



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

**KANEPI KASUTAMINE LOODUSLIKE
EHITUSMATERJALIDE VALMISTAMISEKS**

HEMP USAGE FOR PRODUCTION OF NATURAL BUILDING MATERIALS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Daniel Laamanen

Üliõpilaskood: 134803KAOB

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/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Sisukord

Jooniste loetelu	4
Tabelite loetelu	5
Sissejuhatus	6
1. Kanepi omadused.....	7
2. Kanepi kaustusvõimalused	13
3. Kanepist isolatsioonmaterjalid	17
3.1. Kanepi kasvatamine.....	17
3.2. Kanepi eeltötlus kiudude ja luu saamiseks	20
3.3. Sideained kanepist ehitusplaadi ja kergploki valmistamiseks (Hempcrete).....	21
3.4. Looduslikud sideained	22
3.5. Looduslike ja sünteetiliste sideainete vastupidavus kergploki ja ehitusplaadi valmistamisel	24
3.6. Kanepist ehitusplaadi ja kergploki valmistamise tehnoloogia	25
3.7. Kanepi kogus ehitusplaadi ja kergploki valmistamiseks	26
3.8. Kanepist ehitusplaadi omadused ja kasutus.....	26
3.9. Kanepist kergploki omadused ja kasutus (Hempcrete)	27
3.10 Omaduste võrdlus traditsiooniliste plaatmaterjalidega.....	29
3.11 Tootjad.....	30
Kokkuvõtte	31
Kasutatud kirjandus.....	32
Summary	34

Jooniste loetelu

Joonis 1 Kanepi taime ehitus [3]	7
Joonis 2 Kanepikiudude massikaod kuivatuskapis [4].....	10
Joonis 3 Kanepikiudude massikaod temperatuuril 50°C [4].....	10
Joonis 4 Kanepikiudude massikaod temperatuuridel 100°C ja 150°C [4].....	11
Joonis 5 Kanepikiudude massikaod temperatuuril 200°C [4].....	11
Joonis 6 Valamise meetod [7]	15
Joonis 7 Pihustamise meetod [7].....	15
Joonis 8 Ploki konstruktsioon [7].....	16
Joonis 10 Veeimavus [14].....	24
Joonis 11 Soojusjuhtivus [14]	24
Joonis 12 Survetugevus [14]	25
Joonis 13 Erineva tihedusega kanepist ehitusplaadid [2].....	25
Joonis 14 Ehitusplaadi tootmisskeem [2].....	26
Joonis 15 Plokkide kasutusskeem [7].....	28
Joonis 16 HempiPANEL [19]	30
Joonis 17 HempiBLOCK [19].....	30

Tabelite loetelu

Tabel 1 Kanepi niinekiudude ja luude tähtsamate komponentide sisaldused [3]	8
Tabel 2 Kanepikiu füüsilised ja mehaanilised omadused [4].....	9
Tabel 3 Lämmastiku, fosfori ja kaaliumi optimaalne vajadus [10].....	18
Tabel 4 Mineraalainete kogused, mille taim mullast võtab ja mille tagasi annab [10].....	19
Tabel 5 Erineva eeltötlusega kanepivartelt eraldatud kiudude mehaanilised omadused [3]..	20
Tabel 6 Sideainete segu koostise suhet [14].....	22
Tabel 7 Ehitusplaadi parameetrid [2]	26
Tabel 8 Materjalide soojusjuhtivus [20].....	29
Tabel 9 Plaatmaterjalide mehaanilised omadused [18].....	29

Sissejuhatus

Kanep on üks vanematest kiududest. Aasias on kanep kasvanud rohkem kui 12 000 aastat, kuid Euroopas hakati kanepit kasvatama Rauaajal 1500 eKr [1].

Ehitusvaldkonnal on suur mõju keskkonnale. Keskkonnasäästlike uute materjalide arendamine on muutud väga oluliseks ja edasilükkamatuks vajaduseks, samaaegselt püütakse vähendada mittetaastuvate ressursside kasutamist. Traditsioonilistel ehitusmaterjalidel, mida kasutatakse ehitustes soojusisolatsioonina (nt klaas- või kivivill, pressitud või paisutatud polüstüreen, polüuretaanvaht), esinevad mitmed piirangud seoses nende mõjuga keskkonnale nende tootmise ja jäätmete käsitlemise protsessides. Need materjalid vajavad naftast saadud toorainet, kõrget töötlemise temperatuuri ja paljudel juhtudel ei saa neid hiljem enam taaskasutada.

Viimastel aastatel on uuritud võimalikke alternatiivseid keskkonnasäästlike materjale. Põhjalikult on uuritud komposiitmaterjale, mis sisaldavad looduslikku kiudu (džuut, lina, kanep, puuvill, tselluloos). Need kiud omavad madalat soojusjuhtivust, madalat tihedust, head tõmbetugevust. Lisaks saadakse looduslikku kiudu taastuvatest ressurssidest, millest tuleneb märgatavalt väiksem keskkonna mõju võrreldes traditsiooniliste ehitusmaterjalidega.

Kanep (*Cannabis sativa*) on looduslikest kiududest saanud palju tähelepanu sellepärast, et sellel on hea soojusisolatsioon, head mehaanilised omadused, väike kasvuperiood (90-120 päeva), suur biomassi juurdekasv (4-5 korda suurem kui metsa puhul) ja suur süsiniku sidumise potentsiaal. Seoses eelnevalt kirjeldatud omadustega, on uuritud kanepiluu tooteid ja kanepikomposiitmaterjale, mis on kokku pandud orgaaniliste ja anorgaaniliste sideainetega. Peale seda, kasutatakse kanepit ka kanepibetooni (Hempcrete) valmistamiseks, mida kasutatakse seinatäidisena, põranda ja katuse soojustamiseks.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada, kas Eesti tingimustes oleks kanep alternatiivne tooraine ehitusmaterjalide valmistamiseks. Anda kirjanduse ülevaade kanepi taime omadustest, kanepikiu ja -luu omadustest, selgitada kanepiplaadi ja kergploki omadusi ning tootmistehnoloogiaid.

1. Kanepi omadused

Kanepikiud pärineb tööstuskanepi taime varrest, mis koosneb kahest osast - niinekiududest ja kanepiluust (Joonis 1). Taime välispinnal on epiderm, mis on kaetud karvastega ja kutiikulaga. Varre sees olev säsi laguneb taime õitsemise ajaks ja tsentrisse tekib auk. Niinekiu kimbud on omavahel ühendatud pektiinainega ja koosnevad elementaarkiududest. Samasuguste pektiinainest plaadikeste abil on kiukimbud ühendatud ka ümbritseva põhikoega[3].



Joonis 1 Kanepi taime ehitus [3]

Varre ladvaosas on kiusisaldus suurem ja tihedam kui alumises osas, kõige rohkem kiudu on välimises kimburingis. Mida rohkem sissepoole, seda puitunumad ja vähem elastsed, lühemad ja väiksemates kiukimpudes on kiud. Kanepiluud koosnevad trahheedest, parenhüümirakkudest ning puitkiududest, mis transpordivad vett ja toitaineid, tagavad taimevarre püstise jäikuse [3].

Tabel 1 Kanepi niinekiudude ja luude tähtsamate komponentide sisaldused [3]

Kanepi osa	Kiu pikkus (mm)	Raku laius (µm)	Tuha sisaldus (%)	Alfa-tselluloos (%)	Hemi-tselluloos (%)	Ligniin (%)
Niinekiud	5-55 Keskm. 30	18-25 Keskm. 22	5	62-67	8-15	4
Luud	0.5	25	puudub	35-38	18-31	18-20

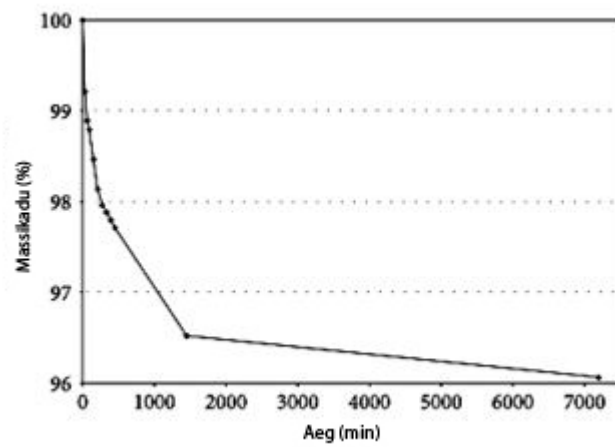
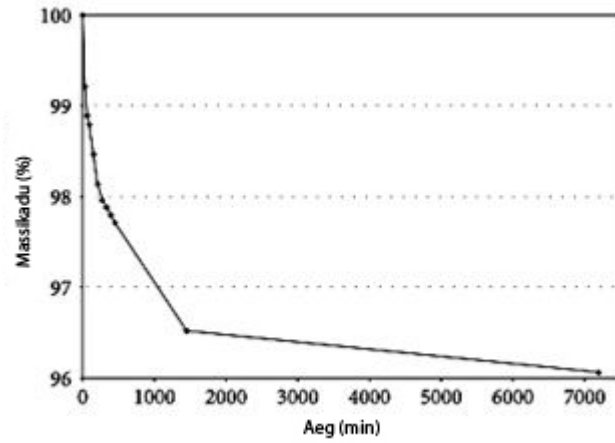
Keemiliselt koosneb kanep tselluloosist, hemi-tselluloosist, ligniinist ja pektiinist (Tabel 1). Füüsilisi omadusi mõjutavad kõige rohkem tselluloos, hemi-tselluloos ja ligniin. Nendest annab kõige rohkem tugevust ja jäikust tselluloos. Näiteks, tselluloosi protsendiline sisaldus võib varieeruda vahemikus 55-78%, hemi-tselluloosi sisaldus 2-22%, ligniini sisaldus 3-13% ja pektiini võib olla 1-20%, kusjuures teiste keemiliste ainete sisaldus on 1-7%. Nende ainete protsendiline sisaldus sõltub sellest kus on taim kasvanud ja millistes tingimustes. Kiu diameetrit ja teisi omadusi mõjutavad sellised tegurid nagu päritolu, vanus, leotamise- ja eraldamistehnoloogia, sademete kogus kasvuajal. Suur koostiline erinevus osutub suureks puuduseks kanepikiududes, kuna ta mõjutab märgatavalt kiudude füüsilisi ja mehaanilisi omadusi. Peamised tegurid, mis mõjutavad füüsilisi ja mehaanilisi omadusi on kristalliinsus, mikrofibrilli nurk, peensus, poorsus, luumenite suurus ja kuju, niiskus ja temperatuur. On uuritud, et kanepikiu keskmine diameeter on 30 µm ja kiu keskmine pikkus on 8,46mm[4]. Tabelis 2 on toodud välja kanepikiu omadused.

Tabel 2 Kanepikiu füüsilised ja mehaanilised omadused [4]

Parameeter	Väärtus
Pikkus, mm	8,14-14
Diameeter, μm	17-23
Suhe	549
Miktofibrilli nurk	6,2
Niiskussisaldus, %	12
Tõmbetugevus, MPa	310-750
Elastsusmoodul, GPa	30-60

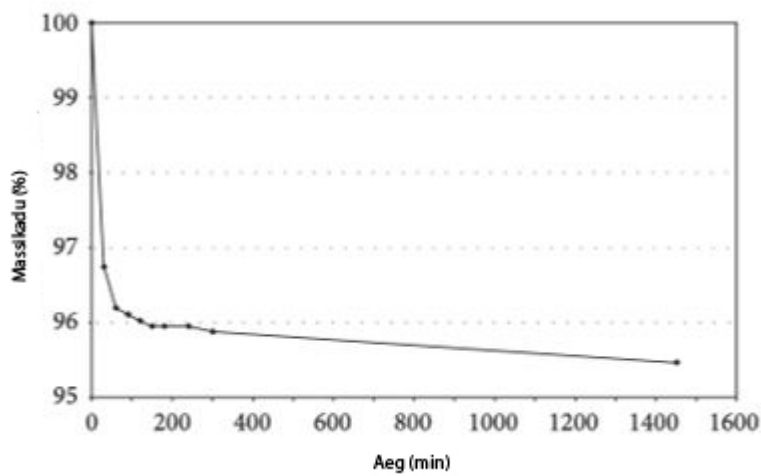
Kanepikiud on poorsed ja sellepärast imavad hästi vett nagu kõik looduslikud kiud. Kuumutamise käigus hakkab vaba niiskus eralduma ja selle tulemusena väheneb kiudude mass. Massi kaotusi seoses temperatuuri tõusmisega on täpsemalt uuritud [4] kasutades kanepikiududest valmistatud matte, mis on mõõdult 250 x 200 mm. Antud matid olid pärit Inglismaalt ja neid oli kuumutatud umbes 30 min temperatuuril 50°C, 100°C, 150°C ja 200°C. 30 minutist piisab suurima koguse niiskuse eraldamiseks, ning kauem kuivatamine ei ole juba soovitatav majanduslikel kaalutlustel. Samuti teostatakse massikaotus katsetust kuivatuskambris, kus kuivatusaineks kasutatakse vasksulfaati. Eelnevalt on viidud katsekehade suhteline niiskus 50%-ni temperatuuril 23°C [4].

Kuivatuskapis kuumutamist ei teostata, vaid kasutatakse kuivatusainet, antud juhul vasksulfaat, mis seob eralduvat niiskust. Teostatud katsetulemused on näha Joonisel 2. Suurem osa niiskusest eraldus juba alguses ja pärast 1500 min niiskuse eraldumine tasakaalustub. Pärast 7200 min kuivatamist kadus 4% algsest massist [4].

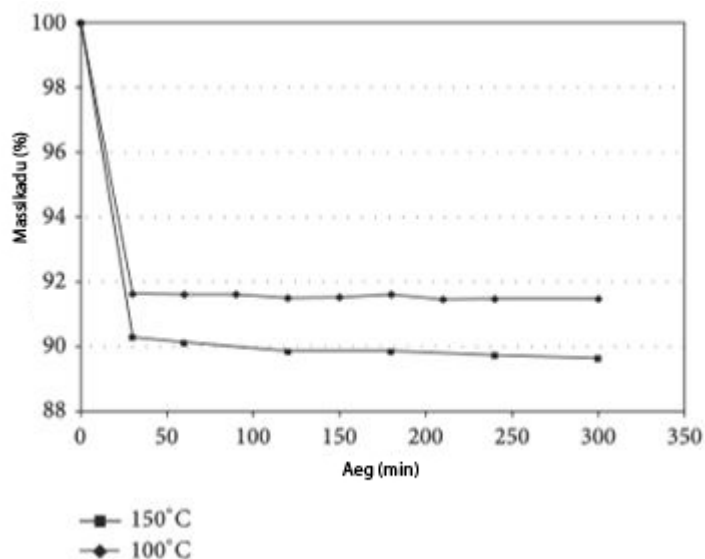


Joonis 2 Kanepikiudude massikaod kuivatuskapis [4]

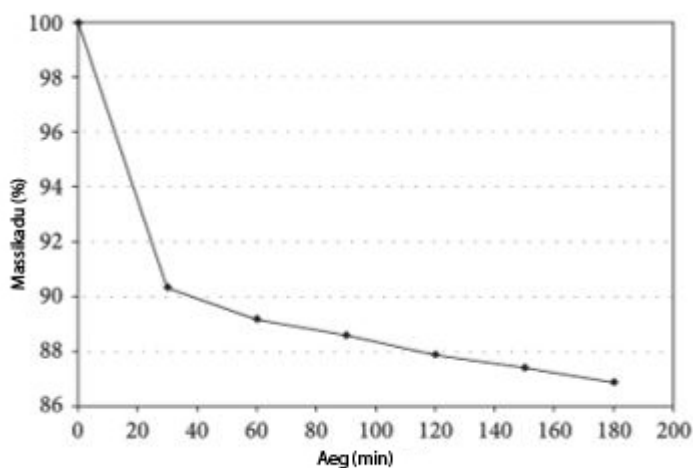
Massikaod mis toimuvad suurematel temperatuuridel katsetatakse konstantsel temperatuuril, mis antud juhul olid 50°C (Joonis 3), 100°C (Joonis 4), 150°C (Joonis 4), 200°C (Joonis 5) [4].



Joonis 3 Kanepikiudude massikaod temperatuuril 50°C [4]



Joonis 4 Kanepikiudude massikaod temperatuuridel 100°C ja 150°C [4]



Joonis 5 Kanepikiudude massikaod temperatuuril 200°C [4]

Temperatuuril 150-200°C algab termiline lagunemise protsess, millega on seotud järgnevad massikaod. Kõige kiirem termiline lagunemine on temperatuuril 250°C, mis on seotud hemitselluloosi ja ligniini lagunemisega, nende lagunemistemperatuurid on 270°C. Tselluloosi lagunemine algab temperatuuril 360°C. Üle 400°C juures hakkavad lagunema kiududes olevad jäägid. Termilise lagunemise neljaks etapiks saab lugeda temperatuuri vahemikud 50-160, 250-320, 390-400 ja 420°C [4].

Peamised kvaliteedinäitajad, mida kiudude puhul hinnatakse, on peensus (mõõdetakse joontiheduse Tex alusel – 1000 m. mass grammides), elastusmoodul e. paindetugevus

(N/mm²), purunemiskiir e . tõmbetugevus (cN – max. tõmbejõud kiu tõmbepikenemisel purunemispunktis) ning sitkus (tõmbetugevuse ja joontiheduse suhe N/tex) [2].

Niiskuse sisaldus mõjutab kanepi kiudude tõmbetugevust: mida rohkem on niiskust, seda halvem tõmbetugevus. Ebahütlase struktuuri pärast ei ole tõmbetugevus samasugune kogu kiu ulatuses. On olemas hulknurksed ja ringkujulised kanepikiud ja nende sisaldus võib varieeruda. Sõltuvalt sellest ei ole võimalik kasutada üldistatud keskmist laiust või diameetrit tõmbetugevuse hindamiseks. Eelnevalt tehtud uurimuses [4], kus keskmiseks kanepikiu laiuseks oli $67 \pm 26 \mu\text{m}$, tõmbetugevus oli $277 \pm 191 \text{ MPa}$ ja elastsusmoodul $9,5 \pm 5,8 \text{ GPa}$ [4].

Pinnaenergiast sõltub kui hästi materjalid nakkuvad teineteisega. Kanepikiudude pinnaenergia väärtus on praktiliselt samasugune küllastamata polüestriga 35 mJ/m^2 . Polaarseid ainetel on see suurem, kui dispersioonsetel. Kanepikiududel esineb rohkem polaarseid sidemeid, lähtuvalt sellest nad nakkuvad paremini mittepolaarsete polümeermaatriksitega [4].

2. Kanepi kaustusvõimalused

Kanepit kasutatakse laialdaselt nii tööstus- kui tarbetoodete tegemiseks, nt nõör, riided, toit, paber, plastik ja biokütus. Oksüdeeritud, kanepi õli, muutub tahkeks, mida võib juba kasutada õlivärvides, kreemides niisutava ainena, toidu valmistamiseks ning plastikute tegemiseks. Kanepiu seemned lisatakse ka lindude toidu sisse. Euroopa Liidus kasutati aastal 2003 rohkem kui 95% kanepi seemnetest linnutoidu jaoks. Kanepi seemned võib toorena süüa, lisada toidule, kasvatada või teha nendest jahu. Kanepi lehti lisatakse ka salatitele. Samas võib kanepist teha ka piima, kanepi mahla ja teed. Kanepi õli on külmalt pressitud seemnetest ja on kõrge küllastamata rasvhapete sisaldusega. Kroovitud kanepi seemned on toiteväärtusega 586 kcal/100g. Nad sisaldavad 5% vett, 5% karbohüdraate, 49% rasva ja 31% valke. Umbes 73% energiat kanepi seemnetes on rasva ja rasvhapete kujul, mis peamiselt esinevad polüküllastumata rasvhappena, oleiinhappena, alfa-linool- ja linoolhappena. Kanepi õli oksüdeerub väga kiiresti ja mädeneb. Seda peab säilitama külmutatud kinnises anumas, mis ei lase läbi nii valgust kui ka õhku [5].

Erinevad tooted alates nõöridest, kangastest, tööstuslike materjalideni tehakse kanepist. Tänapäeval on olemas mõõdukas kanepi tööstus ning kiud on kasutuses riiete tootmisel. Puhas kanep on sarnane lina tekstuuriga. Kanepist köisi oli laias kasutuses purjelaevadel, kuigi seda pidi katma tõrvaga, et kaitsta mädenemise eest ja seejärel murdumast. See on seotud kanepi kiu kapillaaride toimega hoida vedeliku sees ning olla näilisest kuiv. Kanepist nõöri asendas nn Manillakanep, mis saadakse kanepbanaani ebavartest ja leherootsude äärtest, kuna ta on kerge, tugev ja vastupidav aine, mis ei vaja tõrvamist [5].

Kanepit saab kasutada nt heitvee puhastamiseks lisanditest. Seda meetodit nimetatakse fütoremediatsiooniks – selle käigus tehakse puhtaks nii raadioaktiivsetest isotoopidest kui ka teistest toksiinidest mullas, vees või/ja õhus. Seda meetodit kasutati Chernobyl-is puhastamiseks peale tuumakatastroofi [5].

Klaaskiu, kanepikiu ja hariliku lina segu kasutatakse aastast 2002 auto komposiitpaneelide valmistamiseks. Valides, millist kiudu kasutada, arvestatakse hinda ning kättesaadavust. Paljud autode tootjad hakkavad kasutama kanepit oma autode valmistamises, k.a. Audi, BMW, Ford, Honda, Mercedes, Porsche, Volkswagen ja teised. Näiteks, C-klassi Mercedes sisaldab kuni 20kg kanepit igas autos. Biodiisli võib teha kanepi seemnetes, vartes sisaldavatest õlidest ja alkoholist (etanooli, vähem levinud, metanooli). Biodiisli, mis on saadud kanepist, nimetatakse ka „hempoline“ [5].

Kanepikiu on hea komposiitmaterjalide tugevdaja tänu nii suurele tõmbetugevusele ja jäikusele, kui ka suurele kiu pikkuse ja diameetri suhtele ning väiksele tihedusele. Puudusteks saab lugeda omadusi, mis on loomulikud looduslikele kiududele, sellised nagu mitteühtlased kasvutingimused ja sellest tingitud suured omaduste varieeruvused, mitte sile pind ja halb vastupidavus niiskusele, veeimavus, ning lagunemine [6].

Kanepi kiudu saab kasutada lisandina termoplastides, termoreaktiivides ja biolagunevates plastikutes. Kõige suurem puudus kanepikiudude kasutamisel termoplastides on nende töötlemistemperatuur, mis peab olema madalam, kui 230°C. Suurematel temperatuuridel looduslik kiud hakkab lagunema. Polüetüleen ja polüpropüleen saab kasutada koos kanepikiududega komposiitmaterjalides, kuna nende töötlemistemperatuur ei ületa 230°C. Polüestrite, polüamiidi ja polükarbonaadi töötlemise temperatuur ületab 250°C ja sellisel juhul kanepikiud termiliselt laguneks. Seega neid ei ole võimalik koos kasutada. Termoplastidega on raske määrada kanepikiudusid ja tulemusena on termoplastikute ja kanepikiudude vahel halb nakkuvus. Temperatuuri tõstmisel polümeeride viskoossus kahaneb, kuigi sellel juhul on võimalik kahjustada kanepikiude. Komposiitmaterjalid, mis koosnevad termoplastsest maatriksist ning looduslike kiududega täiteainest, on hästi painduvad, sitked ning heade mehaaniliste omadustega [6].

Enam kasutatavad termoreaktiivid on polüester, epoksüvaik ja vinüülester. Komposiitmaterjalidel, mis on valmistatud kanepikiududest ja termoreaktiivist on keemiliselt inertsed, sitked ja omavad väikest roomavust. Kiud võivad taluda 80% kogu koormusest. Nende materjalide mehaanilised omadused sõltuvad kanepikiudude ja polümeerse maatriksi vahelisest nakkuvusest. Sellisel juhul mõjutavad kaheainevahelist nakkuvust mehaaniline kinnitumine, molekulidevahelised jõud (van der Waalsi jõud), vesiniksidemed ja keemilised sidemed, mis tekkivad polümeeri ja kiu vahele. Kanepikiu pinnal on palju hüdroksüülrühmi, mis moodustavad vesiniksidemeid polümeeri peaaehela hüdroksüülrühmadega [6].

Esmane ülesanne kanepilubja segul ehituses on luua vastupidav kiht, mis tagab kaitse külma, soojuse, müra ja niiskuse vastu. Samas see materjal passiivselt reguleerib siseruumi mikrokliimat ja säilitab temperatuuri ja suhtelise niiskuse inimesele tervislikus vahemikus, vastavalt 40 kuni 55 % ning 19 °C kuni 24 °C. Peamiselt kasutatakse seda seinakonstruktsioonides primaarse ehituskonstruktsiooni korral, mille puhul kasutatakse puitu mitte terast kondensaadi tekkimise vältimiseks. Soovitatav kihi paksus on tavaliselt 250 mm kuni 500 mm. Hetkel on kasutusel neli erinevat meetodi:

1. Valamise meetod. See rakenduse meetod on kõige kasutatum enamikus riikides. Koostisosad segatakse partiidena ja siis käsitsi valatakse vormi (Joonis 6). Meetod kulgeb kiiresti väikeste ja keskmiste ehitusprojektide korral. On võimalik kasutada püsivaid vorme nt puidust tehtuid.



Joonis 6 Valamise meetod [7]

2. Pihustamise meetod. Kasutust on leidnud suuremate projektide korral, kuna vajab erivarustust ja seda kasutavaid operaatorid mis teeb selle kalliks. Kanepilubja segu pihustatakse seina poole, põrandale või lae süvendisse (Joonis 7). Meetod ei ole nii soositud kui valamise meetod, kuna tekib suur jäätmehulk: 10%.



Joonis 7 Pihustamise meetod [7]

3. Plokkide kasutamine on populaarne, töötajatele on tuttav plokkide asendamise tehnoloogia. Kuid plokid ei oma piisavat tugevust, et kasutada neid konstruktsiooni elementidena. Seega peab neid toetama tellistest, puidust või terasest raam (Joonis 8).



Joonis 8 Ploki konstruktsioon [7]

4. Valmis detailide meetod. Valmis detailide tootmine tagab kõige parema täpsuse, järjepidevuse tootjale ja hoone efektiivsuse. Meetod põhineb puitkarkassi täitmisel kanepilubja seguga. Ligikaudne hind valmis tootele on 170€m³ (Joonis 9) [7].



Joonis 9 Puitkarkass täidetud kanepilubjaga [7]

3. Kanepist isolatsioonmaterjalid

3.1. Kanepi kasvatamine

Tööstuslik kanep on vastupidav ümbritseva keskkonna tingimustele ning seda on võimalik kasvatada väga erinevatel mullatüüpidel. Kõige sobivamaks loetakse hästi vett läbilaskvat liivsavi mulda, milles on palju orgaanilist materjali ja millel on kõrge mullaviljakus. Taime jaoks on optimaalne pH 6.0-7.5. Kanep on tundlik raskete muldade ja vähe armeeritud mulla suhtes. Põldude kuivatamine on oluline sellepärast, et kanepi taimed ei talu üleujutusi. Kuigi on võimalik kasvatada kanepi taimi rasketel muldadel ja madalatel aladel on katsed näidanud, et biomass ja varre pikkus võivad jääda samaks, aga kiudude kvaliteet langeb [8].

Kanep võib kasvada erinevates keskkonnatingimustes, sest tal on hea kohanemine erineva kliimaga. Taimed taluvad külmemat ja soojemat kliimat ja on vastupidavad öökülmade suhtes, kuid optimaalne kasvutemperatuur on siiski 14-27°C. Vanematel kanepitaimedel on suurem külmade temperatuuride taluvus, kuni -6°C. Kasvuperiood kanepi sortidel, mis kasvavad Põhjamaades on 90-120 päeva ja nende idanemise temperatuur peab ületama 10°C [8].

Esimestel 6 nädala jooksul on taimel vaja ohtralt vett, pärast head juurdumist saavad need kasvada ka kuivemates tingimustes. Kääbustaimed tekkivad kui ole piisavas koguses vett, mis omakorda ka kiirendab valmimist. Optimaalse arengu korral vajab kanepitaim keskmiselt 500-700 mm niiskust ja vegetatiivse perioodi korral 250-300 mm niiskust (niiskus sisaldab sademeid kui ka mullaniiskust). Kuna kanep kasvab kiiresti, peab mullas olema palju toitaineid ja need peavad olema hästi kättesaadavad. Toitainete vajadus on vegetatiivsel perioodil suurem [8].

Kanepitaimed mida kasvatatakse Euroopa riikides sõltuvad palju juuni ja juuli sademete hulgast. Seemnete tootmisel on eriti oluline hea kastmine, kuid muidu on kanep üks põuatolerantsemaid liike [8].

„Euroopas on piirkonnad kus arendatakse tööstuskanepi töötlemist ja kasvatamist käsikäes ning kasvupinnad suurenevad. Moostes läbi viidud põldkatsed näitavad, et meie ilmastiku tingimustes on võimalik saada arvestatavat kiukanepi saaki kuni 11 t/ha, kiusaaki kuni 4 t/ha ja õlikanepi seemnesaaki kuni 3 t/ha.“ (*Kalju Paalman, Jõgeva SAI Mooste katsejaam*) [8].

Taime kasvu jagatakse 6 faasi.

1. Idanemine
2. Aeglase kasvu periood, mis kestab esimeste lehtede ilmumisest viienda lehepaari moodustamiseni
3. Kiire kasvu periood, mis kestab kuni õiepungade moodustamiseni
4. Õiepungade moodustamisest esimeste õiteni
5. Õitsemisperiood
6. Seemnete moodustamine

Kanepiseemet saab külvata teravilja külvimasinatega. Külvamiseks saab kasutada ainult seemet, mis on sertifitseeritud ja mis on pärit sertifitseeritud seemnemüüjalt. Külvinorm sõltub kasvatatava kanepi eesmärgist, nt kanepi, mida kasvatatakse seemnete tootmise jaoks, külvinorm on kaks korda madalam kui kiukanepi oma, mis omakorda on umbes 30 ja 65 kg/ha. Kuigi konkreetne soovituslik number sõltub konkreetsest sordist. Mida hõredamalt on külvatud seemned, seda rohkem haruneb taim jäädes madalamaks. Seega kasvatab ta rohkem õisikuid ja annab ka rohkem seemnesaaki. Tihedalt külvatud taime korral on olukord vastupidine, ta ei harune ja annab pika varre millest saab kvaliteetset kiudu [9].

Seemneid külvatakse 2 - 5 cm sügavusele mulda, kusjuures on oluline mulla vaheline kontakt. Külviks sobiv optimaalne mullatemperatuur on 10°C ja minimaalne 6°C. Seemned hakkavad idanema pärast 24-48 tundi pärast külvamist ja esimesed lehed ilmuvad 5-7 päeva möödudes. Kasvu pidurdumine ja saagikuse langemine võib olla seotud varasema külvamisega [9].

Optimaalseks lämmastikuvajaduseks on kuni 200 kg N/ha või 13 – 15 kg N/t kuivaine kohta. Lämmastiku puudus võib tekitada kasvu väikseks jäämist, sest jäävad vahele teatud kasvuetapid. Saagise vähenemist, lämmastikku puuduse tõttu, põhjustab väike taime pikkus, lehtede pindala ja sellest tingitud päikesekiirguse kasutamise efektiivsuse langemine [10].

Lämmastikku ei soovitata otseselt mulda viia, kuna on võimalik, et see leostab mulda. Suure lämmastiku koguse korral on lehed liiga kaua taime küljes ja varred säilivad kauem rohelistena, see võib kahjustada kiu kvaliteedi [10].

Kaaliumi ja fosfori tarbib taim kõige rohkem õitsemise ja seemnete moodustamise protsessi käigus. Kanepil on suur kaaliumivajadus ning seda on võimalik omastada mulla sügavamatest kihtidest. Keskmine kogus on 75-150kg/ha, võib isegi ulatuda kuni 300kg/ha. Fosforivajadus on väiksem: 50-70 kg/ha. Fosfor mõjutab kiu elastsust ja tugevust. Selle piisav kättesaadavus on oluline kvaliteetse kiu saamiseks. Tabelis 3 on toodud optimaalsed toitainete vajadused [10].

Tabel 3 Lämmastiku, fosfori ja kaaliumi optimaalne vajadus [10]

Kanepitüüp	Lämmastik (kg/ha)	Fosfor (kg/ha)	Kaalium (kg/ha)
Kanep kiu eesmärgil	80	60	150
Kanep seemnete eesmärgil	40	60	150

Kaltsiumit vajab taim samapalju kui kaaliumi ning piisavad kogused on mullas olemas. Happeliste muldade korral soovitatakse lisada lupja. Magneesiumivajadus on sama suur fosfori vajadusega. Kuigi kanep vajab suuri toitainete koguseid, annab kanep suure osa toitainetest põllule tagasi. Saagikoristus toimub pärast lehtede langemist ja lehtede mineraalainete sisaldus on suur. Tabelis 4 on toodud suhted, kui palju omastatavatest mineraalainete kogustest kandub läbi erinevate protsesside mulda tagasi [10].

Tabel 4 Mineraalainete kogused, mille taim mullast võtab ja mille tagasi annab [10]

Toitaine	Taime poolt omastatud (%)	Omastatud kogusest juhitakse tagasi mulda (%)
Lämmastik	31	69
Fosfor	67	33
Kaalium	47	53
Magneesium	28	72
Kaltsium	28	72

Kanepil on rohkem kui 300 kahjuri ja üle 100 haiguse, kuid enamus neist ei tekita mingit majanduslikku kahju. Kahjurid ja haigused, mis võivad saaki kahjustada on: euroopa teravilja puuriia (*Ostinia Nubilalis*), kanepi kirp (*Psilliodes Attenuata Koch*), taimevähk (*Sclerotinia sclerotans*), kanepi soomukas (*Orobanchae Ramosa*) [11].

Aastal 2005 on Saaremaal kasvatatud tööstuskanepit, kuid saagiga polnud midagi teha, sellepärast, et kasvatati ainult 2 hektarit. Kasu saamiseks on kultuurikasvatajale vaja maha panna vähemalt 20 hektarit tööstuskanepi. Sel ajal huvilisi ei olnud, et tegeleda selliste kanepimahtudega [12].

Finola kanepiseemne hinnaks on 9-10 €/kg. Aastal 2016 oli kokkuostuhind kvaliteedinõuetele vastav seeme tavapõllumajandusest alates 1200 eur/tonn ja kvaliteedinõuetele vastav sertifitseeritud maheseeme alates 1900 eur/tonn [21].

3.2. Kanepi eeltöötlus kiudude ja luu saamiseks

Liiga pikad ja jämedad varred on raskesti koristatavad ning kiu saagikus ja kvaliteet langevad. Kiudude spektroskoopiline analüüs on näidanud, et taime vananedes ligniini sisaldus tõuseb, pektiini sisaldus langeb, tulemusena taime varred hakkavad puituma. Sellest tulenevalt on ka niinekiudu hilisemas kasvustaadiumis raskem luudest eraldada ning võib suurenda oht kahjustada kiude. Eraldatavus ning saadavate kiudude omadused nagu elastsus ning tõmbetugevus on paremad taime varasemates kasvustaadiumites. Halvenevad aga taime vananedes ning ligniini sisalduse tõustes. Leotamata taime vartelt on kiueraldus kergem ning saadaval kiul on parem kvaliteet, kui saak on koristatud enne seemnete valmimist. Seemnete valmimist loetakse kriitiliseks punktiks, millest edasi vars puitub ning kiudude kvaliteet langeb, kuna kiud muutub nõrgemaks. Kanepi niinekiudude kasutamise põhjendatus erinevates rakendustes sõltub suuresti nende omadustest ja kvaliteedist peale dekortikeerimist e. kiudude mehaanilist eraldamist luudest [3]. Tabelis 5 näidatud eeltöötlemise mõju kanepikiu omadustele.

Tabel 5 Erineva eeltöötlemisega kanepivartelt eraldatud kiudude mehaanilised omadused [3]

Eeltöötlemis printsiip	Peenus (Tex)	Tõmbetugevus (N)	Sitkus (N/Tex)
Leotamata kanep	14.9	46.9	33.8
Vähe leotatud kanep	8.1	64.3	33.9
Leotatud kanep	7.4	72.6	43.2

Selleks, et kasutada kanepit või lina tekstiili tootmiseks ja teistes kõrge kvaliteediga rakendustes, peab eraldama niinekiud varrest. Leotamine on mikroobne protsess, mille käigus keemilised sidemed, mis ühendavad varre, lähevad katki ning niinekiud eraldub puitunud osast. On olemas kaks traditsioonilist leotamise meetodit: vees ning leotamine õhu käes välistingimustes [13].

Leotamiseks välistingimustes lõigatakse maha taimede varred või tõmmatakse need mullast välja ning jäetakse õues mädanema. Talumehed jälgivad protsessi lähedalt kindlustades, et niinekiud eralduvad puitunud osast ilma kvaliteeti kahjustamist. Niiskus on vajalik, et

mikroobne lagunemine toimuks, aga ilm peab olema piisavalt kuiv, et varred kuivaks. Kuigi ilma muutused mõjutavad kiudude kvaliteeti, kasutatakse antud meetodit ulatuslikult, sest ta on odav, mehhaniseeritav ning ei vaja vee kasutamist [13].

Veega leotamisega saadakse rohkem ühetaolisi kõrge kvaliteediga kiude, aga antud protsess on väga töö- ja kapitalimahukas. Varred kastetakse vette ja seda protsessi jälgib operaator. Talumehed ja/või töötajad peavad olema teadlikud kiudude kvaliteedist. Lisaks sellele, protsess vajab suurt kogust spetsiaalselt eeltöödeldud puhast vett. Veeleotamise meetodit ei kasutata riikides, kus tööjõud on kallid või on olemas ranged keskkonna nõuded. Suurem osa kanepikiududest, mis on hetkel kasutuses tekstiili tootmises, on tehtud vees leotatud meetodiga Hiinas või Ungaris. Teadlased arvavad, et täiustatud mikroorganismid või otsene ensüümide kasutamine annaksid Euroopale ja Põhja-Ameerikale võimaluse toota kvaliteetset kiudu [13].

Siis kui varred on leotatud, kuivatatud ja pakitud, tuuakse need töötlemis asukohale. Mehhaanilise kiudude eraldamise protsessi käigus varred liiguvad kahe kurdfiltrirulli vahele purustamisele eesmärgiga teha puitunud osa ehk luu katki lühikesteks tukkideks, eraldades mõne osa niinekidudest. Ülejäänud kiud jagatakse protsessis - scutching. Kiudude kimbud haaratakse kummivööde või kettide vahele ning liigutatakse mööda pöörlevat trummi, kus, eralduvad luud ja lühikesed või katkised kiud ülejäänud pikkadest kiududest [13].

3.3. Sideained kanepist ehitusplaadi ja kergploki valmistamiseks (Hempcrete)

Tavaliselt sideainena kanepi komposiitides (*LHC – hemp-lime composites*) kasutatakse lupja. On võimalik kasutada kustutatud, kui ka kustutamata lupja või formuleeritud lupja, kuhu on sisse toodud putsolaani, et parandada hüdraulilisi omadusi. Putsolaan võib olla looduslik (vulkaaniline tuhk, pimss) või kunstlik (mikroränimuld, metakaoliin). Kustutamata lubjal ja formuleeritud lubjal on paremad tugevus näitajad kui kustutatud lubjal. Kanepist kergplokkide, kus sideainena on kustutatud lupja ei saa kasutada ehituses, kuna nad ei oma piisavad mehaanilist jäikust. Peamiselt, kasutades kustutamata lupja sideainesegu valmistamiseks, peab kanepiluu ja sideainete suhe olema 0,4-0,5. Vett on vaja, et kogu segu kleepuks kokku [14].

Dolomiitne lubi on kaltsium karbonaadi ja magneesiumkarbonaadi segu. Selle kasutamine sideainena on soovitatav, kui sisekihid omavad nõrka tugevust. Kergplokkide korral on väliskiht tugev, kuid seest ei ole segu korralikult kleepunud. See on seotud keemilise reaktsiooniga, mis toimub orgaanilise kanepiluu ja aluselise lubja vahel [14].

Tsement sideainena annab kanepi komposiitidele häid mehaanilisi omadusi, kuid tsemendi tootmine on keskkonda reostav. Veel üheks mineraalseks sideaineks on kips. Ta on vees lahustuv, selle pärast on tema kasutamine piiratud. Saab kasutada toatingimustes kipsivahu kujul. Välistingimustes kasutamiseks on vaja lisada tsementi ja putsolaani, mis parendavad tugevust ja vastupidavust [14]. Tabelis 6 on väljatoodud segude erinevad suhted massi järgi.

Tabel 6 Sideainete segu koostise suhet [14]

Tüüp	Kanepi luu	DL60	NHL2	Kips	Tsement	Metakaoliin	Tradical HB	Vesi	Suhe
DL	1	0,83	-	0,08	-	0,27	-	1,8	0,85
NHL	1	-	2	-	-	-	-	1,86	0,50
NHL- W	1	-	2,5	-	-	-	-	2	0,40
GCP	1	-	-	1,2	0,4	0,4	-	2	0,50
GCP- W	1	-	-	1,38	0,46	0,46	-	2,08	0,40
GC- TR	1	-	-	1	0,32	0,32	0,58	2,08	0,45

DL60 on dolomiitne lubi, mida valmistab firma „Saulkalne“ Lätis. NHL2 on kustutatud lubi. Tradical HB on spetsiaalne patenteeritud kanepiluu sideaine ja GC on kipsi ja tsemendi sideaine [14].

Innovatiivseks sideaineks on praegu patenteeritud orgaaniline-anorgaaniline sideaine, mis põhineb magneesium oksidi reageerimisel magneesiumkristallhüdraadi ja taimevalguga. Sideaine ei sasalda naftakeemilisi aineid [16].

3.4. Looduslikud sideained

Looduslikud liimid on liimid, mis on toodetud looduslikutest, mittemineraalsetest ja orgaanilistest allikmaterjalidest. Need liimid peavad omama sünteetiliste liimide toimivust ja võrdseid mehhaanilisi omadusi võrreldes traditsiooniliste liimidega nagu karbamiid-formaldehüüd vaik, melammin karbamiid-formaldehüüd vaik, fenoolvaik, PVA (polüvinüülatsetaat), isotsüanaatvaik [18].

Ligniini põhinevaid vaikke on võimalik kasutada ehituspaneelide tootmises, kuid on vaja lisada väike kogus sünteetilist, formaldehüüdvaiku, et seotada ligniin omavahel. On leitud, et ligniini baasil vaigud on kaubanduslikult elujõulised, mis omakorda on seotud plaadi pressimis ajaga. Vineer on ainuke kaubanduslikult toodetud komposiitmaterjal, mille korral on kasutatud ligniil põhinevat vaiku, mis koosnes ligniin/formaldehüüd vaigust (30%) ja fenoolvaigust (70%). On eraldi uuritud formaldehüüdvaigu vähendamist, kus kasutati eelnevalt metüleeritud ligniini, fenoolvaiku (PF) ja polümeerset 4,4-metaandiisotsüanatti (PMDI). Vaigusegu suhtega 22/26/52, PMDI, PF, ligniin, kasutati puitlastplaadi (PLP) tootmises, mille kuivaks sise-sidususeks oli saadud 0.85 MPa. Ligniin vaik kuivab väga kiiresti ja selle pärast on huvitav tööstusele [18].

Tanniini heksametüleentetraamiin (TH) on näidanud head survetugevust kuiva PLP korral 0.58-0.92 Mpa. On märgatud, et heitkogused TH plaadi valmistamisel on võrreldavad esmase puidukuivatamisega. Valmisplaate on kasutatad nii sise-, kui välistingimustes [18].

Tärglisvaik ei ole leidnud kasutamist komposiit materjalide valdkonnas oma veekindlus ja niiskusekindlus omaduste puudumise tõttu. Neid omadusi on proovitud tõsta PVA liimi segamisega ja tulemusteks oli nii parem niiskuskindlus, kui ka plaadi survetugevus, võrreldes PF vaigu ja UF vaiguga [18].

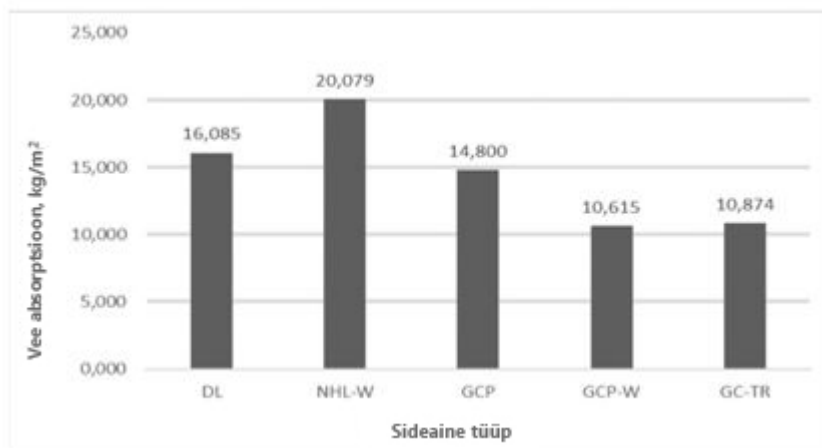
Sojavaik on eksperimentaalne liim plaaditööstuses, kuid plaadi omadused vastab nõutele, standarditele. Sojale põhinevad vaigud ei ole niiskuskindlad, kuid omaduste parendamiseks on lisatud leelist, karbamiid ja guanidiin hüdrokloriidi. Tulemuseks saadi kõrge niiskuskindlus ja survetugevus võrreldes mittetöödeldud sojavaiguga [18].

Õlil põhinevaid vaikke on võimalik toota õlide kõrvalproduktidest nagu näiteks india pähkli tootmisest ülejäävast vedelikust. Plaadi survetugevus sellise vaiguga on 0.58-1.05 MPa, kus esimene on märja plaadi ja teine kuiva plaadi survetugevus [18].

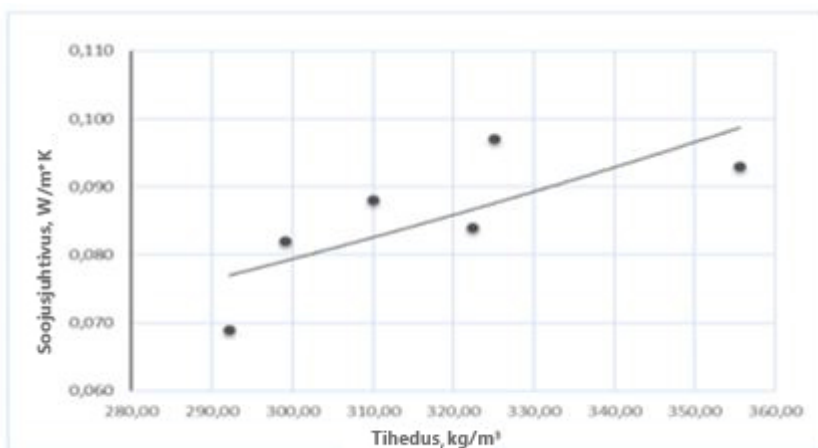
Ehitusplaadi formaldehüüdi sisaldust sideaines on võimalik vähendada nisuproteiini sisseviimisega. Nisuproteiin tekib kõrvalproduktina klükoosisiirupi tootmisel nisu põllumajanduskultuuridest. On uuritud, et 50 %-line nisuproteiini sisaldus formaldehüüdvaigus ei mõjuta ehitusplaadi mehaanilisi omadusi [15].

3.5. Looduslike ja sünteetiliste sideainete vastupidavus kergploki ja ehitusplaadi valmistamisel

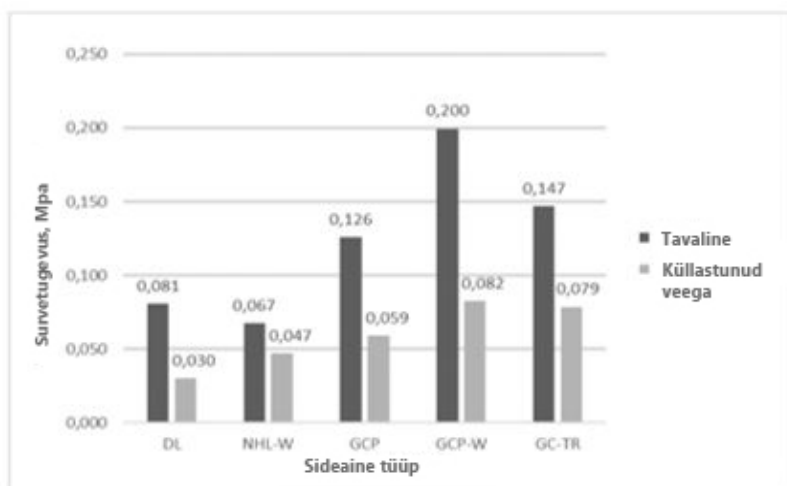
Peatükki 3.3 sideainesegude omadused: vee imavus (Joonis 10), soojusjuhtivus (Joonis 11), survetugevus (Joonis 12) tulemuste alusel on võimalik jõuda järeldusele, et vee imavus sõltub kasutatavast sideainest. Mida rohkem kustutamata on lupja, seda vähem materjal vett absorbeerib. Soojusjuhtivus on seotud tihedusega. Tootmisprotsessis on võimalik materjali kokkupressida, et vähendada sideaine kogust. Sisekihtide nõrkus on seotud väikse karbonisatsiooni ja vee sisaldusega [14].



Joonis 9 Veeimavus [14]



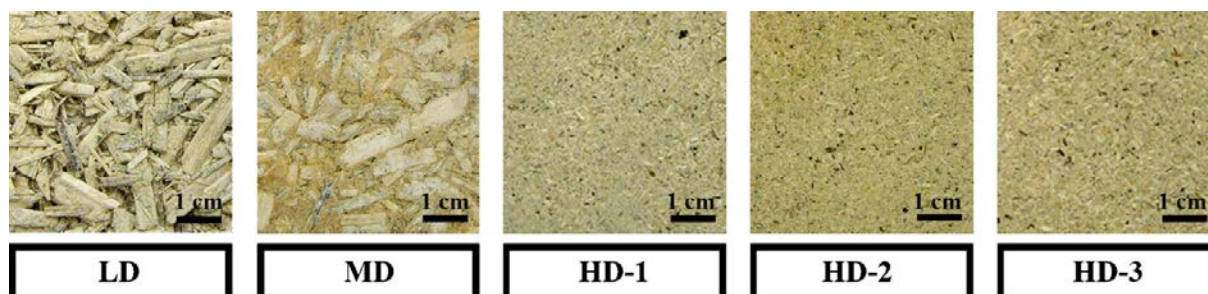
Joonis 10 Soojusjuhtivus [14]



Joonis 11 Survetugevus [14]

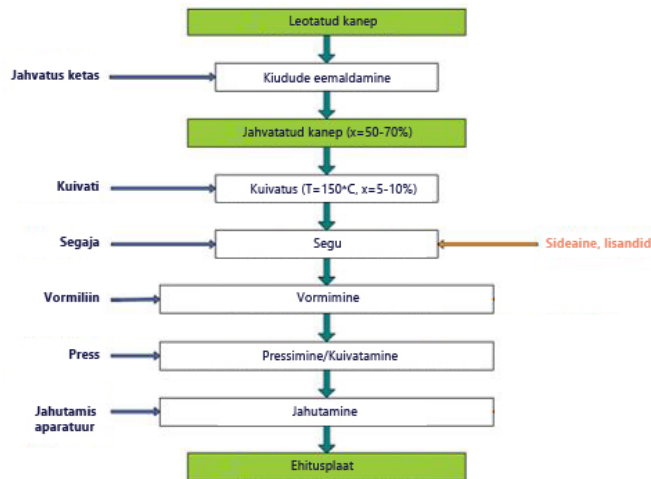
3.6. Kanepist ehitusplaadi ja kergploki valmistamise tehnoloogia

On võimalik toota erineva tihedusega kanepist ehitusplaate ja plokkide (Joonis 13). Madala (LD) ja keskmise (MD) tihedusega tooted sisaldavat jämedat kanepiluid, mis on umbes 10-30 mm pikad ja läbimõõduga 2-6 mm. Suure tihedusega tooteid (HD-1, HD-2, HD-3) valmistatakse kanepiluid, mis on 2-5 mm pikad ja läbimõõduga 1-2 mm [2].



Joonis 12 Erineva tihedusega kanepist ehitusplaadid [2]

Kõikides komposiiditüüpides on võimalik kasutada sünteetilisi ja looduskikke sideaineid. Sideaine ja kanepiluid segatakse kolme minuti jooksul kiirusega 80 pööret sekundis, kus segu suhe võib ulatuda 1:1 kuni 1:5. Mida suurem suhe, seda suurem on plaadi tihedus. Segu valatakse vormi, mis võiks olla nt 150x50x5 cm³, ja eelsoojendatakse temperatuurini 80°C. Soojendamiseks on mõistlik kasutada mikrolaine kiirgust, et tagada sisekihi ja väliskihi ühtlast temperatuuri. Lõpuks komposiit pressitakse temperatuuril 80°C 3 minuti jooksul, kus juures surveaste (suhe esialgsel ja lõplikul paksusel) samuti mõjutab lõpliku tihedust [2]. Plaadi tootmis skeem on toodud Joonisel 14.



Joonis 13 Ehitusplaadi tootmisskeem [2][13]

3.7. Kanepi kogus ehitusplaadi ja kergploki valmistamiseks

Kanepi kogus komposiitmaterjalide valmistamisel oleneb nõutavast lõpptoote tihedusest ja kanepiluu suurusest. Näiteks, kui valmistada ehisploade mõõtmetega 150x50x5 cm³, on vaja 0,0375 m³ kanepiluid. Tabelis 7 on toodud ehitusplaadi parameetrid, mille alusel on võimalik järeldada vajalikke koguseid, nii sideaineid kui kanepiluid. Joonisel 13 on näha kuidas näevad välja kanepist ehitusplaadid erineva tihedusega. [2].

Tabel 7 Ehitusplaadi parameetrid [2]

Label	Nominaalne tihedus,	Nominaalne paksus, mm	Sideaine/luu suhe	Pressimis suhe
LD	300	50	1:1	1:1.7
MD	600	30	1:1	1:3.3
HD-1	1100	10	1:1	1:4
HD-2	1200	10	1:1.25	1:4
HD-3	1300	10	1:1.50	1:4

3.8. Kanepist ehitusplaadi omadused ja kasutus

Kanepiplaati saab kasutada nii sisetingimustes kui ka välistingimustes. Kanepiplaat on keskkonnasäästlik alternatiivmaterjal piutlaastplaadile (PLP), mis vastab või ületab PLP omadusi. Kanepiplaadist tooteid on võimalik kasutada akustilise laeplaadina, mööblis (kontori mööblis), ukse südamikuna ja aluskattena. Välistingimustes kasutamiseks on vaja

tootmisprotsessi käigus lisada kas fenoolvaiku või ökoloogilist akrüülvaiku, et suurendada biokindlust. On võimalik toota ka plaate üldse ilma sünteetilise vaiguta, kus peamiseks lisaaineks on ligniin, mida piisab väikestest kogustest. Kasutamist on leidnud isolatsioon paneelides, kuid ka teistes väli rakendustes nt katuse vöötohatis ja vooder [17].

Kanepiplaat on keskkonnasõbralik nii tootmise kui realiseerimise protsessidel. Plaat on täiesti taaskasutatav. Vanad plaadid võivad olla jahvatatud ning lisatud uute plaatide valmistamisele, segades sideaineid ja uut kanepiluid. Võrreldes traditsiooniliste ehitusmaterjalidega on kanepiplaadil parem mõju inimeste tervisele, kuna nad ei sisalda mingeid toksilisi orgaanilisi sideaineid. Omahind on märkimisväärselt madalam kanepiplaadi korral, tänu toormaterjalide uuendatavusele ja magneesiumsideaine madalale töötlemise temperatuurile. See aspekt teeb kanepiplaadid väga konkuretsivõimelisteks majanduslikust seisukohas ning eriti sobib odavate hoonete ehitamiseks [2].

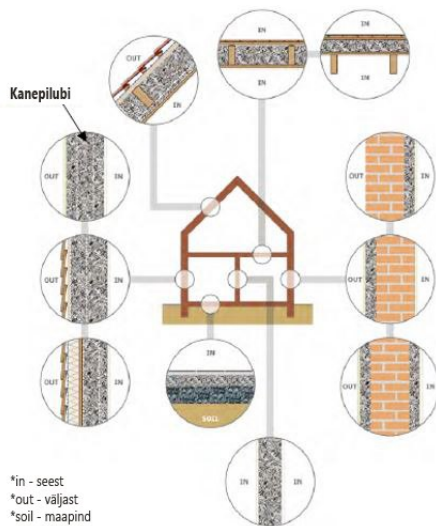
3.9. Kanepist kergploki omadused ja kasutus (Hempcrete)

Kanepilubjasegu kasutamine ehituses kasvab, kuna materjali eeliseid on paremini teada ja edastatud avalikkusele. Need eelised on järgmised:

1. Lihtsustatud ehitamise profiil. Kõige väiksemas olekus koosneb kanepilubi kolmest kihist: esmane kiht, kanepilubi ja krohv (kips). Võrreldes teiste ehitamismeetoditega ei ole vaja kanepilubja korral kasutada membraane, linte, õõnsuseid või kipsplaate (Joonis 15).
2. Sobilikud hüdrotermilised omadused. Tänu materjali eriti poorsele struktuurile, kus nii kanepiluu ja sideaine annavad sellele kergele materjalile omaduse säilitada siseruumi jahena, kui õues on palav ja vastupidi, kuna soojusülekanne toimuvad 12 tunnise viivisega. See omadus vähendab energiakulud reaalajas nii era-, kui ärikinnisvara omanikel. Samaaegselt ei ole nähtavaid külmasildu, kuna soojusomadused on samalaadsed puidule. See tõrjub ära vee kondenseerumise kahe erineva ehismaterjali pindade vahele.
3. Vahendatud ökoloogiline jalajälg. Nagu kõik taimed, seob kanep süsinikoksiidi (CO_2) oma kasvu ajal, fotosünteesi tulemusena. Pärast karboniseerimist, saab kanepilubja on turustada nagu parema ökoloogilise jalajäljega materjali. Ta seob oma kasvu ajal $135 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ ja on üks kõige süsiniksõbralikum turul saadavatest ehismaterjalidest. Kanepilubja kasutamine ehituskonstruktsioonides otseselt asendab kõrge energiaga ja naftakeemia materjale, selliseid nagu betoon, põletatud savist telliseid ning vahtisolatsiooni tooteid.
4. Õhutihedus. Tooted on õhutihedad, kuid hingavad ja paindlikud. Kanepilubja konstruktsioon tagab ühtlase ja monoliitse isoleerimiskihi välisvihmakatte ja siseruumiseina viimistluse

vahel, pakkudes õhupidavust, mis vastab ehitusmääruse nõuetele, mis on 2 õhuvahetust ühe tunni jooksul. Lähtudes sellest, on materjal hea akende ja uste raami paigaldamiseks. Pareneb niiskuseliikuvus siseruumis.

5. Tulekindlus ja vastupidavus. Lubi sideaine on väga aluseline, annab head kaitset seente ja putukate vastu kanepiluule ja puidukonstruktsioonile, mille ümbritseb kanepilubi. Samadel põhjustel on kanepilubjal enam kui piisavad tulepüsivuse omadused. Sideaine kaitseb kanepiluud ja võimalikke puidukonstruktsioone kogu mahu ulatuses.
6. Vähendatud jäätmete kogus ja taaskasutusvõimalus. Vigade ja kahjustuste minimaliseerimiseks kasutatakse järjekindlaid tooraineid segu valmistamiseks. Kanepilubja konstruktsioone on võimalik taaskasutada uue segu valmistamiseks [7].



Joonis 14 Plokkide kasutuskeem [7]

3.10 Omaduste võrdlus traditsiooniliste plaatmaterjalidega

Tabelis 8 on võrreldud erinevate materjalide soojusjuhtivust. Tulemustest on näha, et kanepiplaadil ei ole sama soojusjuhtivus kui traditsioonilistel isolatsioon materjalidel, aga ikkagi puitmaterjalidega sarnane. Mehaanilised omadused kanepiplaadil on sarnased puitlaastplaadiga (Tabel 9).

Tabel 8 Materjalide soojusjuhtivus [20]

Puitmaterjal	Soojusjuhtivus, W/m-K	Isolatsioon	Soojusjuhtivus, W/m-K	Muu	Soojusjuhtivus, W/m-K
HDF	0.15	Kivivill	0.045	Betoon plokk	0.15
Vineer	0.13	Vahtplast	0.03	Telliskivi	0.47
Kask	0.14	Klaasvill	0.04	Tsement	0.29
Mänd	0.15	Korkplaat	0.043	Kipsplaat	0.17
Kertopuu	0.12	Räni aerogeel	0.02	<u>Kanepiplaat</u>	<u>0.18</u>

Tabel 9 Plaatmaterjalide mehaanilised omadused [18]

Plaatmaterjal	Elastsus moodul, GPa	Purunemispäri, MPa
Vineer	7 - 9	34 - 43
PLP	3 - 4	15 - 24
MDF	4	36
HDF	3 - 5	31 - 57
Kanepiplaat	3 - 5	18

3.11 Tootjad

Ettevõtte „Studio Green”, mille peakontor asub Singapuris, toodab kanepist ehitusplaate ja kergplokkide erinevate otstarvete jaoks seal hulgas nagu välis- ja siseseinad, õõnes välis- ja siseseinad, heliisolatsioon, muustriga seinaviimistluse paneelid. Sideaine põhineb lubjale, kuid täpsemat informatsiooni selle kohta nad ei jaga [19].

„HempiPANEL“ (Joonis 16) on mõeldud kui biokomposiitmaterjal välis- ja siseseine jaoks. Plaadi tihedus on 800 kg/m^3 , survetugevus 1.8 MPa , paindetugevus 0.08 N/mm^2 , tulekindlus on määratud BS 476 standardi järgi, leegi levimise kiiruse klass on 0. Soojusjuhtivuse mõõtmised teostatud standardi järgi ASTM C 518:2010 ja tulemuseks saadi 0.178 W/mk . Veeimavus on määratud standardiga EN 1609 ja tulemus on 8.04 kg/m^2 . Toode ei sisalda ohtlikke materjale, mis on määratud standardiga ASTM 5116.. HempiBLOCK (Joonis 17) on samasuguste omadustega, millest võib järeldada, et tootmismetoodika on sellel tootel sama kui HempiPANEL'il. Kuupmeetri hinnaks on 200-400 \$ sõltuvalt tihedusest [19]



Joonis 15 HempiPANEL [19]



Joonis 16 HempiBLOCK [19]

Kokkuvõtte

Antud töö eesmärgiks oli teada saada, kas saab kasutada kanepit looduslike ehitusmaterjalide valmistamiseks. Selle jaoks tehti kirjanduse ülevaade paljudest olulistest aspektidest, nagu kanepikiudude omadused, nende sõltuvus temperatuurist, nende töötlemisviisid ning optimaalsed kasvatamistingimused koos toitainete vajadusega. Töö käigus uuriti eelnevate uurimustööde põhjal kanepi kiudude pinnaenergiat, kasutusvõimalusi erinevates valdkondades, tootmistehnoloogijaid ning toodete jaoks vajaliku kanepikiudude kogust. Kanepikomposiitide soojusjuhtivus on võrreldav puitmaterjali soojusjuhtivusega ja kanepiplaadi mehaanilised omadused puitlaastplaadiga. Eestis on kanepit kasvatatud Saaremaal ja põldkatse on osutunud edukaks.

Kanepil on mitu märgatavat eelist võrreldes teiste materjalidega. Kanepi kasutamine ehitusmaterjalina on odavam, kuna toorainete hind on madalam ning tootmise kulud on väiksed, ta on looduslik ja taaskasutatav. Nendest ehitamise protsess on kergem, kui traditsiooniliste materjalide puhul. Lisaks saab tootmisprotsessi mehhaniseerida, sättida ja reguleerida erineva tihedusega materjalitootmist.

Nendes materjalides on võimalik kasutada looduslikke sideained, mis ei mõju inimeste tervisele ja loodusele ehk on ökoloogilised. Isegi proteiini võib kasutada sideainena. Materjal on perspektiivne, kuigi hetkel vähekasutatav.

Kanepikiu ja luu on kvaliteetsem kui enne eraldamist on taimevarred vees leotatud. Leotamisprotsess vajab kindlaid tingimusi ja peab olema jälgitav. Sellest oleneb kanepikiu ja luu kvaliteet ning nende omadused. Kanepikomposiidid ei talu sama palju koormust nagu traditsioonilised ehitusmaterjalid ja vajavad ehitistes toetusraamina tellist, puitu või terast.

Kasutatud kirjandus

1. Hamppu, https://fi.wikipedia.org/wiki/Hamppu#Hamppu_saapuu_Suomeen_ja_Eurooppaan (05.06.2016)
2. Sassoni, E., Manzi, S., Motori, A., Montecchi, M., Canti, M. Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization – *Energy and building*. 2014, 77, 219-226. ScienceDirect. (20.05.2016)
3. Taime varre ehitus. http://www.perfectplant.ee/et/toostuskanepist/varre_ehitus (06.06.2016)
4. Shahzad, A. A Study in Physical and Mechanical Properties of Hemp Fibres - *Advances in Materials Science and Engineering*. 2013, 1-9. Hindawi Publishing Corporation. (06.04.2016)
5. Hemp, https://en.wikipedia.org/wiki/Hemp#cite_note-michael-14 (06.06.2016)
6. Shahzad, A. Hemp fiber and its composites – a review - *Journal of Composite Materials*. 2011, 48(6), 973–986. Sage. (06.04.2016)
7. Characterisation of hemp-lime as a composite building material. Hirst, E: Univesaty of Bath, 2013.
8. Kasvutingimused, <http://www.perfectplant.ee/et/toostuskanepist/tingimused> (06.06.2016)
9. Külvamine, <http://www.perfectplant.ee/et/toostuskanepist/kylvamine> (06.06.2016)
10. Toiainevajadus, <http://www.perfectplant.ee/et/toostuskanepist/toitaine> (06.06.2016)
11. Haigused, <http://www.perfectplant.ee/et/toostuskanepist/haigused> (06.06.2016)
12. Saaremaal pannakse taas mulda tööstuslik kanep, <http://www.saartemaal.ee/2010/03/31/saaremaal-pannakse-taas-mulda-toostuslik-kanep/> (04.06.2015)
13. Harvesting, Retting, and Fiber Separation, <http://www.globalhemp.com/wp-content/uploads/2000/01/ages001Ee.pdf> (06.06.2016)
14. Sinka, M., Sahmenko, G., Korjakins, A., Radina, L., Bajare, D. Hemp Thermal Insulation Concrete with Alternative Binders, Analysis of their Thermal and Mechanical Properties - *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2015 (05.04.2016)

15. Nikvash, N., Kharazipour, A., Euring, M. Effects of wheat protein as a biological binder in the manufacture of particleboards using a mixture of canola, hemp, bagasse, and commercial wood - *FOREST PRODUCTS JOURNAL*. 2012, 67(1). (05.04.2016)
16. (WO2013061182) BINDER FOR MANUFACTURING OF CONCRETE OR LAMINATED PRODUCTS, <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2013061182&redirectedID=true> (04.06.2015)
17. Hemp board, <http://www.hemp-technologies.com/page15/styled-20/page35.html> (04.06.2015)
18. Wood Composites. Ansell, M; Elsevier Science, 2015.
19. StudioGreen products, <https://www.studiogreen.sg/products> (05.06.2017)
20. Thermal conductivity of common materials and gases, http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (05.06.2017)
21. Külviseemnete müük ja kokkuost, <https://www.perfectplant.ee/kulviseemnete-muuk-ja-kokkuost> (05.06.2017)

Summary

The purpose of this study is to investigate hemp as a natural building material. There are many important aspects that were reviewed, such as hemp fibre physical and mechanical properties, their behaviour at elevated temperatures, treatment possibilities, optimal growth conditions and nutrients needed. In addition, surface energy, usage options in different fields, production technologies were also reviewed. Bast fibre separation process from the inner woody core and usage of hemp composites in building structures were compared to the traditional building materials.

Hemp composites can be produced using natural binders, like organic-inorganic binder and wheat protein as well as traditional ones: lime, concrete, gips and others. The main advantages of this material are simplified construction profile, good hydrothermal properties, reduced carbon footprint, porosity, durability and recyclability. Traditional building materials could be replaced by hemp composites. However, hemp composites are not strain tolerant to use them in primary building structures. Therefore, they are used in specific cases.