ka kallimad. Vaakumkuivatus on täielikult õigustatud vaid juhul, kui immutatud puidule on seatud kõrged

ekspluatatsiooninõuded. Enamasti leiab selline tehnoloogia kasutamist raudteeliiprite immutamisel.

Immutusvedelikuga kuivatamise kestvus, sõltub töödeldava materjali kujust ja mõõtmetest, puiduliigist, puidu alg- ja lõppniiskusest ning immutusseadmes kasutatava soojendusseadme võimsusest. Tehnoloogilise protsessi pikkus võib ulatuda 6-20 tunnini. Materjali kuivatamise lõppedes viiakse samas autoklaavis läbi puidu immutamine mõnel juba varem vaadatud klassikalisel immutusmeetodil. Immutusmeetodi valik sõltub nõutavast immutussügavusest.

3.6 Autoklaavid ja abimahutid

Immutusautoklaav kujutab endast silindrilist metallist mahutit, mis on ette nähtud töötamiseks kõrgel surveel. Ta omab kahte poolkerakujulist kaant, millest üks on statsionaarne ja teine avatav. Tänapäeval kasutatakse autoklaavi kaante sulgemiseks hüdraulilise või pneumaatilise ajamiga kiillukke.

Autoklaavid (joonis 3.3) paigutatakse horisontaalselt või väikese kaldega vedeliku väljalasketoru suunas. Autoklaavi mõõdud sõltuvad seadme vajalikust tootlikkusest ja immutatava materjali mõõtmetest. Liipri- ja postitööstuses on kõige laialdasemalt levinud autoklaavid, millede läbimõõt on 2 m ja pikkus 24 - 27 m või ligikaudselt kas liiprite (2.75 m) või postide (8 -12 m) kordne. Suuremad autoklaavid on valmistatud 2.6 m läbimõõduga ja pikkusega 29 m. Väiksemate puittoodete ja ehitusdetailide immutamiseks kasutatakse autoklaav läbimõõduga 1-1.5 m ja pikkusega 6 - 12 m.



Joonis 3.3. Autoklaavi täitmine puiduga

Autoklaavid on varustatud kaitseklappide ja torujätkudega torujuhtmetega ühendamiseks, samuti anduritega vedeliku rõhku ja temperatuuri mõõtmiseks. Autoklaavi alumisse osasse on ehitatud rööbastee materjali sisselaadimiseks vagonettidel. Kõrgematel temperatuuridel töötamiseks võib autoklaav olla väljastpoolt kaetud soojusisolatsiooniga ja rööbaste alla ja nende vahele on monteeritud

kalorifeeriga. Immutusautoklaavid valmistatakse tavaliselt konkreetse tellimuse alusel masinaehitustehastes.

Manööverautoklaavid on ette nähtud operatsioonidevaheliseks immutusvedeliku säilitamiseks ja immutusvedeliku esialgseks kuumutamiseks temperatuurini, mis on määratud immutusrežiimiga. Manööverautoklaavid paigutatakse tavaliselt immutusautoklaavi kohale ja nad on varustatud luugiga (kontrollimiseks ja puhastamiseks), torujätkudega torujuhtmete ühendamiseks, anduritega ja vajadusel ka kuumutuskalorifeeriga.

Manööverautoklaavid võivad töötada ka kõrgendatud rõhul (immutamine õlidega, kasutades surve-surve-vaakum ja surve-vaakum immutusmeetodeid) või ainult atmosfäärirõhul (immutamine vesilahustega, kasutades vaakum-surve-vaakum, surve-vaakum või vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum immutusmeetodeid). Esimesel juhul sarnanevad manööverautoklaavid konstruktsioonilt immutusautoklaavidele (puudub avatav kaan). Teisel juhul võib manööverautoklaavidena kasutada silindrilisi mahuteid, mis on valmistatud seeriatootmises ja on ette nähtud kasutamiseks rõhul kuni 0.17 MPa. Vahest kasutatakse manööverautoklaavi asemel ka avatud paake, mis on samuti asetatud immutusautoklaavi kohale.

Manööverautoklaavi ja avatud paagi mahutavus peab olema küllaldane immutusautoklaavi täitmiseks, arvestades ka vedeliku hulka, mis imendub puitu.

Mõõtanuma ülesandeks on kontrollida immutamisprotsessi käigus puitu imendunud immutusvedeliku hulka. Ta kujutab endast silindrilist metallpaaki, mis on tavaliselt paigaldatud vertikaalselt ja on varustatud seadmega, mis võimaldab kontrollida vedeliku nivood. Mõõtanuma mahutavus on tavaliselt 10 - 25 m³ ja töö rõhk 0.6 – 1.6 MPa.

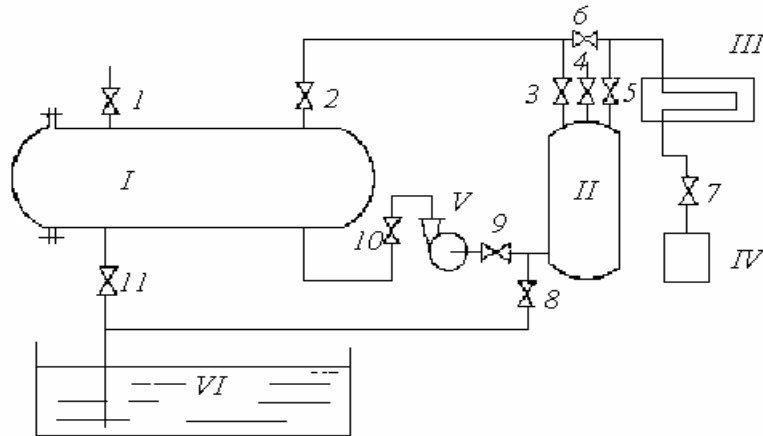
Segamispaak on ette nähtud immutusvedeliku ettevalmistamiseks. Anum on tavaliselt silindrilise kujuga ja tema töö rõhk ei ületa 0.1 MPa. Ta võib olla varustatud kalorifeeriga ja mehaanilise või õhksegistiga.

Säilituspaak on ette nähtud immutusaine tagavarade hoidmiseks. Paakide arv ja mahutavus sõltub immutusseadme tootlikkusest. Tavaliselt on säilituspaak varustatud soojendusseadme ja vedeliku kulu arvestiga.

3.7 Immutusseadmete tööskeemid

Immutusseadmete montaaž peab olema teostatud nii, nendes oleks võimalik rakendada tehnoloogilisi operatsioone, mis on vajalikud mingi kindla immutamismeetodi läbiviimiseks. On olemas palju erinevaid immutusseadmete tööskeeme. Järgnevalt on vaadeldud immutusseadmete tööskeeme, mis võimaldavad immutamist läbi viia vaakum-surve-vaakum, surve-surve-vaakum, vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum ja kuivatusimmutuse meetoditel.

Vaakum-surve-vaakum immutamismeetodil kasutatava immutusseadme põhimõtteline skeem on toodud joonisel 3.4.

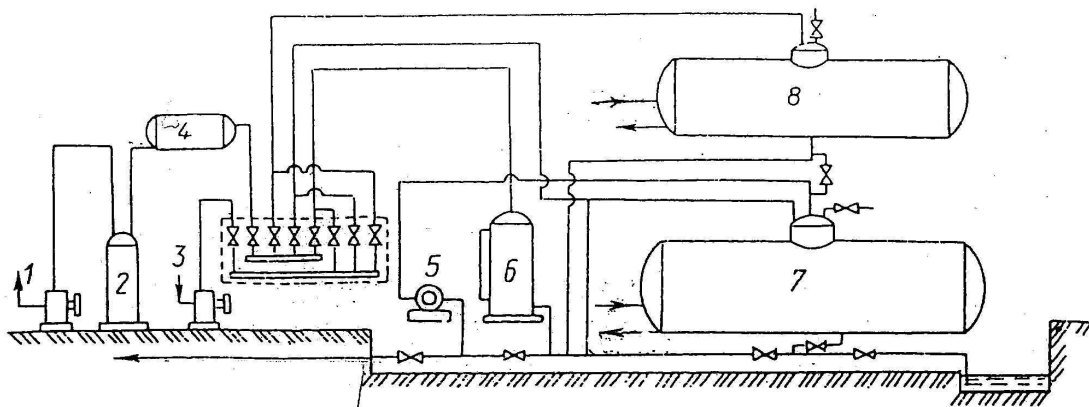


Joonis 3.4. Seadme skeem immutuseks meetodil vaakum-surve-vaakum

I – autoklaav II – mõõtanum III – kondensaator IV - vaakumpump
 V – vedelikupump VI – manööverautoklaav 1-11 - ventiilid

Seade töötab järgmise skeemi järgi. Autoklaavi laaditakse sisse materjal ja tekitatakse vaakum. Selleks lülitatakse sisse vaakumpump ja avatakse ventiilid 2, 6 ja 7 (ülejäanud ventiilid on suletud). Kui materjali on mõningane aeg hoitud vaakumi all toimub autoklaavi täitmine immutusvedelikuga. Selle operatsiooni läbiviimiseks avatakse ventiilid 11, 2, 3 ja 5 ning ülejäanud ventiilid suletakse. Immutusvedelik surutakse manööverautoklaavist immutusautoklaavi atmosfäärirõhu toimel. Pärast seda lülitatakse sisse vedelikupump, mille abil luuakse ja hoitakse autoklaavis surve. Immutusvedelik viiakse immutusautoklaavi läbi mõõtanuma, mis võimaldab kontrollida puitu imendunud vedeliku kogust. Pärast materjali hoidmist rõhu all toimub immutusvedeliku voolamine manööverautoklaavi, milleks avatakse ventiilid 1 ja 11. Lõppvaakum tekitatakse samal viisil nagu esimenegi.

Immutuskeemis meetodil surve-surve-vaakum (joonised 3.5 ja 3.6) on immutusautoklaavi 7 kohale paigutatud manööverautoklaav 8, mis töötab samuti ülerrõhul. Immutusvedeliku survet tekitab vedelikupump 5. Mõõtanumaga 6 kontrollitakse immutusvedeliku neeldumist ja kompressoriga 2 tekitatakse õhusurvet. Vaakumliinil paiknevad vaakumpump 1, ressiiver 2 ja kondensaator 4.

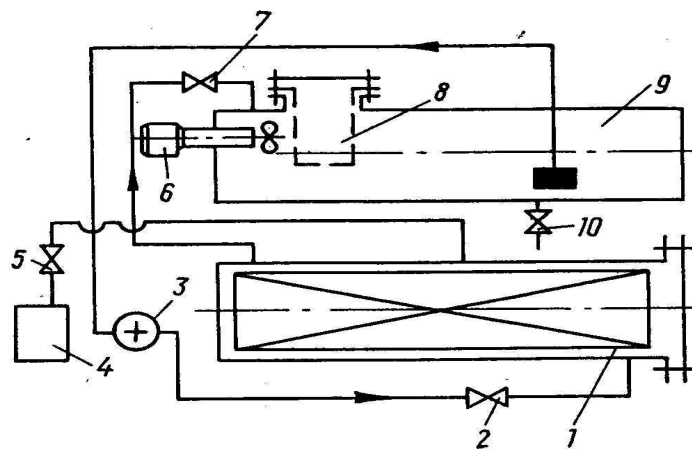


Joonis 3.5. Immutusseadme skeem meetodil surve-surve-vaakum



Joonis 3.6. Immutusseade töötamiseks meetodil surve-surve-vaakum

Järgneval joonisel 3.7 on toodud seadmete paigutuse skeem puidu immutamiseks vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum meetodil.

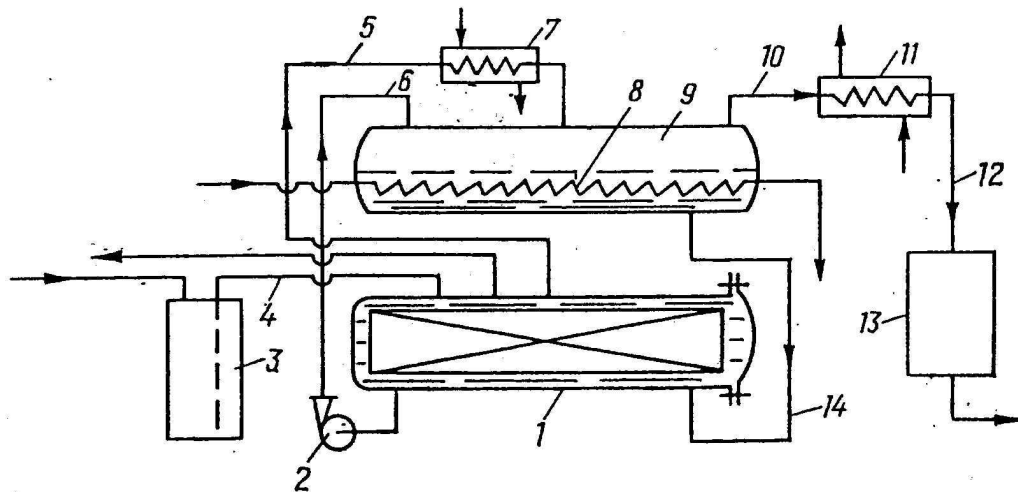


Joonis 3.7. Seadme skeem immutuseks vaakum-atmosfäärirõhk-vaakum

Selles skeemis on immutusautoklaav 1 arvatatud töötamiseks ainult vaakumis. Manööverautoklaav 9 töötab atmosfäärirõhul. Temas on seade 8, mis on ette nähtud tahkete immutusainete sisselaadimiseks ning mehaaniline segisti 6. Immutusautoklaavi täitmine immutusvedelikuga ja vedeliku väljavool autoklaavist teostatakse reverseeritava tsentrifugaalpumbaga 3. Vaakumi tekitamiseks kasutatakse vaakumpumpa 4, mis lülitatakse sisse pärast autoklaavi täitmist materjaliga ja ventiili 5 avamist. Materjali hoidmise järel vaakumis avatakse ventiil 2, lülitatakse sisse pump 3 ja laskmata vaakumil langeda täidetakse immutusautoklaav immutusvedelikuga. Seejärel lülitatakse välja vaakumpump, suletakse ventiil 5 ja avatakse ventiil 7. Seejuures taastub autoklaavis atmosfäärirõhk ja algab immutusprotsess, mille ajal pump kindlustab vedeliku katkematu tsirkulatsiooni

manööver- ja immutusautoklaavi vahel. Pärast immutamise lõppu teostatakse sama pumbaga (tänu tema reverseerimisvõimalusele) ka vedeliku väljapumpamine immutusautoklaavist. Manööverautoklaavist eemaldatakse immutusvedelik läbi toru 10, mis on varustatud ventiiliga.

Kuivatusimmutus skeemis (joonis 3.8) on omavahel torustikuga ühendatud immutusautoklaav 1, manööverautoklaav 9, tsirkulatsioonipump 2, kondensaator 11, kondensaadi kogumispaak 13, mõõtanum 3 ja vahukustusseade 7. Manööverautoklaav on varustatud kalorifeeridega 8. Vaakumpumpa ja kompressorit ei ole skeemil näidatud.



Joonis 3.8. Kuivatusimmutusseade

Immutuselne kuivatus toimub atmosfäärsel rõhul. Puiduga täidetud autoklaavi 1 juhitakse manööverautoklaavist toru 14 kaudu eelnevalt 130 °C temperatuurini kuumutatud õli. Seejärel pannakse tööle tsirkulatsioonipump 2 ning puiduga kokkupuutest jahtuv õli suunatakse läbi toru 6 tagasi manööverautoklaavi kuumutusele ja sealt tagasi immutusautoklaavi. Vee- ja õliaurud koos vahuga suunduvad toru 5 kaudu vahukustusse 7 ja sealt tagasi manööverautoklaavi, millest aurud liiguvad läbi toru 10 kondensaatorisse 11. Pärast kuivatuse lõppu toimub immutus mõnel tavalisel meetodil, kasutades vaakumpumpa ja kompressorit. Enne vakumeerimist pumbatakse õli pumbaga 2 manööverautoklaavi ja seejärel immutuseks läbi mõõtanuma 3 ja toru 4 tagasi immutusautoklaavi.

4 PUIDUKAITSEVAHENDID

4.1 Nõuded keemilistele puidukaitsevahenditele

Keemilised puidukaitsevahendid puidu bioloogiliseks kaitseks peavad omama spetsiifilist toksilisust, et suurendada puidu vastupanuvõimet mädanikele, seen- ning putukkahjustustele. Tulekaitsevahendid peavad vähendama puidu süttivust ning hõõguvust. Peale nende puitu kaitsvate omaduste peavad puidukaitsevahendid vastama ka järgmistele nõuetele:

- kahjutud inimestele ja loomadele
- kergesti puitu imenduvad

- puidust raskesti väljapestavad
- keemiliselt inertsed ja vähelenduvad
- ei tohi suurendada puidu hügrokoopsust
- ei tohi halvendada puidu liimimis- ja viimistlemisomadusi.

Raske on leida sellist puidukaitsevahendit, mis vastaksid kõigile loetletud tingimustele ning igal konkreetsel juhul tuleb teha valik, mis võimalikult suuremal määral oleks nõuetega kooskõlas.

Keemilised puidukaitsevahendid võib jaotada lahustuvuse ja väljapestavuse järgi allpooltoodud alaliikidesse.

Lahustuvuse järgi:

- veelahustuvad
- orgaanilistes lahustites lahustuvad
- antiseptilised õlid.

Väljapestavuse järgi:

- kergesti väljapestavad
- väljapestavad
- raskesti väljapestavad.

Enim on kasutust leidnud veelahustuvad puidukaitsevahendid, mis viiakse puitu vesilahustena.

4.2 Trendid puidu biokaitsevahendite tootmises ja kasutamises

4.2.1 Ajalooliselt levinumad puidukaitsevahendid

Alates 1940-ndatest aastatest alates on kõige rohkem puidukaitse ajaloo vältel kasutatud vask-kroom-arseenisooladel põhinevat vesialusel puidukaitsevahendit CCA, pentaklorofenooli ja kreosooti.

CCA kemikaale ei ole lubatud USA-s ja Kanadas kasutada elamuehituses ja otsese kontaktis inimtegevusega juba alates 2003.a., Euroopa Liidus peale juunikuud 2004.a. Peale selle ei kasutata sellest ajast alates EL maades CCA immutatud puitu veel vesikeskkonnas, ja enamikes põllumajanduslikes rakendustes.

See on põhjustatud järgmistest faktoritest:

1. Viimased riskiuuringud arseeni kahjulikkuse kohta inimorganismile näitasid, et pole võimalik seada arseeni kontsentratsioonile alampiiri, millest allapoole see kemikaal ei oleks kantserogeenne.
2. EL CSTE (Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment) riskianalüüsid näitasid, et CCA töödeldud puitmaterjalide tootmist tuleb vähendada.
3. CCA töödeldud puitu ei kasutata enam kokkupuutes inimeste ja loomadega ning avalikes kohtades, näit laste mänguväljakute puitdetailide töötlemiseks.
4. Turule on jõudnud alternatiivsed ja sama toimevõimega teised puidukaitsekemikaalid (nt Tanalith), mis küll on ca 8-15% kallimad, kuid suudavad majanduses konkureerida ohtliku CCA-ga.

Pentakloorfenool on väga efektiivne vahend biokahjustuste tõrjeks. Puidus muutub ta CO₂ toimel vees lahustumatuks ja ei ole seetõttu väljapestav. Inimestele ja loomadele on ta väga kahjulik, mõjudes maksale, neerudele, närvisüsteemile ja avaldades ka kantserogeenset toimet. Seetõttu on ta kasutamine kas keelustatud või rangelt piiratud vaid toodetes, mis ei ole kokkupuutes inimestega (nt postid, puitsillad). Pentakloorfenooli kasutamist Euroopa Liidus reguleerib kemikaalide kasutamist käsitlev Euroopa Komisjoni määrus Nr 552/2009 22. juunist 2009, mille järgi pentakloorfenooli kontsentratsioon turustatavates toodetes võib olla maksimaalselt 0,1 % ja kasutamine on keelatud ehitiste sees ja pakkematerjalides, mis võivad sattuda kontakti inimeste või loomade tarbeks mõeldud toodetega.

Kreosoot on ammu tuntud oma kantserogeensete komponentide poolest (sisaldab üldse kokku ca 300 erinevat ainet ning ei ole stabiilse koostisega). Tingituna toote ebameeldivast lõhnast, ei kasutata seda elamumajanduses (NB! Mitte niivõrd selle toote kahjulikkuse tõttu) vaid tööstuslikes rakendustes nagu telefonipostide, sildade, raudteeliiprite ja teiste väliskonstruktsioonide töötlemiseks.

CCA ja kreosoot on ainsad tunnustatud puidukaitsevahendid USA-s, mida lubati kasutada vesikeskkonnas (H6 ohuklass). On välja töötatud alternatiivsed keskkonnaohutuse suhtes aktsepteeritavad puidukaitsevahendid, mis võivad nende toodetega konkureerida (nt tinaühendid).

4.2..2 Muud puidu biokaitsevahendid

ACQ (vask + kvaternaarsed ammooniumisoolad), vaskasoolid, mis on asunud CCA asemele, sisaldavad vaske kui bioloogiliselt aktiivset mürkainet. Vask metallina on keskkonnas püsiv, samas arvatakse, et puidukaitsekemikaalidest väljaleostuv vask ei põhjusta keskkonnale tõsist ohtu. Üheks levinumaks vasel põhinevaks puidukaitsevahendiks on Tanalith E (vt joonis 4.1 ja Lisa 1).



Joonis 4.1. Tanalith E-ga immutatud männi ümarpuit.

Tributüültinal baseeruvad puidukaitsekemikaalid on alternatiivsed uued vahendid vesikeskkonnas CCA asendamiseks. Samas on leitud, et nende kemikaalide turuletoomisega seatakse vesikeskkonna elusolendid ja taimed riski alla ning on asutud välja töötama ka selle vahendile alternatiivseid vahendeid.

Booriühendite seenevastane mõju on tuntud ning neid loetakse üheks paremaks ja püsivamaks puidukaitsevahenditeks (anorgaanilised ühendid – boorhape ja booraks). Uues ühendis mahutati nelja boori aatomi asemel molekuli 8 boori aatomit, saades uueks toimeaineks naatriumoktaboraadi, mis siiani on üheks efektiivsemaks puidukaitsevahendiks. Siin on ja jääb aga suureks probleemiks booriühendite suur väljapestavus ning sellega kaasnev keskkonna saastamine oht. Väljapestavust on võimalik vähendada valmistades booriühendite baasil emulsioonimmuti (vt Lisa 2).

CCA, ACQ, vaskasoolid ja booriühendid viiakse puitu tavaliselt vesipõhise töölahusega. Kreosoot ja kergetel süsivesinikel põhinevad TBT (tributüültina ühendid) ja permetriin viiakse puitu süsivesinikest lahustite abil. Kasutades immutuskeskkonnana süsivesinikke vee asemele, tekitatakse lisarisk tööstustehasest õhku paiskuvate gaaside näol. Seetõttu tavaliselt ei kasutata puidu ennetavaks kaitsetöötluks kõrget VOC (volatile organic compounds) tekitavat süsivesinike baasil puidukaitsevahendeid liiga suure keskkonnasaaste riski tõttu.

Uue põlvkonna puidukaitsekemikaalide väljatöötamine algas juba enne CCA keelustamist, kuid jätkub siiani, sest vahendite testimine kontaktis pinnasega ja pinnase kohal nõuab välitingimustes aega vähemalt 10 aastat, et saada selle tootmiseks kinnitust. Pikk testimisperiood on vajalik, kuna immutatud puidust loodetakse saada kauakestvat materjali, mis kestab palju aastaid (näiteks terrassid, aiad, jm.).

Lõpptulemusena loodetakse saada keskkonnasõbralikud ja suhteliselt odavad puidukaitsevahendid, mis on vajalikud nii puitmaterjalide tööstusele kui ka kodusele tarbijale. Uutele puidukaitsevahenditele esitatakse küllalt suuri nõudeid:

- Tõkestada vee tungimist puidu sisemusse. Sellega väheneb puidu pragunemine, lõhenemine ja murenemine ning tõuseb külmakindlus.
- Kaitsta UV kahjustava mõju eest. Tänu lisandainetele säilitab puit kaua oma naturaalse välimuse.
- Takistada töödeldud puidu pinnale hallituse tekkimist.
- Ajas püsiva koostisega ning lihtsa kordustöötlemisega.

Kuigi vesialusel puidukaitsevahendeid, mida viiakse puitu sisse vaakumrõhutöötluks, on majanduslikult kõige ökonoomsemad toota, on neil kasutamise seisukohalt mitmeid puudusi (kui jätta välja nende ohtlikkus), mis eelkõige väljenduvad väheses puidu struktuuri kaitsmises keskkonna füüsikaliste mõjutuste eest ning vähene kaitse pinna hallitamise eest.

Seetõttu on praegusel ajal pandud rõhk mitmekomponentsete puidukaitsevahendite väljatöötamisele, kus igal osal on täita oma roll. Ühemetalli orgaanilised ühendid, kvaternaarsed ammoniumisoolad, õliemulsioonid ning ka booriühendid on jätkuvalt tähelepanu all paralleelselt puidu immutamisele alternatiivsete tehnoloogiatega nagu puidu atsetüleerimine või termotöötlemine.

4.2.3 Töödeldud puidu utiliseerimine

Uute puidukaitsevahendite väljatöötamisel on oluline võtta arvesse olemasolevate ning minevikus kasutatud puidukaitsekemikaalidega immutatud puidu utiliseerimise probleeme.

Kõige levinum on kasutatud puidu matmine pinnasesse, kuid hilised EÜ uuringud näitavad väga kõrget arseeni eraldumise riski ning seetõttu ei ole see protseduur soovitatav.

Teine võimalus on töödeldud jäätmepuidu põletamine, kuid see meetod nõuab väga efektiivset metalliühendite kinnipüüdmist gaasist, mis teeb protseduuri kalliks.

Kolmas võimalus oleks töödeldud puidujäätmete kompostimine, mis ei tule kõne alla arseeni kõrge väljaleostumise tõttu.

Peale CCA keelustamist ilmusid turule II põlvkonna vaskorgaanilised puidukaitse kemikaalid. Nende eluiga tundub aga küllalt lühikeseks jäävat seoses vase kõrge keskkonnariskiga ja mistahes metalliga töödeldud puidu utiliseerimise probleemide tõttu.

Viimasel ajal püütakse välja töötada täielikult orgaanilisel alusel olevaid puidukaitsekemikaalide segusid, mis oleksid keskkonnasõbralikult utiliseeritavad. Siinjuures tuleb rõhku panna uute toodete efektiivsusele ning ökonoomsusele. Orgaaniliste biotsiidide valmistamine on tunduvalt kallim kui CCA tootmine. Seetõttu tehakse suuri jõupingutusi uute koostiste efektiivsuse tõstmiseks ning odavamate lisandainete otsimisele. Ulatusliku uurimistöo fookuses on kvaternaarsed ammooniumisoolad ja nende teisendid, mida siiani kasutati peamiselt taimekaitsevahendites ja desinfektantides. Mõned neist nagu naatriumpropionaat, on niivõrd ohutud, et neid kasutatakse koguni toiduainete lisanditena (nt leivatoodetes).

**TECHNICAL
DATA SHEET**

July 2002

**TANALITH® E
Copper-based Wood
Preservative**

1.0 DESCRIPTION

Active Constituents: 161g/L Copper (Cu) present as 350g/L copper carbonate
6.4g/L tebuconazole (CAS Reg. No. 107534-96-3)

Solvent: 602g/L mono-ethanolamine
Other ingredients: 64g/L boric acid
Formulation: Proprietary surfactants
12.4%w/w Copper elemental and 0.49%w/w tebuconazole as water soluble concentrate.

Appearance/Odour: Deep blue to purple liquid with a slight amine odour.

Solubility: Dissolves in water.
Density: 1.3 g/ml @ 20°C
Viscosity: 350-500 cps @ 25°C
pH: 10.0 +/- 0.5 @ 20°C
Reactivity: May react with oxidising materials and strong acids. Corrosive to copper metal and copper based alloys.

2.0 FUNCTION

2.1 General

Tanalith E is a copper-based, water borne wood preservative formulation containing the triazole fungicide tebuconazole as a co-biocide. Copper azole based preservatives are used widely throughout the world and are covered by international patents.

It is supplied as a concentrate containing approximately 12.4% w/w elemental copper (Cu). Copper and tebuconazole act synergistically together to provide excellent protection to wood products against fungal decay and insects such as termites.

2.2 Mode of Action

The two biocides play different roles in Tanalith E. Copper is a well recognised fungicide and termiticide at the approved concentration, while tebuconazole is a powerful fungicide. Boric acid and other ingredients act as a stabilising and formulating agents.

2.3 Performance and Limitations

Tanalith E has been approved for use in Hazard Class H3 and H4 end uses for softwoods and hardwoods in Australia Retention of actives in timber should be expressed as %m/m Cu plus tebuconazole.

The preservative will impart a pale green to brown colour to the treated wood. Further information can be obtained from Koppers Arch.

3.0 DIRECTIONS FOR USE

Tanalith E is used for the protection of softwood and hardwood timber against fungal decay, borers and termites. It should only be used for vacuum-pressure impregnation treatment of timber in approved industrial facilities. The concentrate dilutes readily into water to form stable treatment solutions. Contact Koppers Arch for further information on plant operation with Tanalith E.

Some minor plant modifications may be required if converting to Tanalith E from CCA. Koppers Arch can advise further details or conduct a plant inspection on request. While a slight amine odour may be noticeable immediately after treatment, there should be no fumes or residues left on the timber.

4.0 STORAGE

To be stored in original labeled containers or in vessels approved and installed under relevant State and local authority regulations. The product should be kept in a well ventilated, cool, dry area away from foodstuffs and incompatible materials such as acids and oxidising materials. Not to be stored in aluminium, copper or brass containers.

5.0 INDUSTRIAL SAFETY

UN Number: 3010 Cu-based pesticide, Liquid, Toxic, N.O.S.
Primary Hazard: 6.1
Hazchem: 2X
Packaging Group: III
Registration: Registered by NRA as an agricultural chemical. Approved for use by Timber Utilisation and Marketing Act, Qld (TUMA), Timber Marketing Act, NSW (TMA), Australian Quarantine and Inspection Service (AQIS) and Australian Standard AS1604 - Specification for preservative treatment.

6.0 FIRST AID

If poisoning occurs, contact a doctor or Poisons Information Center immediately. If swallowed do not induce vomiting: give a glass of water. If eye contact occurs, hold eyes open and flush with water for 15 minutes. Remove contact lenses before flushing. If skin contact occurs remove contaminated clothing and wash affected area with soap and water. If product is inhaled remove person to fresh air: monitor breathing. If breathing has stopped administer artificial respiration: seek medical assistance.



Lisa 2

EMULSIONIMMUTI MÄNNIPUIDULE.

Tallinna Tehnikaülikooli puidutöötlemise õppetoolis on aastail 2004...2007 EAS toetusel täidetud arendusprojekt eesmärgiga töötada välja täiustatud meetod ja emulsioonimmuti männipuidu kaitseimmutuseks. Projekti olulisemad järeldused:

1. Emulsioonimmuti ühendab endas vesilahuste ja õlide positiivsed omadused, kusjuures mõlemad faasid viiakse puitu ühe tehnoloogilise operatsiooniga. Vee keskkonnas difundeeruvad anorgaanilised toimeained puidu rakuseina ligniinirikastesse kihtidesse ja annavad puidule biokindluse nende eriti agressiivsete seente vastu, mis levivad rakuseintes. Kuivav taimeõli - antud töös rapsiõli - tekitab puidu rakuseinte pinnal ja seinte mikrokapillaarides hüdrofoobsed polümeriseerunud kelmed, mis vähendavad toimeainete väljapestavust.

2. Sobivaks osutus õli/vees tüüpi emulsioon, milles rapsiõli maksimaalne kontsentratsioon on 4 massiprotsenti emulsioonist. Kõrgema õlisisalduse puhul halveneb männi maltspuidu immutatavus ja halvenevad majanduslikud näitajad, kuigi hüdrofobiseeriv efekt on suurem. Emulsioonimmuti tihedus õlisisaldusel 4% on 1,010 g/cm³.

3. Uue emulsioonimmuti toimeaineteks valiti booriühendid: booraks, boorhape ja kvaternaarsed ammooniumsoolad (antud töös dioktüülmetüülammooniumkloriid). Booriühendid tagavad potentsiaalse biokindluse puitulagundavate seente suhtes, kvaternaarsed ammooniumsoolad - puitvärivate seente suhtes.

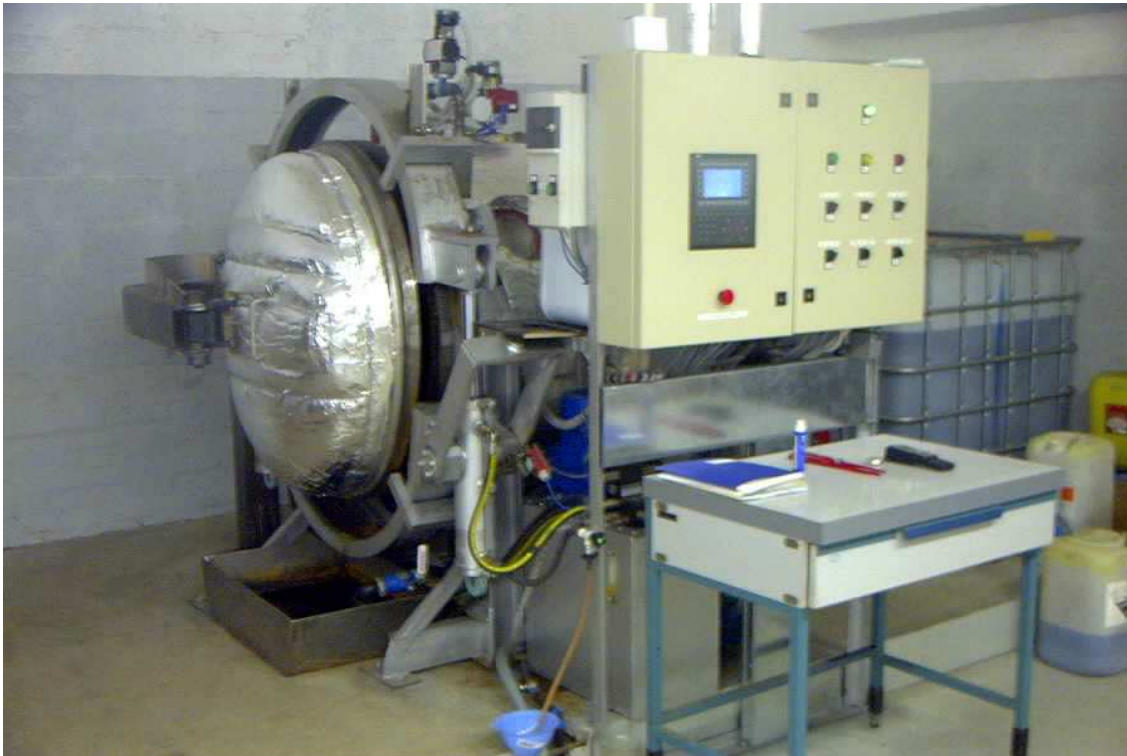
4. Emulsiooni stabiliseerimiseks kasutati oleiinhapet ja rapsiõli tootmise kõrvalprodukti, mis on osaliselt de-esterifitseeritud rapsiõli (nn. happeõli). Emulgeerimine viidi läbi pulsatsioonitüüpi aparaadis pulsatsioonisagedusel 900 Hz. Emulsiooni on püsiv vähemalt 24 tundi, kuid õlifaasi suurema dispersiooniastme säilitamise seisukohalt on soovitatav emulsiooni kasutada 8 tunni jooksul. Emulsioon on korduvkasutatav.

5. Uue emulsioonimmuti omaduste võrdlusaluseks valiti Eestis praegu laialdaselt kasutatava veeslahustuva preparaadi "Tanalith E" emulsioon. Nimetatud preparaadi retseptuuris kasutatakse raskemetalli vaske.

6. Katsematerjalina kasutati vaakumkuivatatud männipuitu, sest vaakumkuivatuse meetodil kuivatatud puidul on vaigukaigud emulsioonimmutile kergemini läbitavad kui teiste kuivatusmeetodite puhul. Immutati nii ümar- kui ka saepuitu.

7. Kaitseimmutusele mineva puidu niiskuse suhtes järgiti põhimõtteliselt üldlevinud seisukohta, et puidu niiskus peaks soovitatavalt olema vahemikus 26...28 %. Samas saadi piisavaid kaitseimmuti neelduvusi ka puidu niiskusel kuni 50%.

8. Kuivatus- ja immutusprotsessi teostamiseks kasutati kohapeal valmistatud kuivatus-immutusautoklaavi ja abiseadmeid (vt joonis L2-1 ja L2-2).



Joonis L2-1. Vaakumkuivatus-immutusautoklaav



Joonis L2- 2. Emulgaator immutipaakidega

8. Immutusprotsessi läbiviimiseks uue emulsioonimmutiga kasutati järgmist tehnoloogilist režiimi: algvakumeerimine jääkrõhul 100 mbar 0.5 tundi; surveimmutus survel 12.5 bar 1 tund; järelvakumeerimine jääkrõhul 100 mbar 0.5 tundi.

9. Kaitseimmutatud katsekehadele määrati immuti neeldumine, mille normatiivseks piiriks võeti 200 kg/m^3 , keskmine immutussügavus, toimeainete väljapestavus ja immutatud puidu biokindlus 3 erineval meetodil. Osadele katsekehadele määrati ka pinnaomadused ja punduvus vees.

10. Kaitseimmutatud puidu biokindluse määramisel Läti Puidukeemia Instituudis EN113, EN73 ja EN84 järgi selgus, et uus emulsioon tagab puidu efektiivse kaitse puitulagundavate seente eest (massikadu vähem kui 3 %) ja puitvärivate seente (hallituse) eest. Uus emulsioonimmuti on hallitusseente tõrjel ca 30% efektiivsem kui samades tingimustes Tanlith E baasil valmistatud emulsioon.

11. Minimaalse õlikogusega (2%) emulsioonimmuti toimeainete väljapestavus immutatud puidust on võrreldes vesilahusega ligikaudu 1,5 korda väiksem. Õlikoguse suurendamisega emulsioonis võib väljapestavust veelgi rohkem vähendada..

12. Saematerjali immutamisel on võimalik saavutada suurem immuti neeldumine võrreldes ümarpuidu immutamise, mis on seletatav saematerjali suurema eripinnaga. Kasutatud immutusrežiim võimaldab saematerjalil maltspuidu läbiimbumist 95-100% ulatuses.

13. Rakendusürituse käigus välja töötatud lahenduse kohta on väljastatud kasuliku mudeli tunnistus "Männipuidu kaitseimmutuse meetod".

14. Uue emulsioonimmutiga immutatud puidu värvuskarakteristikud ei erine nimetamisväärselt immutamata puidu värvuskarakteristikutest. Immutatud puidu värvimine vesipõhjalise värviga ning värvikihi kvaliteedi hilisem võrdlus immutamata puidu värvikihi kvaliteediga andis võrdse tulemuse nii värvikihi adhesiooni kui ka ilmastikukindluse osas.

15. Puitulagundavate seente suhtes efektiivne kaitseimmuti koostis, mis sisaldab 3,5% booriühendeid, 2% rapsiõli ja 2% happeõli, on ligikaudu 30% odavam võrreldes Tanalith E vesilahusega.

Lisa 3

PUIDUKAITSE EESTI-EUROOPA STANDARDID

EVS-EN 84 Puidukaitsevahendid. Töödeldud puidu kiirendatud vanandamine enne bioloogilist katsetamist. Leostamisprotseduur.

EVS-EN 212 Puidukaitsevahendid. Puidukaitsevahendite ja immutatud puidu proovivõtu ja analüüsiks ettevalmistuse üldjuhised.

EVS-EN 252 Välikatsemeetod puidukaitsevahendi suhtelise kaitsevõime määramiseks vahetel kokkupuutel pinnasega.

EVS-EN 275 Puidukaitsevahendid. Kaitsevõime määramine laevaoherdite vastu.

EVS-EN 330 Puidukaitsevahendid. Välikatsemeetod puidukaitsevahendi suhtelise kaitsevõime määramiseks, kui puidukaitsevahendit kasutatakse kattekihi all ning see ei puutu kokku pinnasega: L-ühendusmeetod (puittala jätkamise meetod).

EVS-EN 335-1 Puidu ja puitmaterjalide vastupidavus. Bioloogiliste ohuklasside määratlus. Osa 1: Üldsätted.

EVS-EN 335-2 Puidu ja puitmaterjalide vastupidavus. Bioloogiliste ohuklasside määratlus. Osa 2: Rakendus täispuidule.

EVS-EN 335-3 Puidu ja puitmaterjalide vastupidavus. Bioloogiliste ohuklasside määratlus. Osa 3: Rakendus puitplaatidele.

EVS-EN 350-1 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Täispuidu loomulik vastupidavus. Osa 1. Puidu loomuliku vastupidavuse katse- ja liigituspõhialuste juhised.

EVS-EN 350-2 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Täispuidu loomulik vastupidavus. Osa 2. Euroopas oluliste valitud puiduliikide loomuliku vastupidavuse ja töödeldavuse määramise juhised.

EVS-EN 351-1 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Kaitsevahenditega töödeldud täispuit. Osa 1: Kaitsevahendi imbumissügavuse ja neeldumise liigitus.

EVS-EN 351-2 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Kaitsevahenditega töödeldud täispuit. Osa 2: Proovivõtu juhised kaitsevahenditega töödeldud puidu analüüsiks.

EVS-EN 460 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Täispuidu loomulik vastupidavus. Juhised puidu vastupidavusnõuete kohta ohuklassides.

EVS-EN 599-1 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Bioloogiliste katsete alusel määratud profülaktiliste puidukaitsevahendite kaitseomadused. Osa 1: Tehnilised nõuded vastavalt ohuklassile.

EVS-EN 599-2 Puidu ja puittoodete vastupidavus. Bioloogiliste katsete alusel määratud profülaktiliste puidukaitsevahendite kaitseomadused. Osa 2: Liigitus ja märgistamine.

CEN/TS 1099 Vineer. Bioloogiline vastupidavus. Juhised vineeri erinevates kasutusklassides kasutamise hindamiseks.

KIRJANDUS

1. Barry A. Richardson. Wood Preservation. E & FN SPON, 1993, 227 pp.
[TTÜ:VB-71094]
2. P.Sergovski, A.Rasev. Hidrotermitseskaja obrabotka i konservirovanije drevesinõ. M,1987 (v). 272-318 pp
3. Stan T.Lebow, Wood Preservation. Wood Handbook, Chapter 15. Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010