

ALTERNATIIVSEID SOOJUSTUSMATERJALE PUITKARKASSHOONETELE

Puitkarkasshoonetele alternatiivseid soojustusmaterjale otsides võib pilk jääda peatuma järgmistele toodetele: lina- või kanepivill, saepuru või hõõvlilaast ja tselluvill.

Osa eespool loetletud materjalidest on uudsed, osa unustusehõlma vajunud vanad, mõned neist leiavad kasutust praegu, kuid omavad väikest turuosa. Kõiki neid aga iseloomustavad taastuv tooraine ja tootmise seisukohalt madal energiamahukus.

Lina- ja kanepivill

Lina- ja kanepikiust villad kui soojustusmaterjalid on viimastel aastatel kõneainet pakkunud kogu Euroopas. Peamised tootjariigid on Austria, Belgia, Holland, Prantsusmaa, Saksamaa, Šveits, Tšehhi. Saksamaal hakati linavilla tootma juba 1980. aastate lõpus. Ühelt poolt on sellest huvitatud põllumehed, kes saavad seeläbi mitmekesistada oma toodangut, teiselt poolt tarbijad, kes soovivad kasutada ökoloogilisi materjale. Soomes on linapõldude all ca 3000 ha, kanepit kasvatatakse ca 100 hektaril.

Linakiust pressitud soojutusvill



Eestis kasvas lina 2000. aastal vaid mõnesajal hektaril.

Ühelt hektarilt on võimalik saada ca 50 m³ lina- või kanepivilla. Villa tavaline tihedus on ca 30 kg/m³, aga valmistatakse ka 35...80 kg/m³ tihedusega soojustusmaterjale. 120 m² suuruse eramu soojustamiseks kulub ca 100 m³ soojustusmaterjali.

Villa tihedusest sõltub tema soojajuhtivus, õhujuhtivus ja soojustuse kokkuvajumine aja jooksul. Tiheduse kasvades piirides 15...60 kg/m³, villade soojaerijuhtivus algul väheneb ning hakkab seejärel uuesti suurenema. Ka õhujuhtivus alaneb tiheduse kasvades, vähendades sellega soojustusesise konveksioonivoolu võimalust.

Soojustusmaterjaliks kasutatavad taimed koristatakse põllult sügisel või kevadel. Kui linakoristus jäetakse kevadeks, siis seemned eemaldatakse neilt ikkagi sügisel, varakevadeks on taim kuivanud. Väljas



Kanepikiust soojutusvill

talvitunud taimede kiude on hõlpsam töödelda.

Lina- ja kanepikiust valmistatakse nii plaat- kui ka puistevilla ning palkmajade tihendusvilti. Linast ja kanepist puistevilla tootmiseks sobib üks ja seesama tehnoloogia. Plaatide tegemiseks kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid: ühel juhul asetsevad villa kiud samasuunaliselt nagu mineraalvilladel, teise tehnoloogia puhul paiknevad taimekiud kaootiliselt ja villaplaat pressitakse soovitud mõõtu. Kiu pikkus villas on 8...60 mm ja läbimõõt 8...30 µm. Palkmajade linavildi tootmiseks rakendatakse nõeltööstustehnoloogiat.

Kiudude sideaineks on karbülitärklisepõhised liimid, polüetüleen või polüester. Tärklis võib kõrgetel niiskustasemetel hakata lenduma, samas pole plastsidained mõnede tarbijate arvates piisavalt ökoloogilised. Linavildi nõeltööstuse korral sideaineid ei kasutata.

Taimevillade puhul valitseb oht hallituse tekkeks, nii nende valmistamise protsessis kui ka hiljem, kasutamise ajal. Töötlemata linavillas ei teki hallitust, kui suhteline niiskus

püsib alla RH 75%. Hallituse vastu võideldakse mitmesuguste lisanditega: booraksi, boorhappe, ammooniumpolüfosfaadiga, mis on mõjusad kunni suhtelise õhuniiskuseni RH 86%. Linavilla lisatakse ca 19% ja kanepivilla ca 13% booriühendeid. Kevadel korjatud saagist valmistatud toodang on hallitusele vähem altis kui n-õ sügiskorje toodang.

Hallituse kasvu ja bioloogilise lagunemise ehk mädanemise vältimiseks tuleb täita järgmisi nõudeid:

- takistada liigniiskuse sattumist piirdesse;
- tagada piirdesse sattunud liigniiskuse kiire väljakujumamine.

Töötlemata lina süttimistemperatuur on >280 °C, liim- ja vahaained haihtuvad aga juba üle 60 °C juures. Tulekindluse parandamiseks lisatakse villale booriühendeid (nt booraksit, polüboori, boorhapet) või fosfaate (nt ammooniumfosfaati). Süttimiskriteeriumi kohaselt peaks linavillas olema vähemalt 13% booriühendeid. Vaatamata lisaainetele, ei saa taimevillasid tuletõrkeisolatsioonina piirdes kasutada.

Lina- ja kanepivillade soo-



Linakiust soojustusvill

jajuhtivus on mineraalvilladega samas suurusjärgus. Soojaerijuhtivus tõuseb niiskussisalduse ja temperatuuri kasvades. Helsingi ja Tampere tehnoloogiaülikoolis tehtud uuringute järgi on 30 kg/m³ tihedusega linavilla soojaerijuhtivus $\lambda_{10} = 0,039$ W/m·K; 45 kg/m³ tihedusega linakiust puistevilla $\lambda_{10} = 0,045$ W/m·K; kanepikiust puistevilla $\lambda_{10} = 0,043$ W/m·K. Soojaerijuhtivus väheneb temperatuuri langedes peaaegu lineaarselt. Kevadel korjatud saak annab peenemad kiud, mistõttu sellest valmistatud vill on ca 20% väiksema soojaerijuhtivusega.

Õhujuuhtivus sõltub materjali tihedusest, olles vahemikus 30...810 × 10⁻⁶ m³/m·s·Pa. Niiskusjuhtivus sõltub materjali niiskussisaldusest: kuiva materjali niiskusjuhtivus on väiksem ja see suureneb niiskussisalduse kasvades. Näiteks 39 kg/m³ tihedusega linavilla niiskusjuhtivus on RH 35% juures $\delta_p = 75 \cdot 10^{-12}$ kg/m·s·Pa ja RH 80% juures $\delta_p = 240 \cdot 10^{-12}$ kg/m·s·Pa.

Suurim erinevus lina- ja kanepivillade ning mineraalvillade (klaas- ja kivivillad) vahel on nende niiskustehnilises käitumises: taimekiust soojustusmaterjalid on suurema niiskusmahtuvusega kui mineraalvillad. Näiteks õhu suhtelise niiskuse RH 75% juures mahutab linavill enesesse ligikaudu seitse korda rohkem niiskust kui mineraalvillad. Lisaks suuremale niiskusmahtuvusele on linavillal ka tasakaaluniiskuse

saavutamise aeg pikem. See tähendab, et materjal märgub aeglasemalt, mis aitab tal üle elada lühiajalisi suuremaid niiskuskoormusi. Analoogselt märgumisega toimub ka kuivamine aeglasemalt. Saepuruga võrreldes on linavillal väiksem niiskusmahtuvus ja ta saavutab tasakaaluniiskuse kiiremini. Näiteks: 39 kg/m³ tihedusega linavill seob õhu suhtelise niiskuse kasvades RH 65% → RH 83%-ni niiskust 1,3 kg/m³; saepuru (tihedusega ~170 kg/m³) suudab samas suhtelise õhu niiskuse muutmise vahemikus siduda 10 kg/m³ õhuniiskust. Kiirem niiskuse sidumis-loovutamiseomadus tuleneb peamiselt linavilla väiksemast tihedusest. Kevadkorje toodang seob niiskust ja imab vett vähem kui sügiskorje oma. Niiskusmahtuvust ja kapillaarset imamisvõimet vähendavad ka tärkliis ja boorilisandid; polüestersideainetel ja ammooniumpolüfosfaatidel sellekohast märkimisväärset mõju pole.

Analoogselt mineraalvilladega peab ka lina- ja kanepivilladest soojustuse puhul olema seespool terve ning ühtne õhu- ja aurutõke ning väljaspool tuuletõke. Kuna lina- ja kanepivillad on suurema niiskusmahtuvusega, võib aurutõkke niiskusjuhtivuses teha mõningaid järeleandmisi. Kuivades siseruumides tohib õhu- ja aurutõkkeks kasutada plastkile asemel bitumeeritud või lamineeritud paberit. Pabertoodete puhul tuleb aga eriti hoolikalt

jälgrida, et need paigalduse käigus ei rebeneks, plastkile on sellest suhtes kindlam.

Tuuletõkkematerjaliks võib lina- ja kanepivillade puhul kasutada nii puitkiust kui ka mineraalvilladest tuuletõkkeplaate. Eelistada tuleks viimaseid, sest neil on suurem niiskusjuhtivus ja parem soojataktus. Mineraalvillad ei mängi ka niiskussisalduse muutudes nii palju kui puitkiust tuuletõkkeplaadid.

Läbi seina kulgevat niiskusoogu saab suuremate niiskuskoormuste puhul vähendada, tõstes õhu- ja aurutõkke aurutakistust. Piirde niiskusrežiimi parandavad oluliselt tuuletõkke soojataktuse tõstmine ja aurutakistuse alandamine. Neid aspekte tuleb arvestada ka teiste soojustusmaterjalide puhul.

Saepuru ja hõövlilaast

Nende kohta kehtib vanasõna: iga uus on hästi unustatud vana. Saepuru ja hõövlilaast on täiesti kõlblikud soojustusmaterjalid, kui nende omadusi õigesti arvestada.

Üldiselt eeldab saepuru paksemat soojustuskihti ja selle vajumisel saepuru juurde lisamise võimalust.

Saepuru on oma olemuselt puhas materjal ja selle tootmiseks ei kulutata palju lisaenergiat. Tegemist on puidutõstuse jäätmetega. Kõige rohkem mõjutavad saepuru hinda ja energiamahukust tema kuivatamine (kuivatamata saepuru ei tohi kasutada) ning transport. Ent kasutades päikese ja tuule "tasuta" energiat, ei nõua ka kuivatus alati suuri lisakulutusi. Saepuru taotluslik algniiskus on 13 ± 2% (seintes 11%, vahe- ja katuslagedes 14%). Maksimaalselt kuiv saepuru vajub vähem.

Välitingimustes kuivatatakse saepuru väikestes hunnikutes, kust seda kiht-kihilt korjatakse. Saepuru saab kuivatada ka vilja- või puidukuivatites. Välisõhu suhteline niiskus ei tohi olla kõrgem kui

RH 70%. Kõrgematel niiskustel tuleb kuivatusõhu temperatuuri eelnevalt 2...5 °C võrra tõsta, see suurendab küll energiakulu, kuid lühendab kuivatusaega ligi poole võrra. Puidu- või mööblitööstuses tekkivat saepuru pole tavaliselt vaja kuivatada, sest seal kasutatakse kuiva puitu, tuleb vaid kontrollida, et saepuru poleks punkris seistes liialt niiskunud.

Hõövlilaast kuivab saepurust kiiremini, aga seda on seinas raskem tihendada. Kogemuspäraselt annab hea tulemuse saepuru ja hõövlilaastu 1:1 segu, mis vajub suhteliselt vähe.

Piiretes, mis on projekteeritud soojustamiseks mineraalvilladega, ei saa saepuru n-õ ühele kasutada. Nõuetekohase soojajuhtivuse saavutamiseks peab saepurusoojustus olema paksem ning konstruktsioon võimaldama saepuru lisamist. Piirde konstruktsioonis ei tohi olla soojustuse paigaldamist raskendavaid diagonaalelemente. Hoone jäikuse saab tagada tugevamate tuuletõkkeplaatidega, mis on vajalik ka saepuru tihedaks tampimiseks. Enne soojustustõid peab hoonel olema peal vettpeidav katus (ainult aluskattest ei piisa) ning ees ukseid ja aknad.

Saepuru- ja hõövlilaastust soojustust paigaldatakse mitte paksemate kui 20 cm kihtidena, et soojustuse tihendamine oleks efektiivne. Kohtades, kus saepuru ei saa vajalikul määral tihendada (nt aknaalune seinosa vms), peab kasutama siiski mineraalvilla. Seinaga või aknaaluse ülaosa võib täita elastse mineraalvillaga, mis täidab saepuru vajudes tekkivad tühemikud. Avatud põõningu puhul saab saepuru seinaga ülaosas hiljem täiendavalt tihendada. Kogemuste ja mõõtmiste kohaselt on saepuru vajumisulatus ca 10...15% soojustuse kõrgusest. Karkassi tugevus- ja läbivajumisarvutustes tuleb arvestada saepuru suurema omakaaluga.

Tihendatud ja kuiva saepuru

	Linavill	Kanepivill	Saepuru	Höövliilaast	Tselluvill
Tihedus [kg/m ³]	15...30...80	25, 110...150	130...220	80...200	30...45...65
Soojaerijuhtivus λ [W/m·K]	0,049...0,033	0,055...0,033	0,062...0,072	0,055...0,065	0,041...0,050
Veeaurujuhtivus $d_p \times 10^{-12}$ [kg/m·s·Pa]	75...240 (RH 35% → 80%)	90 (RH 44%)	50...160 (RH 35% → 85%)	50...120 (RH 35% → 85%)	50...300 (RH 35% → 85%)
Õhujuhtivus $\times 10^{-6}$ [m ³ /m·s·Pa]	30...810	33...750	11...300	45...350	45...200
Tooted ja paigaldusviis	puistevill, plaatvill, vilt	puistevill, plaatvill	<20 cm kihtidena Kuiv materjal!!	<15 cm kihtidena Kuiv materjal!!	puistevill (märgpaigaldus, kuivpaigaldus), plaatvill

Tabelil on suunav iseloom, kuna kõik näitajad sõltuvad materjali tihedusest ja ümbritsevast keskkonnast (temperatuur, õhuniiskus) ja võivad erineda ka tülnevalt toote valmistaja tootmistehnoloogias.

Peamiste nn ökoloogiliste soojustusmaterjalide tehnilised näitajad

ru soojaerijuhtivus $\lambda = 0,07$ W/m·K; höövlilaastu soojaerijuhtivus $\lambda = 0,06$ W/m·K – soojaerijuhtivus on ligi 1,6 korda suurem kui mineraalvillal, samas võib saepuru olla tunduvalt odavam. Saepuru ja puidu soojaerijuhtivuste väikese erinevuse tõttu on külmasildade probleem saepurusoojustuse puhul väiksem kui näiteks mineraalvillsoojustusega tarinditel.

Saepuru ja höövlilaastu soojajuhtivus sõltub otseselt nende niiskussisaldusest ja tihedusest. Höövlilaastu soojajuhtivus kasvab laastude tiheduse 2,5-kordse tõusu korral ca 24%. Kuiva, 13%-lise niiskusega saepuru soojajuhtivus on ligi 1,4 korda väiksem kui märja, 105%-lise niiskusega saepuru soojajuhtivus. Soojaerijuhtivus on väiksem madalamatel temperatuuridel, temperatuuri tõustes vahemikus –30...+30 °C kasvab soojaerijuhtivus ca 20%, kui materjali niiskustase ei muutu.

Seintes, kus on 200 mm paksune saepurusoojustus ning tuuletõkkena ja siseviimistluseks kasutatud 25 mm puitkiudplaate, kujuneb soojajuhtivuseks $U = 0,28$ W/m²·K. Höövlilaastust soojustuse korral on $U = 0,26$ W/m²·K. Katuslagedes või põõningu vahelaes peab soojustuse paksus

olema saepuru korral >300 mm ja höövlilaastu korral >260 mm. Sel juhul on soojajuhtivus $U = 0,22$ W/m²·K. Kui seina paksust pole võimalik suurendada, võib nõuetest suuremat soojajuhtivust kompenseerida katuslae väiksema soojajuhtivusega. Hoone kaalutud keskmine soojajuhtivus ei tohi olla normatiivsest suurem; suurem soojajuhtivus ei tohi välispiirete sisepinna temperatuuri alandada sedavõrd, et see hakkaks kahjustama sisekliimat (külmakiirgus, hallitus, niiskuse kondenseerumise).

mine).

Kõige lihtsam on saepuru kasutada katuslagede ja põõningute soojustamiseks. Seal ei valmista saepuru vajumine ega konstruktsiooni paksenemine muret, samas täidab saepuru korralikult kõik talastiku nurgad. Tarindite kujundamisel tuleb tähelepanu pöörata katuslagede piisavale tuulutusele, paks soojustuskiht ei tohi tuulutavasid sulgeda.

Hea soojus- ja niiskushälvituse ning heliisolatsiooni võimega saepuru on ka sobiv vaheseinte ja vahelagede täite-

materjal.

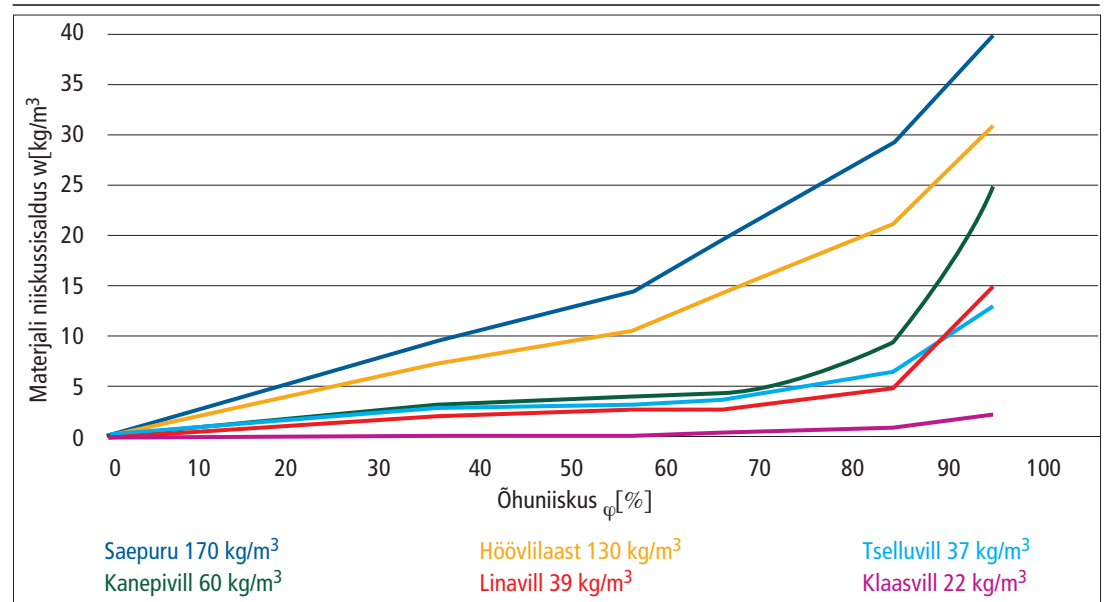
Saepuru ja höövlilaastu kui soojustusmaterjali puudused:

- pole kujunenud ketti tootjast tarbijani;
- kuivatita kuivatamine võtab kaua aega ja tulemus sõltub ilmastikust;
- saepuru vajumine;
- põlev ja neutraalsus näriliste ning putukate suhtes.

Tselluvill

Tselluvilla hakati USA-s ja Kanadas tootma juba 1920. aastatel, Soomes 1979 ja Eestis eel-

Graafik 1
Soojustusmaterjalide adsorptsioonigraafikud





Tselluloosikiust tuuletõkkeplaat

mise sajandi viimasel kümnendil. Tselluvillast valmistatakse peamiselt puistevilla, aga samuti plaatvilla.

Tselluvilla tooraineks on peenestatud makulatuur või jahvatatud puitkiud, mis moodustab soojustuse massist ca 80...90%. Tule- ja hallitusekindluse saavutamiseks lisatakse sellesse booriühendeid, näiteks booraksit või boorhapet (ca 20% soojustuse massist ehk ca 0,5...1,0% soojustuse

mahust). Tulekahju korral ei põle tselluvill otsese leegiga, vaid söestub. Söestumiskiirus on ca 50...150 mm/h. Soomes on antud heakskiit tselluvilla kasutamiseks soojustusena kuni kaheksakorruseliste TP-1 hoonete katuslagedel või pööningutel, kui ta paikneb betoonpaneelil.

Tselluvilla paigaldatakse nii kuivana kui ka märgmenetluse teel. Esimesel juhul kasutatakse spetsiaalset puhurit,

millega saab materjali transportida kuni 160 m kaugusele ja 40 m kõrgusele; maksimaalne tootlikkus on keskmiselt 30 m³/tunnis. Horisontaalpindele tselluvill vajub, mistõttu paigaldatav soojustuskiht peaks olema projekteeritud ca 20% paksem.

Märgmenetlust kasutatakse peamiselt seinte soojustamisel. Veega niisutatud tselluvilla mass pritsitakse puitkarkassi. Kuivamisel seovad liimained kiude nii omavahel kui ka ümbritseva karkassiga, tänu millele soojustus vajub vähem. Märgmenetlust arendatakse tarviliku veehulga vähendamise suunas.

Märgpaigaldusel tuleb arvestada, et soojustus oleks enne viimistluse paigaldamist korralikult kuivanud, +20 °C juures võtab see seinu puhul aega 5...6 nädalat. Protsessi kiirendamiseks on soovitatav ruume korralikult kütta ja tuulutada või kasutada spetsiaalseid õhukuivateid. Kui soojustus paigaldatakse hilissügisel,

jääb talvel pool soojustusest ja selle kuivamisega lükkub kevadesse ja pikeneb märgatavalt. Enne õhu- ja aurutõkke paigaldamist ja viimistlustööd peab tselluvilla niiskussisaldus olema <12%.

Kuivpaigaldusel on puistevilla tihedus 30...40 kg/m³. Kaldkonstruktsioonides peab tihedus olema >45 kg/m³ ja seintes >65 kg/m³. Märgmenetlusega seintele pritsitava soojustuse tihedus on ca 35...50 kg/m³, plaatvilladel ca 50 kg/m³.

Vanu puithooneid renoveerides tuleb märgmenetluse teel soojustuse paigaldamisel olla väga ettevaatlik, sest selles protsessis niiskub tahes-tahtmata ka hoone puitkarkass. Kui vana puit peidab endas näiteks seenkahjustusi, võib varjusurmas mädanikseen saada täiendavast niiskusest uut elujõudu.