



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

KANEPILUUPLAADI JA PUITLAASTPLAADI OMADUSTE VÕRDLUS

COMPARING THE PROPERTIES OF HEMP AND WOOD PARTICLEBOARDS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Aivo Närep

Üliõpilaskood: 06091KAOB

Juhendaja: Heikko Kallakas

Tallinn, 2017.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Sisukord

Jooniste loetelu	5
Tabelite loetelu	6
Sissejuhatus	7
1 Kirjanduse ülevaade	8
1.1 Kanep	8
1.1.1 Kanepiluu.....	10
1.1.2 Kanepikiud.....	11
1.2 Puit.....	13
1.2.1 Puidukiud.....	13
1.2.2 Puidulaast.....	15
1.3 Plaatmaterjalide tüübid	17
1.4 Kanepist plaatmaterjalide kasutus.....	18
1.5 Kanepist plaatmaterjalid ja nende omadused.....	19
2 Materjalid ja meetodid.....	20
2.1 Materjalid.....	20
2.2 Meetodid	21
2.2.1 Kanepiluu ja puitlaastplaatide valmistamine	21
2.3 Katsetamine.....	25
2.3.1 Katsete plaan.....	25
2.3.2 Tiheduse määramine.....	26
2.3.3 Paindeomaduste määramine	26
2.3.4 Kruvide teljesuunalise väljatõmbe vastupanu määramine.....	27
2.3.5 Tõmbeomaduste määramine.....	28
2.3.6 Veeimavuse ja pundumise määramine	29

2.3.7	Õhuvoolu läbilaskvuse määramine.....	31
3	Tulemused ja analüüs	33
3.1	Tihedus.....	33
3.2	Paindeomadused	34
3.3	Kruvide teljesuunalise väljatõmbe omadused.....	36
3.4	Tõmbeomadused	37
3.5	Veeimavus ja pundumine.....	38
3.6	Õhuläbilaskvus.....	40
	Kokkuvõte	43
	Summary.....	44
	Kasutatud kirjandus	45

Jooniste loetelu

Joonis 1. Tööstusliku kanepi emastaim [3]	9
Joonis 2. Kanepivarre ristlõige [5]	9
Joonis 3. Kanepitaimede kasutusvaldkonnad erinevates valdkondades [6]	10
Joonis 4. Kanepiluu [8].....	11
Joonis 5. Kanepikiust valmistatud kangad [10].....	12
Joonis 6. Puitlaastplaadid [14].....	17
Joonis 7. Laastplaadi hüdrauliline lamepress [16].....	18
Joonis 8. Kanepiluuplaat.....	19
Joonis 9. Vasakul Casco 2535 kõvendi ja paremal Achema KF-FE karbamiid- formaldehüüdvaik.....	21
Joonis 10. Kanepiluuplaadi valmistamise protsess.....	22
Joonis 11. Survejõud erinevatel laastplaatidel.....	24
Joonis 12. Keskmine survejõud	24
Joonis 13. Katsekehade lahtilõikuse plaan.	25
Joonis 14. Tõmbetugevuse määramise katse	29
Joonis 15. Vasakul katsekeha enne ja paremal pärast vee alla panemist	30
Joonis 16. Vasakul katsekeha kinnitamine seadmesse ja paremal katseseade	32
Joonis 17. Laastplaatide keskmine tihedus.....	34
Joonis 18. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised paindetugevused	35
Joonis 19. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised elastsusmoodulid	35
Joonis 20. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi teljesuunalise väljatõmbe vastupanu	36
Joonis 21. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised tõmbetugevused	37
Joonis 22. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmine pundumine.....	39
Joonis 23. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmine veemavus.....	39
Joonis 24. Kanepiluuplaadist katsekehad peale veemavuse ja pundumise katset	39
Joonis 25. Puitlaastplaadi, kanepiluuplaadi ja kanepikiudplaadi märgmeetodi õhuläbilaskvus	41
Joonis 26. Puitlaastplaadi, kanepiluuplaadi ja kanepikiudplaadi märja meetodi keskmised õhuläbilaskvused	42

Tabelite loetelu

Tabel 1 Kanepiluu tähtsamad komponendid [4].....	11
Tabel 2 Casco 2535 kõvendi koostise nimekiri [17]	20
Tabel 3 Casco 2535 kõvendi füüsilised ja keemilised omadused [17]	20
Tabel 4 Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaigu füüsilised ja keemilised omadused [18].....	20
Tabel 5 Pressi surve	23
Tabel 6 Katsete plaan	25
Tabel 7 Katsekehade tihedus	33
Tabel 8 Laastplaatide tihedus	33
Tabel 9 Puitlaastplaadi painde tulemused	34
Tabel 10 Kanepiluuplaadi painde tulemused.....	35
Tabel 11 Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi kruvi väljatõmbe katse tulemused	36
Tabel 12 Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi tõmbeomadused	37
Tabel 13 Laastplaatide pundumine ja veeimavus	38
Tabel 14 Puitlaastplaadi õhuläbilaskvus.....	40
Tabel 15 Kanepiluuplaadi õhuläbilaskvus.....	40
Tabel 16 Puitlaastplaadi keskmine õhuläbilaskvus	41
Tabel 17 Kanepiluuplaadi keskmine õhuläbilaskvus	41

Sissejuhatus

Tänapäeva modernses maailmas pööratakse aina enam tähelepanu taaskasutatavate ja ökoloogiliste materjalide kasutamisele. Lisaks tekstiili- ja farmaatsiatööstusele on hakanud ka ehitustööstus rohkem kaaluma alternatiivse materjaline kanepi kasutamist. Tööstuskanep, mis 1920-ndatel oli baltimaades laialt levinud, aga vahepealsel ajal väga vähe kasutatud kultuurtaim, on tänu ühtsele Euroopa Liidu direktiivile tagasi Eesti põldudel. Esialgu siiski veel suhteliselt väikeses mahus. Kanep on oma füüsikalistelt omadustelt üks maailma tugevamaid taimi ning väga kiire kasvuga. Ühelt hektarilt põllumaalt saab neli korda rohkem kanepisaaki, kui saab sama suurelt alalt puitmassiivi. Seega on loogiline, et kanep leiab tulevikus laialt kasutust erinevates ehitussektorites.

Tööstuskanepil on mitmeid erinevaid kasutusalasid. Sellest saab toota paberit, kangast, biolagunevaid tarbeesemeid, tervislikku toitu ja loomulikult erinevaid tooteid ehitussektorile. Tööstuskanepil on suur potentsiaal asendada tuntumaid mittetaastuvaid toormaterjale, kuna selle kiud on tugevamad ja paindlikumad kui teiste taimede omad. Kanepist tehtavad ehitusmaterjalid on mittetoksilised, raskesti süttivad ning hallitusele ja kopitusele vastupidavad. Kanepiluu sobib hästi ehitusmaterjaliks. Kanepiluust valmistatakse ehitusplokke, mille sideaineks on savi või lubi. Kanepiluud saab kasutada ka puistematerjalina vahelagedel või krohvisegudes.

Käesoleva bakalaaurusetöö eesmärgiks oli võrrelda kanepiluuplaatide ja puitlaastplaatide omadusi. Töö esimeses osas antakse ülevaade kanepitaime omadustest ja kasutusest plaatmaterjalidena. Teises, töö praktilises osas valmistati kanepiluust kuumpressimise viisil kanepiluuplaadid ja puitlaastust puitlaastplaadid ning nendest plaatidest lõigatud katsekehadega teostati erinevaid füüsikalisi ja mehaanilisi katseid. Töö kolmandas osas esitatakse ja analüüsitakse töö praktilise osa tulemusi ning tehakse kokkuvõtte kanepiluuplaadi ja puitlaastplaadi omaduste erinevusest.

1 Kirjanduse ülevaade

1.1 Kanep

Kanep (*Cannabis sativa*) on üks vanimaid kultuurtaimi maailmas, seda on sajandeid kasvatatud vastupidava kiu ja õlirikaste seemnete saamiseks. Sellest taimest on inimesed saanud aastatuhandete vältel kiudu ja kiust kangast või nõöri meisterdanud [1].

Kanep on tugev püstine kiirekasvuline üheaastane rohttaim, mis kuulub kanepiliste sugukonda. Looduslikult kasvab see Aasia mägiipiirkondades, eriti Hiinas, Mongoolias ja Indias on ta iidne kiutaim. Hiinas on seda kultiveeritud likikaudu 4500 aastat. Uurijate arvates aga babüloomlased, egiptlased ja foiniiklased ei tundnud kanepit [2]

Kanepit on Eestis kasvatatud alates muinasaja lõpust. Kanepikasvatus kadus Eestis pärast Teist maailmasõda. Uuesti on hakatud kanepikasvatusega Eestis tegelema alates 2004. aastast, seda tänu Eesti seadusandluse ühtlustumisele Euroopa Liidu omaga [1].

Kanep, kui kahekohaline tuultolmleja taim, koosneb isas- ja emastaimedest. Isastaimed on lühikesed, nende ülemine pool on harunenud ja õisikud asuvad harude ladvas. Seevastu on aga emastaimedel harunenud vaid varre ülemine neljandik, kusjuures kõrvalharud jäävad lühikeseks. Isastaimed saavad emastaimedest (joonis 1) koristusküpseks umbes 1 kuu varem, mistõttu need varem käsitsi vahelt välja koristatakse. Suuremamahulisel kasvatamisel koristatakse taimed ühel ajal, kuid siis peab täpselt ära tabama õige hetke, millal isastaimede kiud on veel kõlblik ja emastaimede kiud juba kasutusvalmis [2].

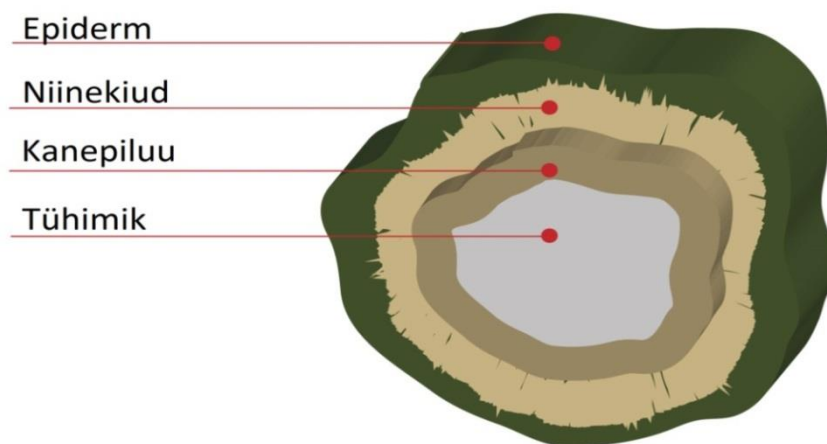
Kanep on maailma kõige tugevama ja pikema naturaalse kiuga taim, mis võib kasvada 4-5 meetri pikkuseks. Igapäevases kasvatuses hoitakse taimede kasv madalamal kui on seda looduses kasvavatel taimedel, sest liiga pikad ja jämedad varred on raskesti koristatavad ning kiu saagikus ja kvaliteet langevad [1].

Lehed on sõrmjalt lõhestunud, vili sarnaneb päklikuga, mille värvus on hall või pruun. Kanepiseemned sisaldavad 30-34 % õli, mida enamasti kasutatakse söögiõliks, kuid seda kasutatakse ka keemiatööstuses erinevate toodete nagu laki ja värvi tootmiseks. Kanepit kasvatatakse soojas ja parajas kliimas ning ta vajab head mulda [2].



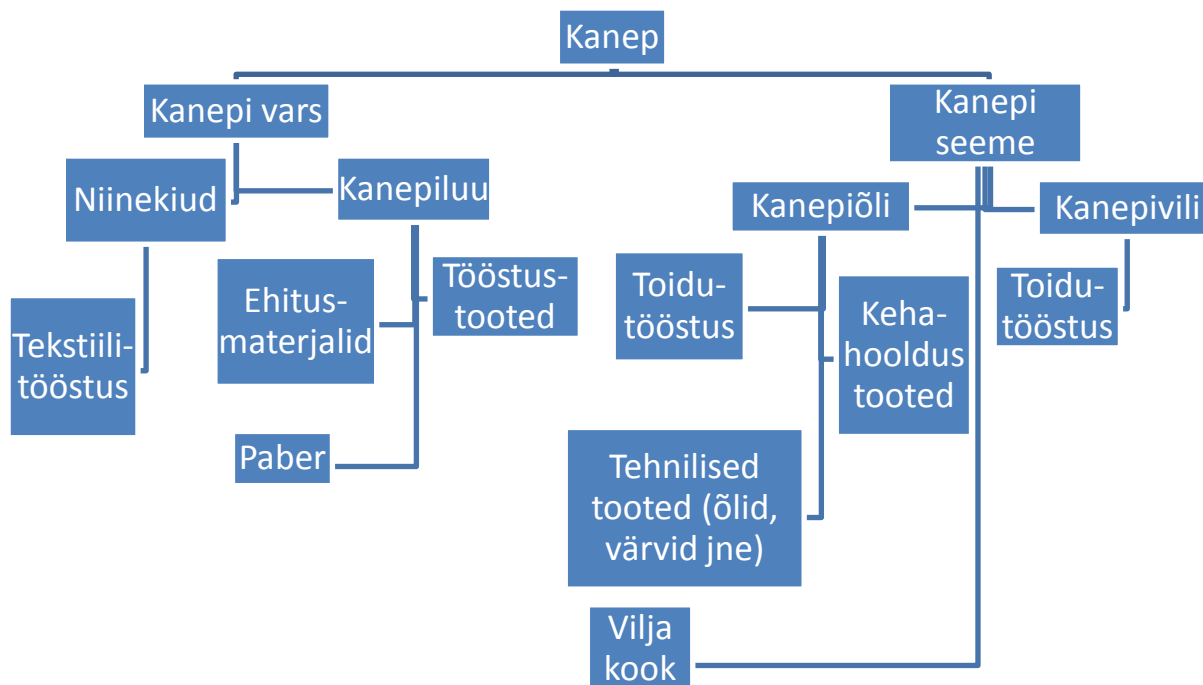
Joonis 1. Tööstusliku kanepi emastaim [3]

Tööstuskanepist taime vars koosneb suures plaanis kahest osast: pealmised kiud ehk niinekiud ning keskmine puitunud osa, mida nimetatakse kanepiluuks. Varre (joonis 2) välispinnal on kutiikula ja rohkete karvakestega kaetud epiderm. Seejärel tuleb kollenhüüm ning põhikude kiukimpude ringidega. Järgnevad kambium, puiduosa mitmesuguses suuruses soontega ning viimaks säsi. Viimase rakud lagunevad järk-järgult taime õitsemise ajaks ja varre tsesntrisse tekib õõnsus [4].



Joonis 2. Kanepivarre ristlõige [5]

Kanepitaime töötlemisel on võimalik saada kolme sorti tooteid – seemneid, kiudu, luud. Kanepiseemnetest saab omakorda veel valmistada õli ning neid jahvatades saab jahu. Kanepitaime kasutus erinevates valdkondades on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Kanepitaime kasutusvaldkonnad erinevates valdkondades [6]

1.1.1 Kanepiluu

Iga toodetud kanepikiu kilogrammi kohta tekib kaasproduktina 1,7 kg kanepiluid. Kanepiluu kõige suurem kasutusvaldkond on loomade, eriti hobuste, allapanu materjalina. Kanepiluu on suuteline endasse talletama niiskust neli korda rohkem oma kuivmassist. Pärast kasutust kõduneb kanepiluu suhteliselt kiiresti ning sellest saab kvaliteetset komposti [7].

Kanepiluust (joonis 4) saab valmistada ehitusmaterjale (erinevad plaatmaterjalid), paberit ja pappi. Kanepiluust valmistatakse ka ehitusplokke, mille sideaineks on savi või lubi. Seda saab kasutada puistematerjalina vahelagedel ja krohvisegudes. Kanepiluu lisab materjalile soojapidavust ja tugevust ning muudab krohvi pinnastruktuuri omapärasemaks vastaval

kanepiluu kogusele plaadi välimistes kihtides. Kanepiluu ehitus (tabel 1) koosneb trahheedest, parenhüümirakkudest ning puitliududest, mis transpordivad vett ja toitaineid, tagavad taimevarre jäikuse [4].



Joonis 4. Kanepiluu [8]

Tabel 1 Kanepiluu tähtsamad komponendid [4]

Nimetus	Kiu pikkus, mm	Kiu läbimõõt, µm	Tselluloos, %	Hemitselluloos, %	Pektiin, %	Ligniin, %	Ekstratiivained, %	Muud ained, %
Kanepiluu	0,5	25	37	16,5	5	21,8	8,9	10,8

1.1.2 Kanepikiud

Kanepikiud on eriti pikk, kasutatavaist looduslikest kiududest üks pikemaid, koosneb 0,5-5,5 cm pikkadest üksikkiududest. Kanepivars koosneb kuni 25 % ulatuses kiust. Lehtedest puhastatud varsi leotatakse 12-15 päeva, seejärel saab neist eraldada lahtist kiudu.

Kanep on üks tugevamaid ja ajale vastupidavamaid looduslikke kiudaineid. Kanepi tugeva ja niiskusele vastupidava omaduste tõttu valmistatakse temast laevaköisi, nõõre, kotte, presenti, tuletõrjevoolikuid jne [2].

Kiukanep lõigatakse vahetult pärast õitsemist, aga kindlasti varem kui seemned küpseks saavad. Kanepi varre ladvaosas on kiukimpe tihedamalt kui alumises osas ja kiusisaldus suurem, kõige rohkem kiudu on välimises kimburingis. Mida sissepoole, seda puitunumad ja vähem elastsed, lühemad ja väiksemates kiukimpudes on kiud. Niinekiud on olnud siiani majanduslikult tähtsamad ning kasutatavad erinevates ning kiududele suuremat lisaväärtust pakkuvamates valdkondades (tekstiilitööstus, komposiitmaterjalid jne.) kui kanepiluud.

Linakiuga võrreldes on kanepikiud jämedam, pikem ja tugevam. Tööstuskanepi pealmised kiud ehk niinekiud moodustavad kogu kanepivarrest kuni 25% [4].

Kanepikiust valmistatud kangad (joonis 5) omavad häid omadusi, need hoiavad sooja, kui on külm ja jahutavad, kui on palav. Kanepikiud on suure niiskuseimavusega, õhkuläbilaskev ja antibakteriaalne, mis on omaduste poolest hea allergikutele ja tundliku nahaga inimestele. Kanepikiust valmistatud tooted on väga vastupidavad. Korrekse töötlemise korral on kiudu suhteliselt lihtne eemaldada [9].



Joonis 5. Kanepikiust valmistatud kangad [10]

1.2 Puit

1.2.1 Puidukiud

Puidukiud on peeneks jahvatatud puit, millel on jahulaadne välimus. Puidukiud on klassifitseeritud suuruse järgi vahemikes 50-150 µm, 100-200 µm, 200-450 µm ja 250-700 µm. Mida suuremad on puidukiu osakesed, seda paremad on tavaliselt sulatatud komposiidi voolavus, madalam mõõtmete kahanemine ja kõrgem painde moodul. Puitkiud ei sula, aga pigem laguneb üle 190 °C temperatuuri juures. See on põhjustatud ligniini ja hemitselluloosi tundlikkusest temperatuuri suhtes ja sellepärast, et puhas tselluloos laguneb üle 240 °C [11].

Puitkiudplaadi (PKP) rahvakeelne nimetus on soome papp. Kasutatakse palju ehituses, mööbli- ja pakenditööstuses, kuna materjal on loodussõbralik, kerge, painduv ja hõlpsasti töödeldav [12].

Puitkiudplaate toodetakse puidukiududest, mis seotakse üksteisega kõrgel temperatuuril kokkupressimise ehk vildistamise teel. Antud protsess baseerub puidukiudude enda kleepumisvõimel ning sideaine lisamine pole seega tihti vajalik. Puitkiude toodetakse puiduosade mehaanilise peenestamise või lahustamise (defibrööris) meetodil. Puitkiudplaatide tööstuslikku tootmist alustati 1920-ndatel aastatel. Puitkiudplaatide osatähtsus on vähenenud laastplaatide turule tulemise ja arenguga.

Puitkiudplaatide liigid on jaotatud järgnevalt:

- Poorne kiudplaat – toodetakse õhkuivatusel märjast kiudpoognast;
- Poolkõva kiudplaat – toodetakse kuumpressimisel märjast kiudpoognast (paksus 9 või 12 mm);
- Kõva kiudplaat – toodetakse kuumpressimisel märjast kiudpoognast (paksus 3,2 mm).

Puitkiudplaatide tootmisprotsess:

- 1) Puitkiudplaatide tooraineks on ümarpuit või puitlaast. Ümarpuit tuleb peenestada laastudeks.
- 2) Defibröörimeetodit kasutades tuleb laaste soojendada defibrööri survesilindris auru käes. Puidukiud eraldatakse laastudest peale nende pehmendamist. Kui kiudusid on vaja veelgi peenestada, siis toimub see rafinööris peale vee juurdelisamist.
- 3) Kiumass segatakse keemiliste ainetega selleks ettenähtud spetsiaalses tünnis.

- 4) Peale kiumassi vedeldamist ja selle kontsentratsiooni reguleerimist vormitakse sellest jooksva lindi metallvõrgule või filterriidele kiudmatt.
- 5) Metallvõrgul nõrgub vesi kiumassist välja ning seejärel vormitakse sellest ühtlane kiudpoogen (toorplaat), mille pinnakiht kaetakse peenema kiumassiga.
- 6) Kõvade ja poolkõvade plaatide tootmisel saadetakse toorplaat transporttööril kuumpress-kuivatisse kuivama.
- 7) Peale kuumkuivatust ca 165 °C juures ja konditsioneerimist 8 % niiskussisalduseni juhitakse plaadid edasi mõõtusaagimisliinile.
- 8) Viimaks plaadid sorteeritakse ja vajadusel viimistletakse.

Poorsete kiudplaatide tootmisel ei kasutata presse, vaid märg kiudmatt kuivatatakse rullkuivatises õhu käes. Märjalt toodetud puitkiudplaatide puidukiud kleepuvad neis sisalduvate looduslike sideainete toimel ise kokku. Puitkiudplaatide üks pindadest on tavaliselt sile ja teine võrgustriline.

Kõva või õlidega immutatud puitkiudplaadi tehnilised andmed:

- Värvus on tumepruun või veidi heledam;
- Tihedus on 800...1050 kg/m³;
- Paksused varieeruvad 2,2 kuni 8,0 mm;
- Neisse on raske naelu lüüa ja kruvisid keerata.
- Õlidega immutatud plaadid on niiskus- ja kulumiskindlad.

Poolkõva puitkiudplaadi tehnilised andmed:

- Värvus on pruun;
- Tihedus on 600...800 kg/m³;
- Toodetakse paksustes 6,4 kuni 12 mm.

Poorse puitkiudplaadi tehnilised andmed:

- Värvus helekollane või –pruun;
- Tihedus 230...270 kg/m³;
- Toodetakse paksustes 13 ja 19 mm.

Puitkiudplaatide piki- ja põikisuunaline paisumine on tavatingimustel maksimaalselt 2 mm/m. Plaadi paksuse paisumistegur on ca 4 %. Puitkiudplaadid on hea mädanikukindlusega ja

vastupidavad ka mikroorganismide toimele. Puitkiudplaatide suhteliselt madal hind teeb need võrreldes teiste puitplaadi tüüpidega konkurentsivõimelisemateks.

Ehitistes kasutatakse puitkiudplaate järgmistel otstarvetel:

- Aluspõranda ja muldalaie ehitamiseks;
- Välisseinte vooderdamiseks;
- Siseseinteks (kõvad ja poolkõvad plaadid);
- Väliskatuse aluspindadeks ;
- Siselagedeks [13].

1.2.2 Puidulaast

Puidulaast on põhiliselt sama asi nagu puidukiud ainult, et puidulaastu ei saada jahvatamise teel, vaid see moodustub puu saagimise kõrvalproduktina. Puitlaast sisaldab tavaliselt osakesi suuruses 20 µm – 5 mm [11].

Puitlaastplaadid (joonis 6) koosnevad puitlaastudest ja adhesiivist, mis on omavahel kokku pressitud kõrge temperatuuri ja surve all. 1950-ndate aastate alguses alustati puitlaastplaatide tööstuslikku tootmist, mis oli tingitud puidutööstuse suurtest tootmisjäätmest. Sel perioodil avastati, et kasutades plaatide valmistamiseks ühesuguste mõõtmete ja kujuga laaste, võib toota väga erinevaid puittooteid. Näiteks madalakvaliteedilisest väikese läbimõõduga palkidest hakati tootma laastu, millest valmistatud plaadidel oli märgatavalt suurem tugevus ja kahjuritekindlus.

Puitlaastplaatide tehnilised andmed:

- Laastu paksus 0,5 mm, laius 3...15 mm, pikkus 20...50 mm;
- Liimi koguseks arvestatakse 4...12% laastu kuivkaalust;
- Tihedus 450...750 kg/m³.

Ligikaudne tugevuse alammäär:

- Paindetugevusele 15...20 Mpa (=N/mm²);
- Tõmbetugevusele risti pinnal 0,3...0,4 Mpa;
- Plaadi normaalpaksus 10...25 mm.

Puitlaastplaate toodetakse tavaliselt ühe-, kolme- või enamkihilistena, kusjuures kahe viimati nimetatud laastplaat tüübi pinnakihid valmistatakse peenema struktuuriga laastudest. Mida rohkem kihte laastplaadil on, seda tugevam on see plaat erinevatele füüsilistele jõududele.

Puitlaastplaatide omadusi mõjutavad tegurid:

- Laastu kuju, suurus, tihedus (puiduliik), laastu suund plaadis, niiskussisaldus kuumpressimisel;
- Liimi tüüp ja kogus;
- Tootmisviis (meetod, pressi surve ja temperatuur).

Laastplaatide valmistamise tsükkel on järgmine:

- 1) Puittooraine (laast või ümarpuit) peenestatakse jahvatusseadmetes vajaliku suurusega laastuks.
- 2) Laastud pannakse segajasse, kus laastudele lisatakse liimi.
- 3) Liimiga segatud laastud vormitakse soovitud kihtide arvu ja paksusega laastuvaibaks.
- 4) Laastuvaip lõigatakse sobivate pikkustega plaatideks, mis surutakse kokku mitmekorrulise pressi all.
- 5) Viimasteks toiminguteks on mõõtlõikamine, lihvimine, sorteerimine ja pakendamine.

Laastplaate toodetakse erinevateks otstarveteks:

- Tisleriplaat – tihendatud pinnaga plaat, mida on kerge lamineerida;
- Seinalaastplaat – sein ja lae sisevooder;
- Põrandalaastplaat – alus- ja kandepõrand;
- Konstruktsioonlaastplaat – kandekonstruktsiooniks.

Laastplaadid on võrreldes massiivpuiduga kestuskoormuse ja niiskuse suhtes tundlikumad. Kui lisada spetsiaalseid aineid laastu-liimise gusse, siis on võimalik suurendada plaatide süttimiskindlust, vastupidavust mädanikele ning ka pinnakõvadust. Lisaks saab plaate tugevdada ka vineerist pinnakihtide kasutamisega.

Kui senini oli laastplaate kasutatud voodrimaterjalidena, siis 1970-ndatel leiti, et laastplaatidest saab, nagu massiivpuidust ja ristvineeristki, edukalt ka konstruktsioonmaterjale valmistada. See oli tingitud sellest, laastplaatide valmistamisel hakati rohkem huvi tundma laastude paiknemise suuna vastu plaadis.

Tavapärasel laastplaadil puitlaastude jaotus suhteliselt ebakorrapärane ning plaadi mõõdustabiilsus kõigis suundades küllaltki hea. Laastplaatide mõõdustabiilsus on isegi parem kui massiivpuidul, kuigi tugevus on aga vastupidelt madal võrreldes massiivpuiduga. Suurt tähelepanu on hakatud pöörama laastude suunale plaadi pindmistes kihtides, et suurendada plaatidel ehituskonstruktsiooni nõuetele vastavaid tugevusomadusi. Kui asetada plaadi sisekihtide laastud pinnakihi suhtes risti, on võimalik saavutada plaadi pinna mõlemas põhisuunas samaväärne tugevus [13].



Joonis 6. Puitlaastplaadid [14]

1.3 Plaatmaterjalide tüübid

Plaatide tootmiseks tuleb puittooraine eelnevalt tükeldada laastudeks või kiududeks, mille tulemusel aga kallineb toote hind. Mõnda tüüpi plaatmaterjali valmistamiseks saab kasutada ka puidutööstuse jääke, nagu näiteks saepuru. Plaatide kasutamine ehituskonstruktsioonides või tiseritoodetes toob kaasa tööjõu kokkuhoidu, sest plaate on võimalik toota erinevate mõõtmetega ja kindlaks otstarbeks.

Puitplaatide kiire areng on kaasa toonud üha uuemate plaadiliikide kasutuselevõtu. Enamjaolt baseeruvad need ikkagi kolmel plaatide põhitüübil: ristvineer, laastplaat ja puitkiudplaat [13]. Pressimise järgi jaotatakse puitlaastplaadid lamapressituteks (joonis 7) ja ekstrusiooni meetodil pressituteks. Plaadid jaotatakse tiheduse järgi järgnevalt:

- Madala tihedusega (alla 500 kg/m³),
- Keskmise tihedusega (500...800 kg/m³),
- Kõrge tihedusega (üle 800 kg/m³).

Plaat on võimalik valmistada mitmesuguse struktuuriga: ühekihilised, kolmekihilised, viiekihilised ja gradueeritud. Viimaste puhul on jämedamad osakesed keskel ning nähtav eraldusjoon puudub. Plaat on sümmeetrilise ristlõikega, suuremad osad on keskel, mida väiksemad osad, seda kaugemal keskpunktist. Niiviisi saadakse sile pealispind, mis on tähtis edasisel töötlemisel [15].



Joonis 7. Laastplaadi hüdrauliline lamepress [16]

1.4 Kanepist plaatmaterjalide kasutus

Ehitussektoris toodetakse tööstuskanepist peamiselt plokkide, ehitusplaati, soojustusvillasid, kanepitsemi ja -krohvi. Kanepi vartest saab valmistada plaate, mis on täpselt sama põhimõttega nagu pillirooplaad, mis sobib hästi krohvi alusplaadiks, kuid see omab mõningal määral ka soojustusfunktsiooni. Tööstuskanepist ehitustooted on loodussõbralikud ja nende paigaldus on lihtne, mis muudab ehitustööd kiireks. Suuremal osal looduslikel materjalidel on suhteliselt head soojusisolatsiooni omadused, mis on samaväärsed paljude sünteetiliste materjalide omadustega.

Hetkel puudub Eestis tööstus, mis oleks võimalik tootma kanepist ehitustooteid. Eestis kasvatatakse küll tööstuskanepit, kuid peamiselt tehakse seda seemnete pärast. Kiu ja luu saamise eesmärgil ei ole mõtet tööstuskanepit kasvatada, sest puuduvad kohalikud seadmed, mis suudaksid taime varrest eraldada vajaminevad produktid. Hetkeseisuga ei ole Eestis ka piisavat turgu neile toodetele, kuna kanepist valmistatud materjalid on veel suhteliselt uus teema ja kindlasti on selles suunas veel piisavalt arenguruumi [9].

1.5 Kanepist plaatmaterjalid ja nende omadused

Kanepiluudest valmistatud ehitusplaadid (joonis 8) paistavad silma oma kerguse poolest. Plaadi mõned omadused on oluliselt paremad võrreldes näiteks laialdaselt levinud puitlaastplaadiga. Paremateks omadusteks on akustiline- ja soojusisolatsioon. Kui puitlaastplaadi tihedus on kuni 700 kg/m³, siis kanepiluuplaadil on see vahemikus 300–400 kg/m³, mis annab omakorda paremaid isolatsiooni omadused. Plaadi kergus annab eelised ka selle kasutamisele, mis teeb ehitustööd kiiremaks [9].



Joonis 8. Kanepiluuplaat

2 Materjalid ja meetodid

2.1 Materjalid

Kanepiluuplaatide valmistamiseks vajaminev kanepiluu toormaterjal hangiti Saaremaa ettevõttelt Hempson OÜ. Kasutatav adhesiiv koosnes Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaigust ja Casco 2535 kõvendist. Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaigu füüsikalised ja keemilised omadused on toodud tabelis 4 ning tabelites 2 ja 3 on välja toodud Casco 2535 kõvendi informatsioon ning füüsikalised ja keemilised omadused. Joonisel 9 on näha Casco 2535 kõvendi ja Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaigu anumad, mida kasutati kanepiluu- ja puitlaastplaatide valmistamisel.

Tabel 2 Casco 2535 kõvendi koostise nimekiri [17]

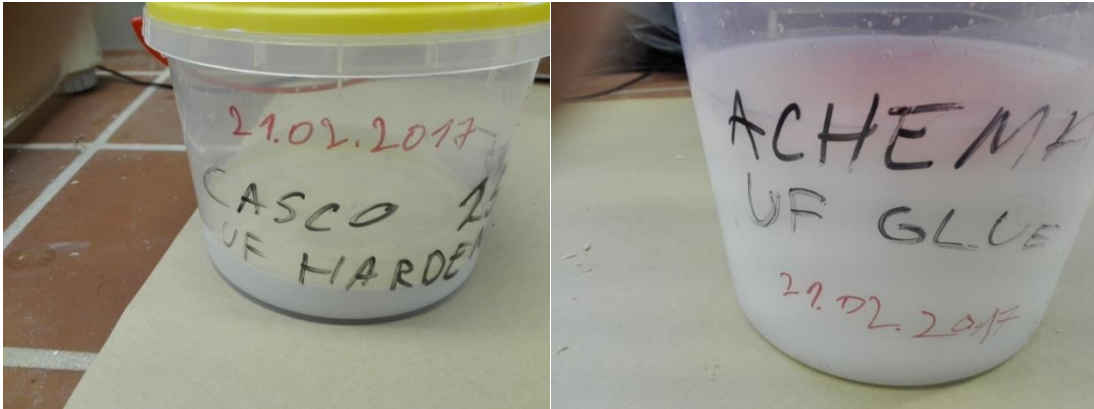
Koostisosa nimi	Kogus, %	Tüüp
Ammooniumkloriid	3 - 5	Aine klassifitseeritud tervise või keskkonna ohuks Aine töökeskkonnaga kokkupuutel ajalimiit
1,2-bensisotiasool-3(2H)-oon	0.0015 - 0.05	Aine klassifitseeritud tervise või keskkonna ohuks

Tabel 3 Casco 2535 kõvendi füüsikalised ja keemilised omadused [17]

Vabas olekus	Vedelik
Värvus	Hall
Lõhn	Õrn lõhn
pH	3,5 kuni 5,5
Esmane keemis punkt	100 °C
Tihedus	1,45 g/cm ³
Lahustuvus	Vees segunev
Viskoossus	2000 - 10000 mPas (25 °C)

Tabel 4 Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaigu füüsikalised ja keemilised omadused [18]

Välimus	Valge vedelik
Mittelenduvate ainete massi murdosa	67+1%
Relatiivne viskoossus	75 - 140 s
pH	7,5 - 8,7
Segunemise aeg 100 °C juures	40 - 60 s
Liimisdeme tugevus	10 N/mm ²
Koagulatsiooni suhe	(1:2)-(1:8)



Joonis 9. Vasakul Casco 2535 kõvendi ja paremal Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaik

2.2 Meetodid

2.2.1 Kanepiluu ja puitlaastplaatide valmistamine

Katsetamine viidi suuremalt jaolt läbi TTÜ Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudis puidutehnoloogia laboris. Katsed, mida tuli teha Instron 5866 aparaadiga, viidi läbi TTÜ inseneriteaduskonna laboris. Kanepiluuplaatide valmistamiseks kasutati toormaterjalina kanepiluulaaste ja Achema KF-FE karbamiid-formaldehüüdvaiku (65% kuivaine sisaldusega) kasutati adhesiivina. Adhesiiv valmistati kõigi kolme plaadi jaoks eraldi. Ühe plaadi jaoks vaja minev adhesiiv arvutati järgnevalt: 340 g kanepiluulaaste ühe plaadi jaoks ja vaiku läks tarvis 11% kuivast kanepiluust. Seejärel lisati karbamiid-formaldehüüdvaigule Casco 2535 kõvendit 2% vaigu kuivainest. Adhesiivi kontsentratsioon tuli lahjendada 55%-ni veega segades. Samal ajal lülitati kuumpress sisse, et see saavutaks vajamineva temperatuuri, milleks oli 110 °C. Kõik kaalumised viidi läbi Mettler Toledo kaaluga ($d=0,01$ g).

340 g kanepiluu puru valati segamismasinasse. Masin lülitati sisse ja ühe plaadi jaoks valmistatud adhesiiv kallati aeglaselt sinna juurde. Kui kogu adhesiiv oli segamismasinasse valatud, siis jätkati segamist veel 3 minutit. Seejärel pandi segamismasin seisma ja kanepiluu ning adhesiivi segu eemaldati masinast. Kanepiluu ja adhesiivi segu valati vormi, mis asetses metallplaadi peal ja seejärel suruti seda segu käsipressi abil kokku. Vormi eemaldamise järel lisati plaadi servadesse metallist paksuse regulaatorid. Viimaks pandi kõige peale veel üks metallplaat ning siis läks kogu asi edasi kuumpressi alla.

Valmistatav plaat pidi kuumpressi alla olema 5 minutit, 110 °C juures ja maksimaalse surve all, milleks oli 79-88 kg/cm². Katse alguses, kui ka lõpus, märgiti üles manomeetril olev surve ja termomeetril olev temperatuuri näit. Katse lõpetuseks arvutati ka plaadile mõjuv surve pindalaühiku kohta. Puitlaastplaatide valmistamisel oli täpselt sama protseduur, ainult kanepiluulaastu asemel oli puidulaast. Kanepiluuplaadi valmistamise protsess on näha joonisel 10.



Joonis 10. Kanepiluuplaadi valmistamise protsess

Katsekehade valmistamise käigus märgiti üles katse algushetke surve ja temperatuur. Viis minutit hiljem, pressimise lõppedes, jäädvustati pressimise lõpp surve ja temperatuur. Hiljem arvutati keskmise surve järgi kuumpressi survejõud pindala ühiku kohta. Tabelist 5 on näha kogu pressimisprotsessi tulemused.

Tabel 5 Pressi surve

Katsekeha		Maksimum surve, kg/cm ²	Miinum surve, kg/cm ²	Keskmine surve, kg/cm ²	Surve, MPa	Temperatuuri vahemik, °C	
KLP	K1	88	70	79	1,26	110-120	
	K2	82	68	75	1,19	125-128	
	K3	79	65	72	1,14	109-111	
	K4	87	71	79	1,26	131-147	
	K5	82	68	75	1,19	109-117	
	K6	79	65	72	1,14	109-116	
	K7	87	69	78	1,24	119-134	
	K8	81	68	74,5	1,18	105-114	
	K9	80	65	72,5	1,15	116-129	
	K10	88	73	80,5	1,28	111-122	
	K11	86	70	78	1,24	116-121	
	K12	84	68	76	1,21	118-126	
	Keskmine					1,21	
	Standardhälve					0,05	
PLP	P1	87	70	78,5	1,25	108-113	
	P2	85	68	76,5	1,22	110-114	
	P3	82	66	74	1,18	109-119	
	P4	63	54	58,5	0,93	117-129	
	P5	60	53	56,5	0,90	102-110	
	P6	61	53	57	0,91	114-122	
	P7	87	69	78	1,24	114-129	
	P8	82	66	74	1,18	115-121	
	P9	79	65	72	1,14	114-123	
	P10	77	63	70	1,11	116-122	
	P11	75	62	68,5	1,09	115-120	
	P12	75	62	68,5	1,09	116-120	
	Keskmine					1,10	
	Standardhälve					0,13	

Esimese katsekeha survejõud arvutati järgmiselt:

Jõud = Surve x Pindala

Silindri diameeter = 100 mm = 0.1 m

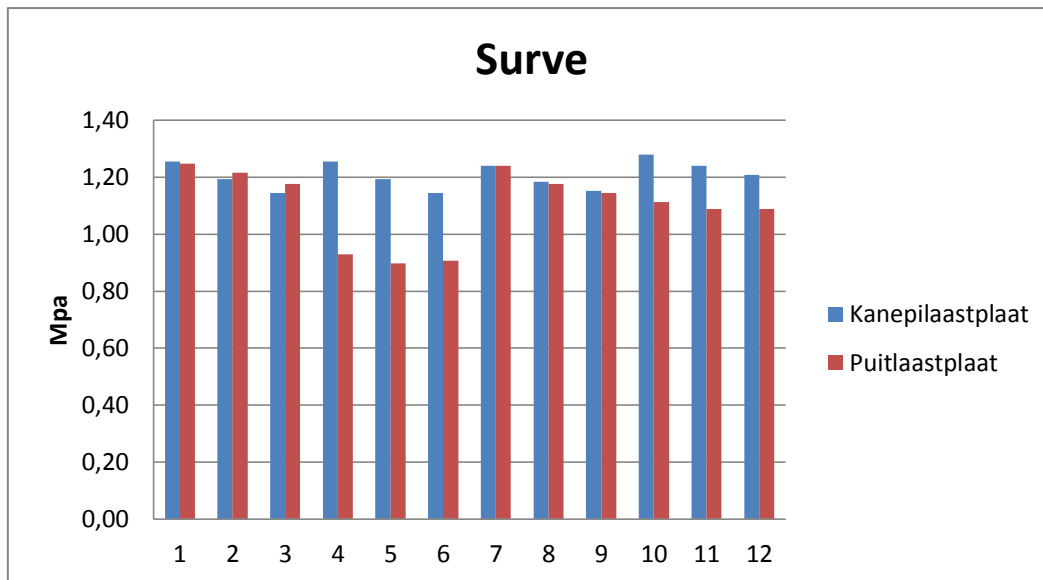
Silindri pindala = $\pi \times r^2 = \pi \times 0.05^2 = \underline{0.00785 \text{ m}^2}$

Surve 79 kg/cm² = 7.742 Mpa

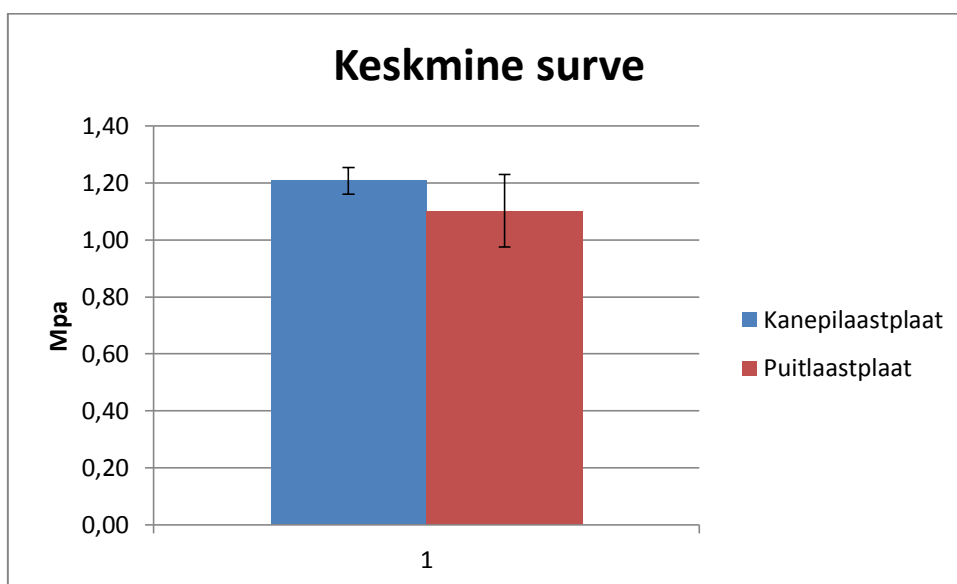
Silindri jõud = 7.742 x 0.00785 = 0.061 N

$$\text{Survejõud} = \frac{\text{Silindri jõud}}{\text{Kiudplaadi pindala}} = \frac{0,061}{0,0484} = 1,26 \text{ MPa}$$

Joonisel 11 on näha kõigi 12 puitlaast- ja 12 kanepiluuplaadi survejõud. Joonisel 12 on toodud puitlaast- ja kanepiluuplaatide keskmised survejõud, mis on vastavalt 1,10 MPa ja 1,21 MPa



Joonis 11. Survejõud erinevatel laastplaatidel

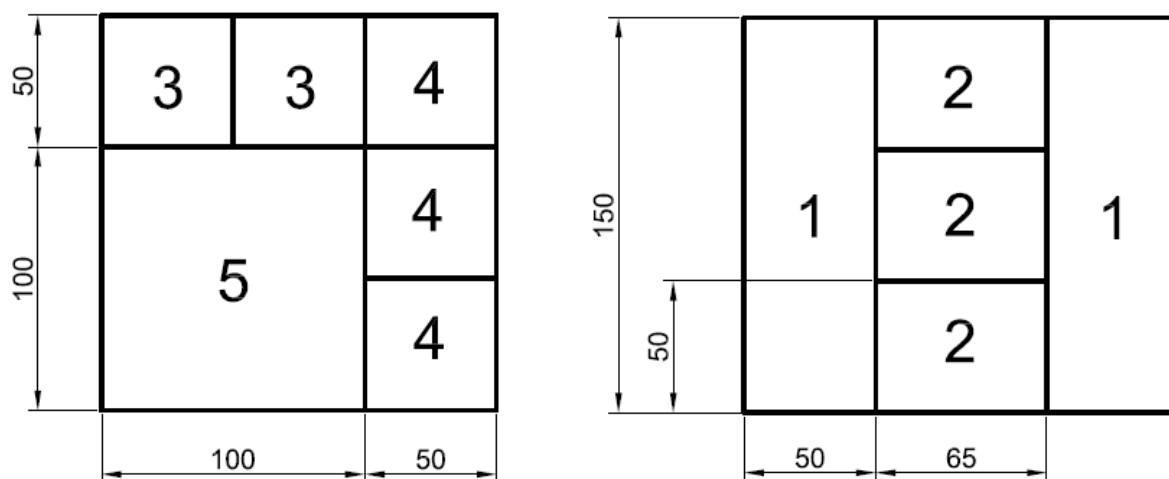


Joonis 12. Keskmise survejõud

2.3 Katsetamine

2.3.1 Katsete plaan

Joonisel 13 ja tabelis 6 on toodud antud bakalaauruse töös vajaminevate katsekehade lahtilõikuse mõõtmed ja katsekehade arv. Mõlemad, nii kanepiluu- kui ka puitlaastplaate lõigati sarnaselt.



Joonis 13. Katsekehade lahtilõikuse plaan.

Tabel 6 Katsete plaan

Katse	Standard	Katsekehade arv	Katsekehade mõõtmed, mm
Tiheduse määramine	EVS-EN 323:2002	5 KLP + 5 PLP	50 x 50
Paindeomaduste määramine	EVS-EN 310:2002	5 KLP + 5 PLP	150 x 50
Kruvide teljesuunalise väljatõmbe määramine	EVS-EN 320:2011	5 KLP + 5 PLP	65 x 50
Tõmbeomaduste määramine	EVS-EN 319:2000	5 KLP + 5 PLP	50 x 50
Veeimavuse ja pundumise määramine	EVS-EN 317:2000	5 KLP + 5 PLP	50 x 50
Õhuvoolu läbilaskvuse määramine	EVS-EN 12114:2000	3 KLP + 3 PLP	100 x 100

2.3.2 Tiheduse määramine

Proovivõtmine ja katsekehade lõikamine tuli teha vastavalt standardile EN 326-1. Katsekehad pidid olema ruudukujulised, külgede nominaalpikkusega 50 mm. Katsekehi tuli teha vähemalt viis tükki igast plaatmaterjalist.

Tihedus oli määratud kui iga katsekeha samal niiskusel mõõdetud massi ja ruumala suhe. Tiheduse määramiseks kasutati Eesti standardit EVS-EN 323:2002. Iga katsekeha kaaluti täpsusega 0,01 g. Iga katsekeha mõõtmed määrati vastavalt standardile EN 325 järgmiselt:

- a) Paksus (t) mõõdeti diagonaalide ristumispunktis täpsusega 0,05 mm. Paksuse mõõtmisel tuli mõõteriista mõõtepinnad lähendada aeglaselt plaadi pinnale. Mõõteriistana kasutati nihikut täpsusega 0,01 mm.
- b) Täpsusega 0,1 mm mõõdeti b_1 ja b_2 kahes punktis sirgetel, mis on paralleelsed katsekeha külgedega ja läbivad vastaskülgede tsentreid.

Katsekehade tihedus ρ (kg/m^3) arvutati järgmiselt:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot 10^6$$

kus

m oli katsekeha mass grammides;

b_1, b_2 ja t olid katsekeha mõõtmed millimeetrites [19].

2.3.3 Paindeomaduste määramine

Paindeelasticusmoodul ja paindetugevus määrati standardi EN 310:2002 järgi, rakendades koormust kahest kohast toetatud katsekeha tsentrisse. Katse viidi läbi Instron 5866 masinal ja selleks läks vaja 5 katsekeha mõlemast plaatmaterjalist mõõtudega 150 x 50 mm. Iga katsekeha laius ja paksus mõõdeti vastavalt standardile EN 325 järgmistes kohtades:

- Paksus diagonaalide ristumiskohas;
- Laius katsekeha pikkuse keskkohas.

Kõik mõõtmised viidi läbi nihikuga ($d=0,01$ mm). Tugede tsentrite vaheline kaugus reguleeriti täpselt 100 mm. Katsekeha paigutati tugedele lapiti selliselt, et katsekeha pikitelg moodustaks täisnurga tugede pikitelgedega ja keskkohas asuks koormuse all. Koormus rakendati koormuse liikumise püsiva kiirusega kogu katse vältel. Koormamise kiirus tuli reguleerida nii, et maksimaalne koormus saavutatakse 30-90 sekundi jooksul. Katsekeha tsesentris mõõdeti läbipaine täpsusega 0,1 mm ja kanti graafikusse punkt, mis iseloomustas läbipainde sõltuvust koormusest, 1 %-lise täpsusega.

Iga katsekeha elastsusmoodul E_m (N/mm²) arvutati järgmiselt:

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)}$$

kus

l_1 oli tugede tsentrite vaheline kaugus, mm

b oli katsekeha laius, mm

t oli katsekeha paksus, mm

$F_2 - F_1$ oli koormuse juurdekasv koormuse-läbipainde kõvera sirgjoonelisel osal;

$a_2 - a_1$ oli läbipainde juurdekasv katsekeha keskkohas.

Iga katsekeha paindetugevus f_m (N/mm²) arvutati järgmiselt:

$$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2}$$

kus

F_{max} oli maksimaalne koormus, N

l_1, b ja t olid katsekeha mõõtmed, mm [20].

2.3.4 Kruvide teljesuunalise väljatõmbe vastupanu määramine

Standardiga EN 320:2011 Kruvide teljesuunalise väljatõmbe vastupanu määramine – sai määrata plaatmaterjalide teljesuunalise vastupanu kruvi väljatõmbe. Selle katse käigus

mõõdeti jõud, mis oli tarvis kruvi eemaldamiseks katsekehast. Selle katse läbiviimiseks oli tarvis aparaati Instron 5866, mis oleks suuteline avaldama jõudu kruvipea alla, samal ajal katsekeha paigal hoides ning mõõtma maksimaalset koormust 1%-lise täpsusega.

Vastavalt standardile EN 326-1 lõigati nii kanepiluu-, kui ka puitlaastplaadist viis ristküliku kujulist katsekeha (65 x 50 mm). Kruvid keerati kruvikeerajaga katsekehade keskpunkti katsekeha tasapinnaga risti asendis. Selle katse jaoks läks tarvis teraskruve mõõduga 4,2 x 45 mm. Kruvi pidi olema sisestatud katsekehasse nii, et teiselt poolt katsekeha ulatuks välja kruvi teravik.

Katsekehad kinnitati katsetuse aparaati nii, et katsekeha alumine pind ei oleks toetatud lähemal kui 15 mm kruvi teravikule. Aparaat avaldas kruvipea alla survet, millega üritas kruvi katsekehast välja tõmmata. Survet avaldati ühtlase kiirusega (10 ± 1) mm/min, kuni maksimaalne survekoormus oli saavutatud. Maksimaalne surve jäädvustati 10 N täpsusega [21].

2.3.5 Tõmbeomaduste määramine

Tõmbeomadusi määrati standardi EN 319:2000 järgi. Katsetamiseks tuli kasutada tõmbemasinat (Instron 5866), mis võimaldas rakendada katsekehale haaratsite abil pinnaga ristsuunalist tõmbejõudu ja mõõta seda jõudu täpsusega 1 %. Haaratsid mõlemal pool katsekeha pidid olema keraliigendite abil iseseadistuvad.

Katsekehad pidid olema ruudukujulised, külje pikkusega (50 ± 1) mm. Katsetes kasutati 5 katsekeha mõlemast plaatmaterjalist. Iga katsekeha liimiti katseklotside (50 x 70 mm) külge PVA liimiga. Klotside vahelt väljapressitud liigne liim tuli eemaldada. Laastplaadist katsekeha, mis oli katseklotside vahele liimitud, paigaldati haaratsite vahele (joonis 14) ja rakendati jõudu seni, kuni toimus katkemine. Jõudu rakendati ristsuunalise liikumise püsiva kiirusega kogu katse ulatuses. Koormamise kiirust reguleeriti selliselt, et maksimaalkoormus saavutataks 30-90 sekundi jooksul.



Joonis 14. Tõmbetugevuse määramise katse

Plaadi pinnaga ristsuunaline tõmbetugevus, f_{t1} , väljendatuna N/mm^2 sajandiku täpsusega, arvutati iga katsekeha puhul järgmise valemiga:

$$f_{t1} = \frac{F_{max}}{a \times b}$$

kus

F_{max} oli katkekoormus, N;

a ja b olid katsekeha pikkus ja laius, mm [22].

2.3.6 Veeimavuse ja pundumise määramine

Kiudplaatide pundumine oli määratud vastavalt standardile EN 317:2000. Paksuse paisumise määras katsekeha paksuse suurenemine peale vee alla panemist. Selle katse jaoks läks vaja 5 katsekeha mõlealt plaatmaterjalist ja need olid ruudu kujulised, küljepikkusega (50 ± 1) mm.

Katsekehad, joonis 15, pandi vertikaalselt vee alla nii, et katsekehad oleks üleni vee all vähemalt 25 ± 5 mm kogu katse käigus. Katsekehi hoiti puhtas vees, temperatuuril 20 ± 1 °C, 24 tundi. Katsekehade eemaldamisel veest tuli need panna filterpaberile, et vabaneda liigsest veest.



Joonis 15. Vasakul katsekeha enne ja paremal pärast vee alla panemist

Veeimavus määrati katsekehade kaalumisel ennem ja pärast 24h vee all olemist ja arvutati massiprotsent, mis oli lisandunud katsekeha vee all olemisega. Veeimavus arvutati järgmise valemiga:

$$\Delta w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

kus

m_1 oli katsekeha esialgne mass, g

m_2 oli katsekeha mass peale vee all olemist, g

Katsekeha pundumine määrati katsekeha paksuse kasvuga peale vee all olemist. Pundumise arvutamiseks tuli mõõta katsekeha paksus nihikuga ($d=0,01$ mm) ennem ja pärast vee alla panemist. Pundumine arvutati järgmise valemiga:

$$\Delta s = \frac{s_2 - s_1}{s_1} \cdot 100\%$$

kus

s_1 oli esialgne katsekeha paksus, mm

s_2 oli katsekeha paksus peale vee all olemist, mm [23].

2.3.7 Õhuvoolu läbilaskvuse määramine

Õhuvoolu takistus määrati vastavalt standardile EN 12114:2000. See standard määrab üldise õhuvoolu läbilaskvuse laboratoorse katsetamismeetodi ehitusmaterjalide puhul. See standard ei ole kasutatav kogu hoone või objektile mõõdistamisel tehtud õhutakistuse arvutamiseks. Katseks kasutati kolme katsekeha mõõtudega 100 x 100 mm mõlemast plaatmaterjalist.

Katse aparaat koosnes järgmistest seadmetest:

- a) Platvorm, kuhu katsekehad kinnitati;
- b) Vahend, millega sai kontrollitult lasta õhuvoolu katsekehale;
- c) Seade kiireks õhusurve muutmiseks (Huba Control);
- d) Seade õhuvoolu mõõtmiseks, täpsusega $\pm 5\%$ (SMC);
- e) Seade õhurõhu erinevuste mõõtmiseks, täpsusega $\pm 5\%$;
- f) Vahend katsekeha õhukindlaks tegemiseks (joonis 16).

Katsetamine viidi läbi positiivsete rõhkude erinevustega. Esimese katse puhul viidi õhurõhk ühelt poolt katsekeha 550 pascalini kolmeks sekundiks (maksimaalne õhurõhk + 10 %) ja jäädvustati sellel õhurõhul olev õhu läbilaskvus. Seda katset viidi läbi 3 korda iga katsekehaga.

Õhu läbilaskvuse katse korral suurendati katsekehale mõjuvat õhurõhku sammhaaval: 50 Pa (minimaalne õhurõhk), 73 Pa, 108 Pa, 158 Pa, 232 Pa, 341 Pa ja 500 Pa (maksimaalne õhurõhk). Õhu läbilaskvust sai arvutada järgmise valemiga:

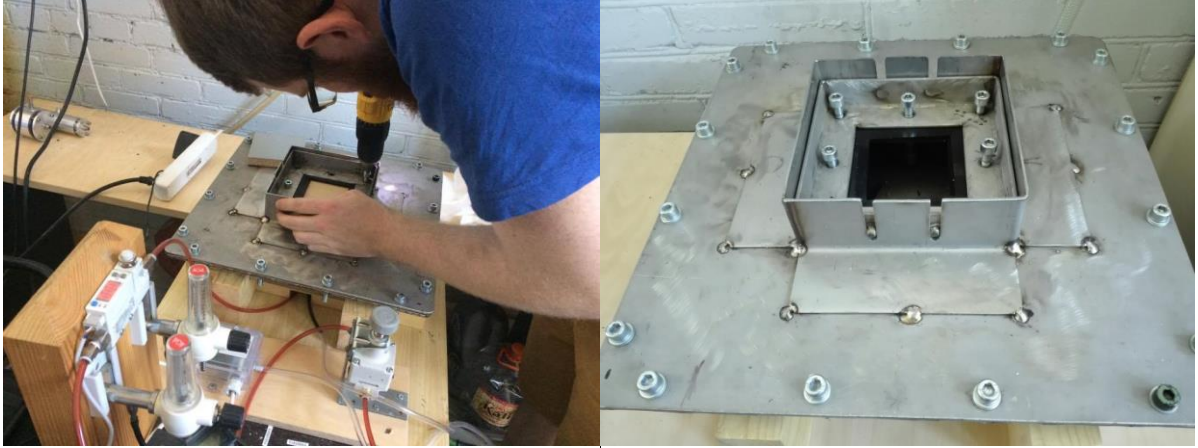
$$\Delta p_i = 10^{i \frac{\log \Delta p_{max} - \log \Delta p_{min}}{N} + \log \Delta p_{min}}$$

kus

i on aste;

N on astmete arv;

p_{min} , p_{max} on minimaalne ja maksimaalne õhurõhk katsetamisel [24].



Joonis 16. Vasakul katsekeha kinnitamine seadmesse ja paremal katseseade

3 Tulemused ja analüüs

3.1 Tihedus

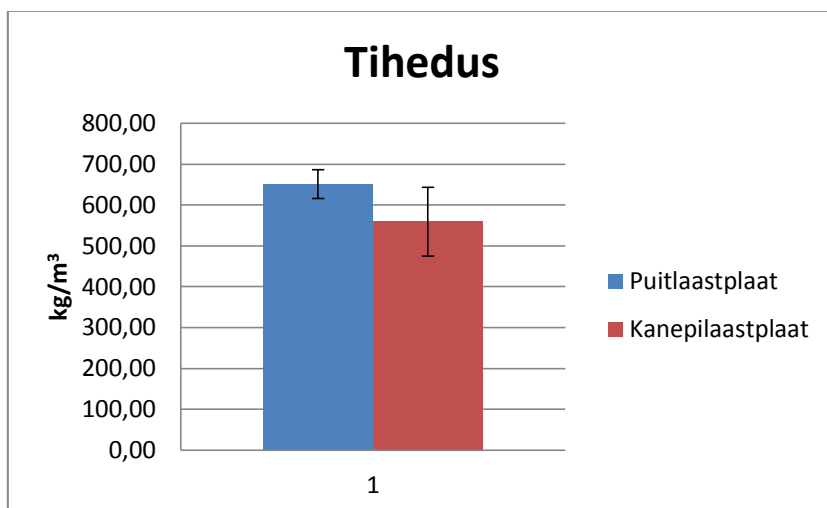
Tiheduse määramise andmed ja tulemused on välja toodud tabelis 7. Antud tulemustest ja joonisest 17 saab järeldada, et puitlaastplaadi tihedus 651 kg/m^3 on õige natuke tihedam kui kanepiluust plaat, mille tiheduseks on 559 kg/m^3 . Puitlaastplaat võis tulla sellepärast suurema tihedusega, et katsetamisel kasutatud puitlaast oli peenema struktuuriga kui kanepiluu struktuur. Kanepiluuplaadi laastude vahele jäi arvatavasti rohkem tühimikke. Plaatide keskmine tihedus on toodud tabelis 8.

Tabel 7 Katsekehade tihedus

Katsekeha		Laius, mm	Pikkus, mm	Paksus keskel, mm	Mass, g	Ruumala, m^3	Tihedus, kg/m^3
PLP	1	50,21	50,18	13,85	23,50	0,000035	673,44
	2	50,21	50,16	13,77	23,56	0,000035	679,35
	3	50,20	50,23	13,49	22,24	0,000034	653,82
	4	50,17	50,16	13,77	22,76	0,000035	656,81
	5	50,07	50,14	13,50	20,03	0,000034	591,00
KLP	1	50,20	50,05	17,50	21,01	0,000044	477,84
	2	50,24	50,24	13,87	22,00	0,000035	628,42
	3	50,24	50,22	13,93	23,45	0,000035	667,21
	4	50,17	50,25	16,93	22,34	0,000043	523,41
	5	50,16	50,23	18,13	22,79	0,000046	498,91

Tabel 8 Laastplaatide tihedus

Plaat	Tihedus, kg/m^3					Keskmine tihedus, kg/m^3	Standardhälve
	1	2	3	4	5		
Puitlaastplaat	673,44	679,35	653,82	656,81	591,00	650,88	35,17
Kanepiluuplaat	477,84	628,42	667,21	523,41	498,91	559,16	83,66



Joonis 17. Laastplaatide keskmine tihedus

3.2 Paindeomadused

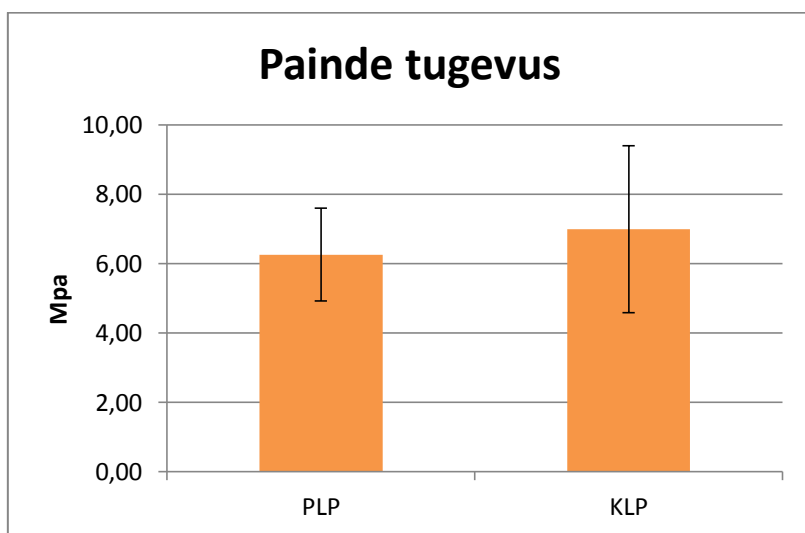
Kanepiluu ja puitlaast katsekehade paindeomaduste algandmed ja tulemused on välja toodud tabelites 9 ja 10. Katsetest selgus, et puitlaastplaadi keskmine elastsusmoodul on 670,75 MPa ja keskmine paindetugevus on 6,26 MPa. Kanepiluuplaadi keskmine elastsusmoodul on 437,80 MPa ja keskmine paindetugevus on 7 MPa. Jooniselt 18 on aga näha, et keskmine paindetugevus on suurim kanepiluuplaadil. Elastsusmoodul on suurem puitlaastplaadi puhul, mida on näha ka joonisel 19. Eesti standardis EN 312:2010 (Puitlaastplaadid. Spetsifikaadid) on toodud 13 kuni 20 mm paksuste puitlaastplaatide andmeteks 13 MPa paindetugevus ja 1600 MPa elastsusmoodul. Selle bakalurusetöö katsete tulemustega ei saadud nendele näitajatele ligilähedalegi.

Tabel 9 Puitlaastplaadi painde tulemused

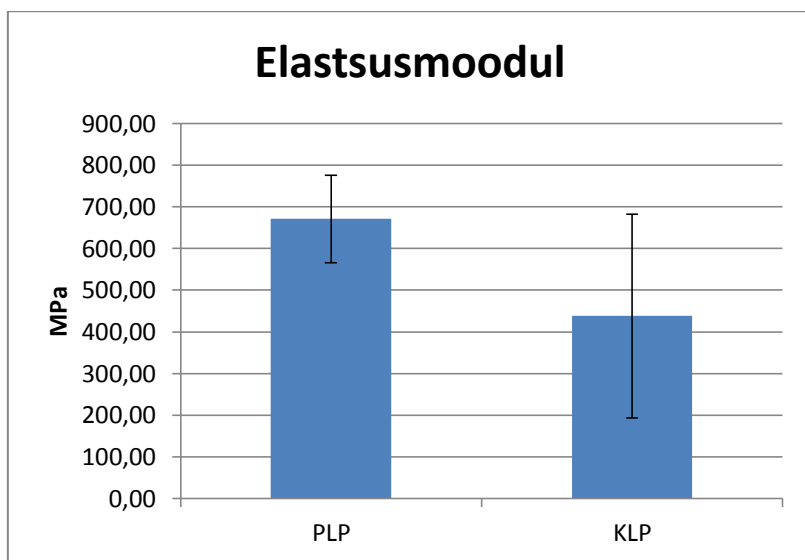
Katsekeha	Paksus, mm	Maksimum survejõud, N	Survejõul pikenemine, mm	Elastsusmoodul, MPa	Paindetugevus, MPa
1	13,9	330,91	2,23	574,99	5,14
2	13,8	398,84	2,32	693,5	6,28
3	13,8	322,52	2,46	552,69	5,08
4	13,7	523,9	2,71	795,26	8,37
5	13,8	407,93	2,36	737,31	6,43
Keskmine				670,75	6,26
Standard hälve				104,35	1,33

Tabel 10 Kanepiluuplaadi painde tulemused

Katsekeha	Paksus, mm	Maksimumsurvejõud, N	Survejõul pikenemine, mm	Elastsusmoodul, MPa	Painde tugevus, MPa
1	17,7	413,48	2,91	153,52	3,96
2	13,9	675,3	2,64	828,48	10,49
3	17,1	574,78	2,13	362,79	5,9
4	16,2	674,97	2,71	405,78	7,72
5	17,1	674,95	1,82	438,43	6,92
Keskmine				437,80	7,00
Standard hälve				245,00	2,41



Joonis 18. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised paindetugevused



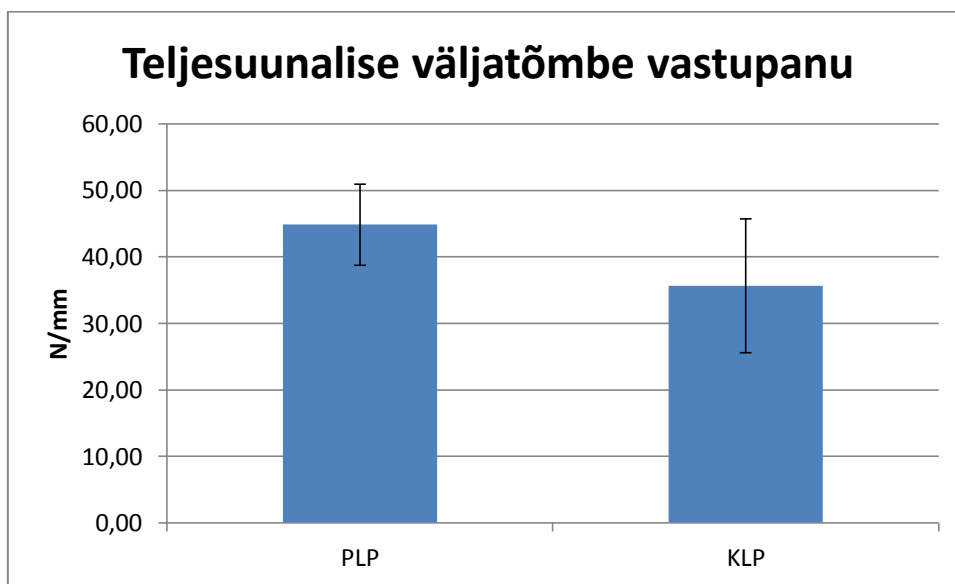
Joonis 19. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised elastsusmoodulid

3.3 Kruvide teljesuunalise väljatõmbe omadused

Tabelis 11 ja joonisel 20 on toodud puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi kruvi väljatõmbe katse tulemused. Sealt selgub, et puitlaastplaadi keskmine teljesuunalise väljatõmbe vastupanu on 44,84 N/mm, mis on suurem kui kanepiluuplaadi 35,63 N/mm. See on arvatavasti tingitud sellest, et puitlaastplaat oli suurema tihedusega kui kanepiluuplaad.

Tabel 11 Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi kruvi väljatõmbe katse tulemused

Katsekeha		Paksus, mm	Surve, N	Teljesuunalise väljatõmbe vastupanu, N/mm	Keskmine, N/mm	Standardhälve
PLP	1	13,72	577,27	42,08	44,84	6,09
	2	14,46	626,95	43,36		
	3	13,74	647,46	47,12		
	4	14,01	528,39	37,72		
	5	14,14	762,39	53,92		
KLP	1	14,03	612,92	43,69	35,63	10,07
	2	18,01	414,55	23,02		
	3	16,52	524,13	31,73		
	4	15,76	500,58	31,76		
	5	13,88	665,48	47,95		



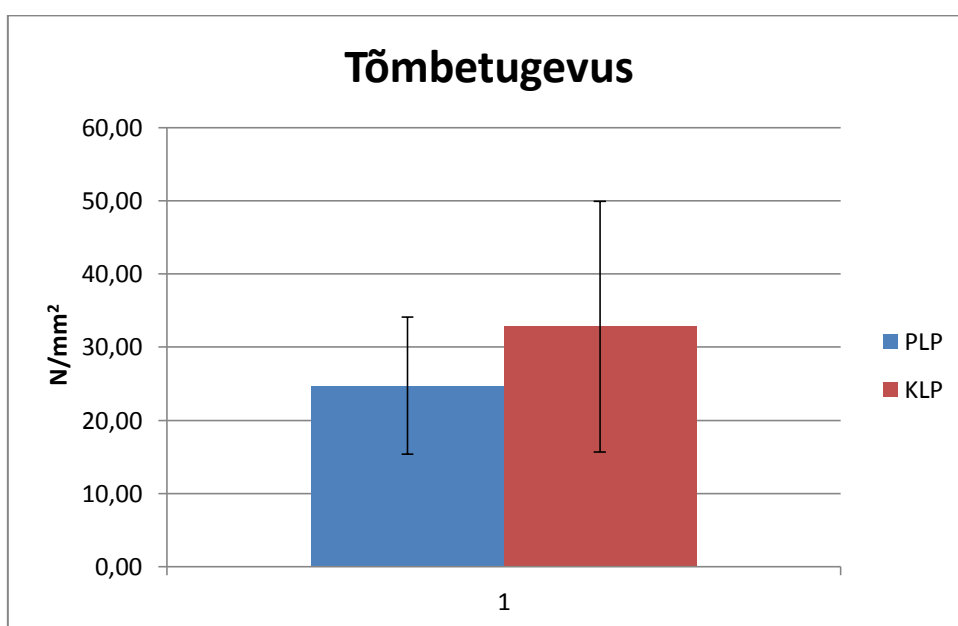
Joonis 20. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi teljesuunalise väljatõmbe vastupanu

3.4 Tõmbeomadused

Plaadi pinnaga ristsuunalise tõmbetugevuse algandmed ja tulemused on märgitud tabelis 12. Puitlaastplaadi keskmine tõmbetugevus on 24,72 N/mm² ja kanepiluuplaadi keskmine tõmbetugevus on 32,82 N/mm². Joonisel 21 välja toodud keskmistest tõmbetugevustest saab järeldada, et kanepiluuplaat on tugevam plaadi pinnaga ristsuunalisele tõmbetugevusele, sest kanepiluu osakesed seovad end liimiga tugevamini kui puitlaastu osakesed.

Tabel 12 Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi tõmbeomadused

Katsekeha	PLP		KLP	
	Maksimum jõud, N	Tõmbetugevus, N/mm ²	Maksimum jõud, N	Tõmbetugevus, N/mm ²
1	450,86	30,06	769,18	51,28
2	160,47	10,70	764,36	50,96
3	394,35	26,29	358,54	23,90
4	539,67	35,98	354,93	23,66
5	365,21	24,35	214,43	14,30
6	314,4	20,96	-	-
	Keskmine	24,72	Keskmine	32,82
	Standard hälve	9,38	Standard hälve	17,15



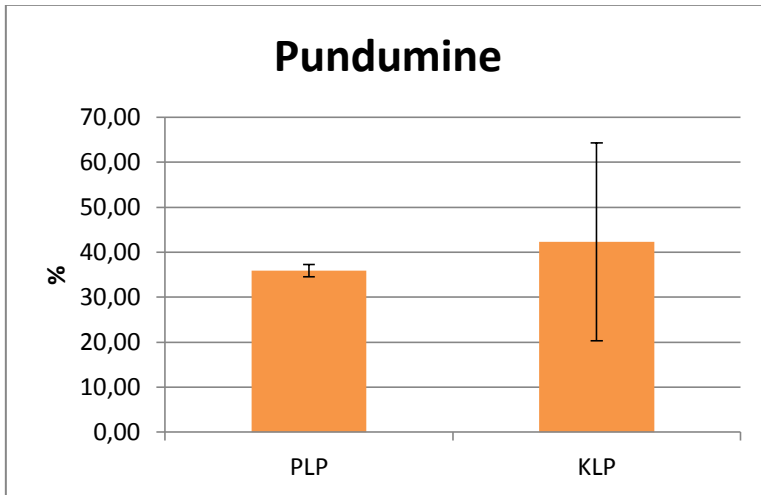
Joonis 21. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmised tõmbetugevused

3.5 Veeimavus ja pundumine

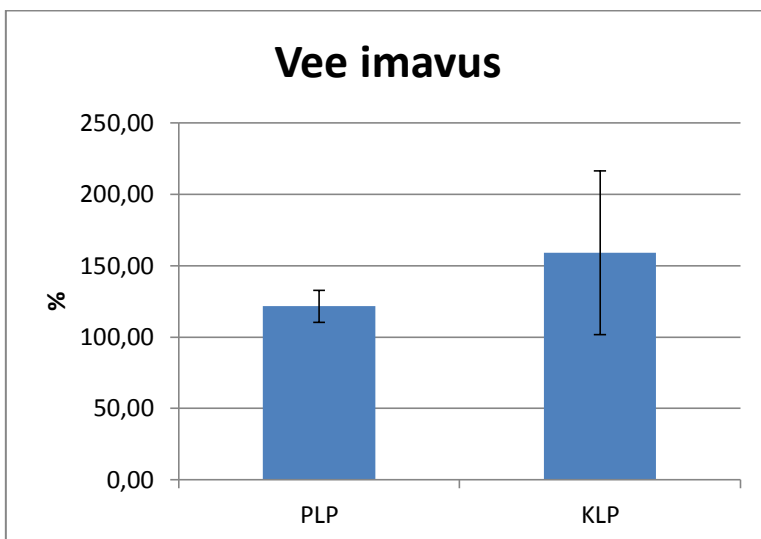
Veeimavuse ja pundumise katsete algandmed ja tulemused on välja toodud tabelis 13. Puitlaastplaadi keskmine pundumine on 35,94 % ja veeimavus on 121,50 %. Kanepiluuplaadi keskmine pundumine on 34,04 % ja keskmine veeimavus on 142,40 %. Joonistel 22 ja 23 on toodud kanepiluu- ja puitlaastplaadi keskmised pundumised ja veeimavused. Katsetulemustest on märgata kanepiluuplaadi suur veeimavus, mis võib olla tingitud sellest, et kanepiluulaastud olid ebahühtlasema suurusega kui puitlaastud. Seega võis kanepiluulaastude vahele jääda rohkem tühimikke, mida vesi täita saab. Kanepiluuplaat oli ka väiksema tihedusega plaat, millest saab ka järeldada, et sellel on veeimavuseks rohkem potentsiaali kui puitlaastplaadil. Joonisel 24 on näha kanepiluust katsekehad peale veeimavuse ja pundumise katset. Vasakult teine ja kolmas katsekehad säilitasid oma esialgse vormi paremini kui esimene, neljas ja viies katsekeha. Teine ja kolmas katsekehad olid lõigatud samast kanepiluuplaadist. Fotolt on näha, kui ebahühtlaste omadustega võivad kanepiluuplaadid tootmisest tulla.

Tabel 13 Laastplaatide pundumine ja veeimavus

Katsekeha		Paksus kuivana, mm	Mass kuivana, g	Paksus märjana, mm	Mass märjana, g	Pundumine, %	Veeimavus, %
PLP	1	13,85	23,50	18,60	49,92	34,30	112,43
	2	13,77	23,56	18,75	50,15	36,17	112,86
	3	13,49	22,24	18,32	48,75	35,80	119,20
	4	13,77	22,76	18,65	50,89	35,44	123,59
	5	13,50	20,03	18,63	47,96	38,00	139,44
Keskmine						35,94	121,50
Standardhälve						1,38	11,05
KLP	1	17,50	21,01	22,77	56,17	30,11	167,35
	2	13,87	22,00	17,63	45,70	27,11	107,73
	3	13,93	23,45	17,33	45,46	24,41	93,86
	4	16,93	22,34	26,16	67,17	54,52	200,67
	5	18,13	22,79	31,77	74,28	75,23	225,93
Keskmine						34,04	142,40
Standardhälve						21,99	57,35



Joonis 22. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmine pundumine



Joonis 23. Puitlaastplaadi ja kanepiluuplaadi keskmine veeimavus



Joonis 24. Kanepiluuplaadist katsekehad peale veeimavuse ja pundumise katset

3.6 Õhuläbilaskvus

Tabelites 14 ja 15 on toodud puitlaastplaadi ning kanepiluuplaadi õhuläbilaskvused rõhu astmelise suurendamise katsel. Minu suureks üllatuseks olid kanepiluu katsekehad vähem õhku läbilaskvad kui puitlaastust katsekehad, sest kanepilaastplaadid olid väiksema tihedusega ja tundusid olevat poorsemad.

Tabelites 16 ja 17 on toodud keskmised õhuläbilaskvused maksimaalse õhurõhu katse puhul. Selle katsetulemuste juures on samuti märgata, et kanepiluuplaat on vähem õhku läbilaskvam kui puitlaastplaat. Puitlaastplaadi keskmiseks õhuläbilaskvuseks on 2,64 L/min ja standardhälve on 0,41 L/min. Kanepiluuplaadi keskmiseks õhuläbilaskvuseks on 0,49 L/min ja standardhälve on 0,10 L/min.

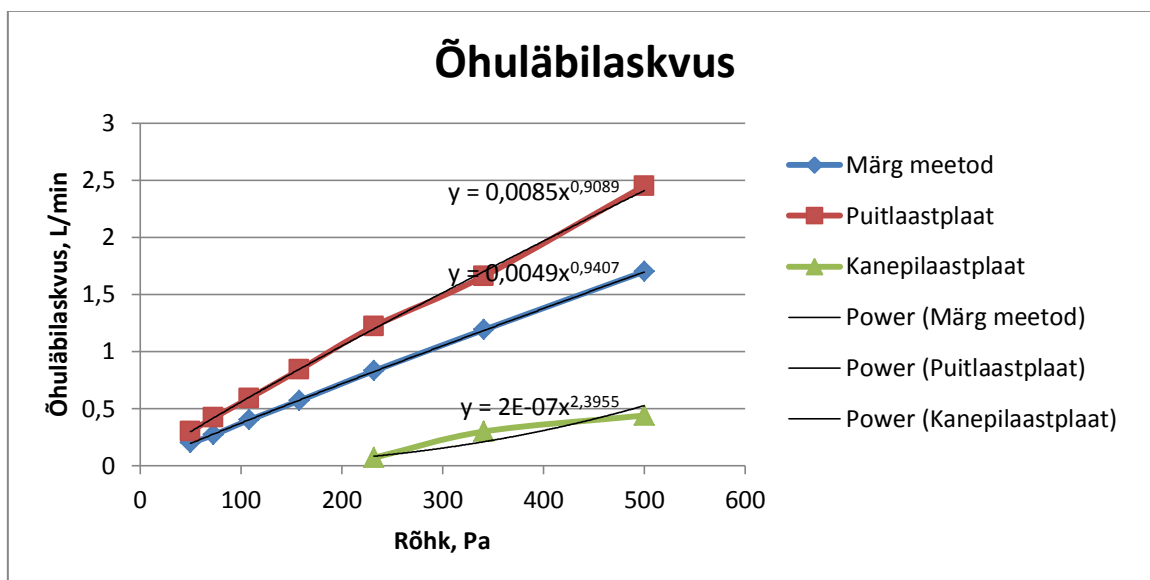
Joonisel 25 on näha puitlaastplaadi, kanepiluuplaadi ning kanepikiudplaadi märja meetodi õhuläbilaskvus ning standardhälbed. Joonisel 26 on toodud nende katsete keskmised väärtused. Kanepikiudplaadi märja meetodi katseandmed on saadud Merili Närepi magistritööst.

Tabel 14 Puitlaastplaadi õhuläbilaskvus

Surveaste	Rõhk, Pa	Õhu läbilaskvus, L/min
0	50	0,3
1	73	0,42
2	108	0,59
3	158	0,84
4	232	1,22
5	341	1,66
6	500	2,45

Tabel 15 Kanepiluuplaadi õhuläbilaskvus

Surveaste	Rõhk, Pa	Õhu läbilaskvus, L/min
0	50	0
1	73	0
2	108	0
3	158	0
4	232	0,07
5	341	0,3
6	500	0,44



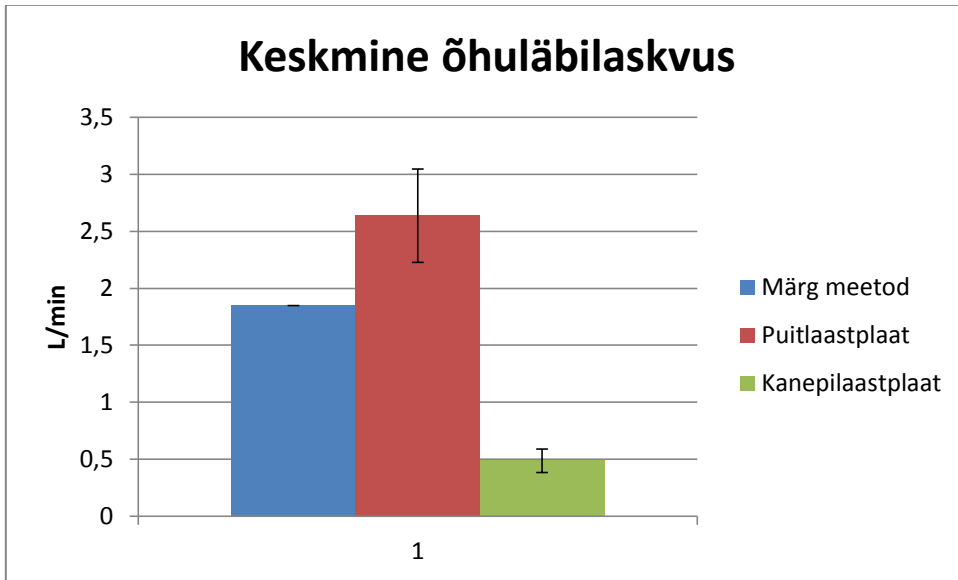
Joonis 25. Puitlaastplaadi, kanepiluuplaadi ja kanepikiudplaadi märgmeetodi õhuläbilaskvus

Tabel 16 Puitlaastplaadi keskmine õhuläbilaskvus

Nr	Rõhk, Pa	Õhuläbilaskvus, L/min
1	550	2,67
2	550	3,03
3	550	2,21
Keskmine		2,64
Standardhälve		0,41

Tabel 17 Kanepiluuplaadi keskmine õhuläbilaskvus

Nr	Rõhk, Pa	Õhuläbilaskvus, L/min
1	550	0,4
2	550	0,46
3	550	0,6
Keskmine		0,49
Standardhälve		0,10



Joonis 26. Puitlaastplaadi, kanepiluuplaadi ja kanepikiudplaadi märja meetodi keskmised õhuläbilaskvused

Kokkuvõte

Kanep on üks maailma vanimaid kultuurtaimi, mida on sajandeid kasvatatud vastupidava kiu ja õlirikaste seemnete saamiseks. Kanepitaime kõiki kasutusvõimalusi ei tea inimkond veel seniajani. Õnneks on eelmise sajandi keskpaigast kuni selle sajandi alguseni levinud kanepitaime kasvatuse keeld ja hirm selle taime ees, mis oli enamjaolt tingitud vale info levitamisest selle taime kohta, vaikselt lõppemas. Tööstusliku kanepi kasvatamise mahud ja sellest valmistatavate toodete arv on iga-aastaselt kasvutrendis, mis annab lootust, et ühel päeval peetakse tavapäraseks, et igas majapidamises on kanepist toodetud tooted tavapärane nähtus.

Käesoleva bakalaaurusetöö eesmärk oli anda ülevaade kanepiluuplaadi ja puitlaastplaadi omaduste võrdlusest. Kirjanduse analüüsi osas anti ülevaade kanepitaime ajaloost ja levikust maailmas ning selle taime kasutamise võimalustest tulevikus. Samuti anti ülevaade selle taime eeskujulikest füüsikalistest omadustest ja kirjeldati täpsemalt selle taime ehitust ja keemilist koostist. Veel toodi välja tööstuskanepist valmistatavad ehitustooted ja nende toodete tootmisviisid ning tootmisvahendid. Bakalaaurusetöö üheks osaks oli ka praktiline töö, mille käigus valmistati kanepiluu- ja puitlaastplaadid, millest saetud katsekehadega viidi läbi erinevaid katseid.

Võrreldes puitlaastplaadiga on kanepiluuplaadil paremad akustilised ja soojusisolatsiooni omadused. Kanepiluuplaadi tihedus on väiksem kui puitlaastplaadil, mis tõttu on seinaplaatide kasutamisel kanepiluuplaadil eelis puitlaastplaadi ees, esimese väiksema massi tõttu. Kui võrrelda aga plaatide vastupidavust füüsikalistele jõududele, siis selgub, et puitlaastplaat on tugevam ja vastupidavam kui kanepiluuplaad. Plaatide tugevus omadusi võrreldi käesolevas bakalaaurusetöös painde, plaadi pinnaga ristsuunalise tõmbe, kruvi väljatõmbe, õhuläbilaskvuse ning pundumise ja veeimavuse katsetega.

Kindlasti oleks saanud antud teemal veel rohkem erinevaid katseid teha ja täpsemates ning paremates tingimustes, aga antud bakalaauruse töö eesmärk oli võrrelda kanepiluuplaadi ja puitlaastplaadi põhilisi omadusi ning need välja tuua. Tuleviku teemaks jääb kanepiplaatide tootjatele kindlasti ökoloogiliste adhesiivide leidmine ja veel rohkemate kanepijäätmete kasutamine uute tootmisviiside kaudu.

Summary

Cannabis is one of the most ancient cultivated plants on the planet. People through out the ages have found this plant to be very useful in many different ways like, seeds for food, oil for medicine or fibers for clothing. Nowadays, when more people think about climate change and recyclable products and materials, has industrial hemp been given more notice as alternative construction material. Growing hemp is not outlawed anymore in many parts of the world and that has helped to spread the useage of different hemp products past couple of decades.

This Bachelor's thesis contains an overview of comparison the properties of hemp and wood particleboards. Also there has been described the history of hemp useage in the past, the products that can be produced out of hemp and the machinery that is needed to make these products. With the practical part of this Bachelor's thesis i had to manufacture some hemp and wood particleboards. And finally i had to make some labratory tests with test specimen to find out the physical properties of these particleboards.

Kasutatud kirjandus

1. Kallam, L., Tuubel, V., Virve, E. Taimest tulnud. Tallinn: OÜ Vali Press, 2012.
2. Kiik, H. Maailma viljad. Tallinn: Valgus, 1989.
3. Minnesota Department of Agriculture
<http://www.mda.state.mn.us/plants/hemp/industhempquestions.aspx> (05.06.2017)
4. Perfect Plant OÜ <https://www.perfectplant.ee/taime-varre-ehitus> (27.05.2017)
5. Colleen Keahey Portfolio <http://www.colleenkeahey.com/portfolio/> (05.06.2017)
6. Industrial Hemp Research Foundation <http://www.theihrfoundation.com/what-is-industrial-hemp> (05.06.2017)
7. Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., Bertucelli, S. The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds - European Industrial Hemp Association. 2013. [Online] Vote Hemp (03.06.2017)
8. Australian Hemp Masonry Company <http://hempmasonry.com.au/products-services/hemp/> (05.06.2017)
9. Allin, S. Building with hemp. Kerry: Seed Press, 2005.
10. Hemp Fabric UK <http://hempfabric.co.uk/> (05.06.2017)
11. Klyosov, A. A. Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons Inc., 2007.
12. Europly OÜ <http://www.vineer.eu/puitkiudplaat.html> (01.06.2017)
13. Saarman, E. Puiduteadus. Tartu: Eesti Põllumajandusülikooli kirjastus, 1998.
14. Kreg Tool Company <https://www.kregtool.com/about-us/news/kreg-tool-tips-wood-buying/particleboard--melamine.aspx> (06.06.2017)
15. Puidutöötlemine 1 / J. Pikk. Tartu: Eesti Põllumajandusülikooli Metsandusteaduskond, 1998.
16. Plywood Press <http://www.plywoodpress.com/products/hydraulic-hot-press-for-plywood/> (06.06.2017)
17. Media Schoenox <http://media.schoenox.net/> (07.06.2017)
18. Ulprospector
<https://www.ulprospector.com/en/eu/Coatings/Detail/20804/577721/Urea---Formaldehyde-Resins-KF-FE> (07.06.2017)
19. Puitplaadid. Tiheduse määramine. Eesti standard EVS-EN 323:2002.

20. Puitplaadid. Paindeelastsusmooduli ja paindetugevuse määramine. Eesti standard EVS-EN 310:2002.
21. Kruvide teljesuunalise väljatõmbe vastupanu määramine. Eesti standard EVS-EN 320:2011.
22. Puitlaastplaadid ja puitkiudplaadid. Plaadi pinnaga ristsuunalise tõmbetugevuse määramine. Eesti standard EVS-EN 319:2000.
23. Puitlaastplaadid ja puitkiudplaadid. Pundumise määramine paksuses pärast leotamist. Eesti standard EVS-EN 317:2000.
24. Thermal performance of buildings – Air permeability of building components and building elements – Laboratory test method. Eesti standard EVS-EN 12114:2000.