



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

PÕLLUMAJANDUSES KASUTATAVATE VILLAPELLETITE OMADUSED JA TOOTMISE TEHNOLOOGIA

THE CHARACTERISTICS AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF WOOL
PELLETS USED IN AGRICULTURE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Ketelin Makienko

Üliõpilaskood: 155596KAOB

Juhendaja: Tiia Plamus, lektor

Kaasjuhendaja: Kadriann Tamm, teadur

Tallinn 2018

(Tiitellehe pöördel)

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.

“04” juuni 2018a

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“04” juuni 2018a

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Ketelin Makienko, 155596KAOB.....(nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: KAOB Puidu- ja tekstiilitehnoloogia.....(kood ja nimetus)
Juhendaja: Lektor, Tiia Plamus, 5621 1653.....(amet, nimi, telefon)
Kaasjuhendaja: Teadur, Kadriann Tamm, 620 2859.....(amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Põllumajanduses kasutatavate villapelletite omadused ja tootmise tehnoloogia

(inglise keeles) The characteristics and manufacturing technology of wool pellets used in agriculture

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.Saadaolevate villapelletite otsimine müügivõrgustikust
- 2.Müügivõrgustikus saadaolevate villapelletite koostise ning omaduste uurimine
- 3.Villast villapelleti saamise meetodi väljatöötamine
- 4.Uurida mullale lisatud villapelletite mõju taimedele lühiajaliselt

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö teema valik	15.01.18
2.	Materjali otsimine, teooria kirjutamine	28.02.18
3.	Villa purustamise katsetused	31.03.18
4.	Villakiudude mikroskoopia	15.04.18
5.	Villakiudude pelletiks pressimine	30.04.18
6.	Villapelletite leostuskatsed	13.05.18
7.	Tulemused ja analüüs	27.05.18
8.	Lõputöö vormistamine	1.06.18

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "04" juuni 2018a

Üliõpilane: Ketelin Makienko

"04" juuni 2018a

/alkiri/

Juhendaja: Tiia Plamus "04" juuni 2018a

/allkiri

Kaasjuhendaja: Kadriann Tamm "04" juuni 2018a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
SISSEJUHATUS.....	8
1. Ülevaade tekstiilkiududest.....	10
1.1 Villatüübid.....	11
1.2 Villa kvaliteet ja omadused	13
1.3 Villamolekuli ehitus	14
1.4 Villa kasutamine.....	16
1.4.1Rõivad.....	16
1.4.2Kodutekstiil	17
1.4.3Villa kasutamine isolatsioonmaterjalina.....	17
1.4.4Villakiudude kasutamine väetisena	18
2. VILLAKIU KASUTAMINE ERINEVATES TEHNILISTES TEKSTIILMATERJALIDES	19
2.1 Põllumajanduses kasutatavad villakiudu sisaldavad tooted	21
2.1.1Villast valmistatud matid.....	21
2.1.2Villamultš	22
2.2 Vill kui biolagunev materjal.....	23
3. TURUL SAADAOLEVATE VILLAPELLETITE UURING	24
3.1 Mikroskoopia.....	25
3.1.1Villkiudude pikkus	25
3.1.2Villakiudude läbimõõt.....	26
3.2 Leostus.....	27
4. VILLAPELLETITE TOOTMISE TEHNOLOOGIA VÄLJA TÖÖTAMINE.....	32
4.1 Pesemata villa purustamine	32
4.2 Purustatud villa granuleerimine.....	35
4.3 Mikroskoopia.....	37
4.3.1Villakiudude pikkus.....	38
4.3.2Villakiudude läbimõõt.....	40
4.4 Leostuskatsed	42
5. VILLAPELLETITE OMADUSTE UURIMINE KASVUSUBSTRAADINA.....	44
KOKKUVÕTE.....	47

SUMMARY	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	50

Lühendite ja tähiste loetelu

Atm - atmosfäär

cm - sentimeeter

LOI arv – limiteeritud hapniku indeks (ingl k limited oxygen index)

ml - milliliiter

pH – vesinikeksponent (ingl k Potential Hydrogen)

SISSEJUHATUS

Lambavill on olnud väärtuslik liha, karusnaha ja villa allikas juba aastatuhandeid. Igal aastal läheb suur osa lambavilla kaotsi, kuna põhiline Euroopas kasvatatav lambatõug on lihalammas. Lihalamba vill on jämeda kiuga ning sisaldab palju surnud kiude. Selliste omadustega vill on tekstiilitööstuse jaoks praktiliselt kasutu ja kategoriseeritud enamasti jäätmeiks.

Käesolevas bakalaureusetöös on eesmärgiks välja töötada kohalikul toormel põhinevate villapelletite tootmise tehnoloogia ning uurida ja võrrelda juba saadaolevate ning laboratoorselt toodetavate villapelletite omadusi ning sobivust põllumajanduses kasutamiseks. Antud teemale on järjest enam tähelepanu pööratud ning on leitud võimalusi ebakvaliteetse villa kasutamiseks, mis muidu ära visataks või põletataks.

Eesmärgi saavutamiseks on vaja leida vastused järgnevatele küsimustele. Esiteks, millised analoogilised tooted on hetkel välja töötatud ning milliste omadustega on olemasolevad sarnased tooted. Samuti leida meetod saamaks sarnased tooted olemasolevatele, anda hinnang toote sobivusele vastavalt Eestis kehtestatud nõudele ning uurida mullale lisatud villapelletite mõju taimedele lühiajaliselt.

Antud bakalaureusetöö teema valiku ajendiks on ettevõtja soov uurida kaubandusvõrgustikes olemasolevaid villapelleteid ning töötada välja kohalikul toorainel põhinevad põllumajanduses väetamise eesmärgil kasutatavad villapelletid.

Villa raisku minek on viimastel aastatel aktuaalne teema ning riiklikul tasandil üles kutsutavaks arendusvaldkonnaks nii Ameerikas kui ka kogu ülejäänud maailmas. Seetõttu on huvi ettevõtja poolt välja käidud ideega suur seda enam, et toodet teadaolevalt Eestis veel ei arendata ega müüda.

Antud bakalaureusetöö esimene peatükk on pühendatud ülevaate andmisele tekstiilikiududest. Tuuakse välja villa ehituse eripärad, erinevad villatüübid, nende paiknevus ja sellest tulenevad omadused. Pikemalt on veel välja toodud villa molekuli ehitus ning samuti villa põhilised kasutusala materjalina.

Teine peatükk annab ülevaate laialdaselt kasutusel olevatest villast valmistatud tehnilistest tekstiilmaterjalidest ning villa kui materjali biolagunevusest. Samuti tuuakse välja põllumajanduses kasutusel olevad villakiudu sisaldavad tooted.

Kolmanda peatüki ülesandeks on uurida kaubandusvõrgustikes saadaolevaid villapelleid ning nende omadusi. Uuritavateks omadusteks on villakiu läbimõõt ning pikkus. Samuti uuritakse pH-taset, elektrijuhtivust ja kloori-, fosfori-, ning kaaliumi sisaldust tootes. Villakiudude läbimõõdu uurimiseks kasutati mikroskoopi Axioskop 2 ning arvutitarkvara ZEN 2.3. Pikkuse mõõtmiseks kasutati digitaalset mikroskoopi Dino-Lite ning arvutitarkvara Dinocapture 2.0. Keemiliste elementide sisaldust tootes uuriti spektrofotomeetriga LoviBond Spectro Direct. Ph-taseme mõõtmiseks kasutati pH-meetrit Mettler Toledo SevenGo ning elektrijuhtivuse mõõtmiseks kasutati seadet Mettler Toledo SevenGo Duo pro.

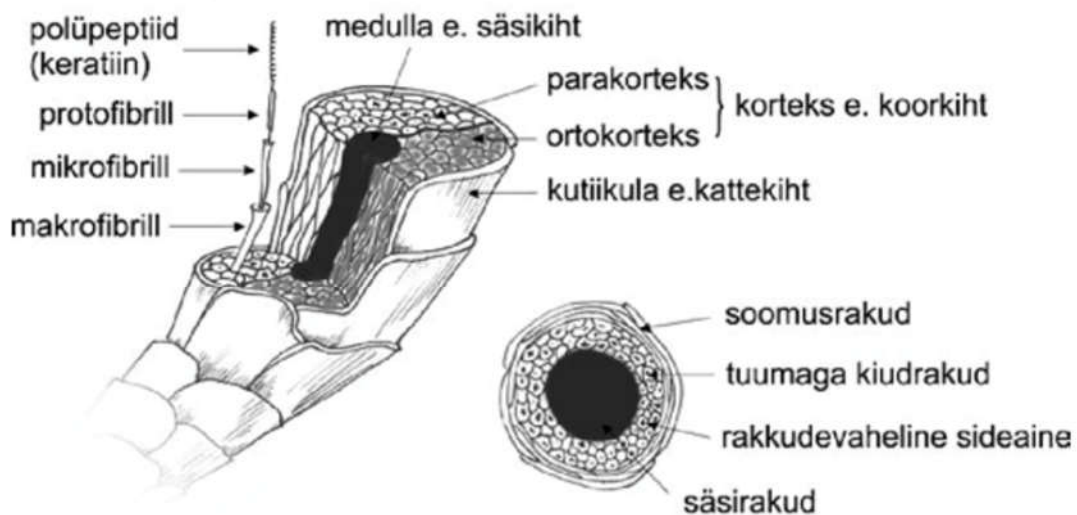
Neljanda peatüki teema seisneb villapelletite tootmise tehnoloogia välja töötamisel. Selleks vajalikud etapid on pesemata villa purustamise meetoodika ning purustatud villa granuleerimise meetoodika välja töötamine. Purustamisel kasutatakse Retsch SM 100 purustamisveskit ning plastmaterjalide peenestusseadet. Villa pressimisel villapelletiks kasutatakse hüdraulilist Perkin-Elmeri nimelise firma manuaalpressi. Laboratoorselt toodetud villapelletite omadusi uuritakse samade meetoditega nagu ka eelnevas peatükis uuriti olemasolevaid villapelleid.

Bakalaureusetöö kirjutamise käigus püütakse valmistada toode, mis oleks vastavuses Eesti orgaanilis-mineraalsete kompleksväetise koostise nõudega. Antud bakalaureusetöö on teostatud koostöös Anorgaaniliste materjalide teaduslaboratooriumi, Polümeeride ja Tekstiilitehnoloogia labori ning Mehaanika ja Tööstustehnika instituudi laboriga. Eesmärgiks on näidata, et antud toodet on mõistlik edasi arendada.

1. Ülevaade tekstiilkiududest

Vastavalt definitsioonile on vill lamba-, kitse-, kaameli-, laama-, küüliku või muu looma karvad. Viimased karvad on saadud looma kammimise või pügamise teel ning peavad olema sobilikud ketramiseks või viltimiseks. Villa nime kannab ainult lambavill. Siiski võib kasutada ka väljendeid nagu kaamelivill, kitsevill jne. Sel juhul tuleb täpsustada, millise looma villaga on tegu. [1]

Vill on keemiliselt proteiinkiud, mis koosneb peamiselt järgnevatest elementidest: süsinik, hapnik, väävel ning lämmastik. Villakiu rakuline ehitus on väga keerukas ning on välja toodud joonisel 1.1. [1]



Joonis 1.1 Villakiu rakuline ehitus [1]

Kõige välimiseks kihiks villakiul on soomuskiht ehk kutiikula. Soomuskiht koosneb omakorda vähemalt neljast kihist. Soomusrakud on väga õhukesed, sakilise servaga sarvestunud rakkude soomused. Kõige peenema alusvillakiu soomusrakud on ringjad, teistel karvadel katavad need koortkihti ülekattega. Soomuskiht on villakiule kaitseks. Soomuskihist sõltub kiu läige ja ka viltuvus. [1]

Koorkiht ehk korteks paikneb soomuskihi all olevas kihis. Koorkihi rakud on kitsad süstikutaalsed kiudrakud, mis moodustavad kiu põhimassi. Eristada võib parakorteksi rakke ja ortokorteksi rakke. Nende rakkude omavaheline paiknemine tagab villakiu loogelisuse paiknedes villakiu telje suhtes spiraalselt. Korteks rakud koosnevad omakorda väiksematest elementidest: makro-, mikro- ja

protofibrillidest kuni veel väiksemate α -keratiini molekulideni välja. Koorkihist sõltuvad villakarval järgmised omadused: elastsus, tugevus ja jämedus. [1]

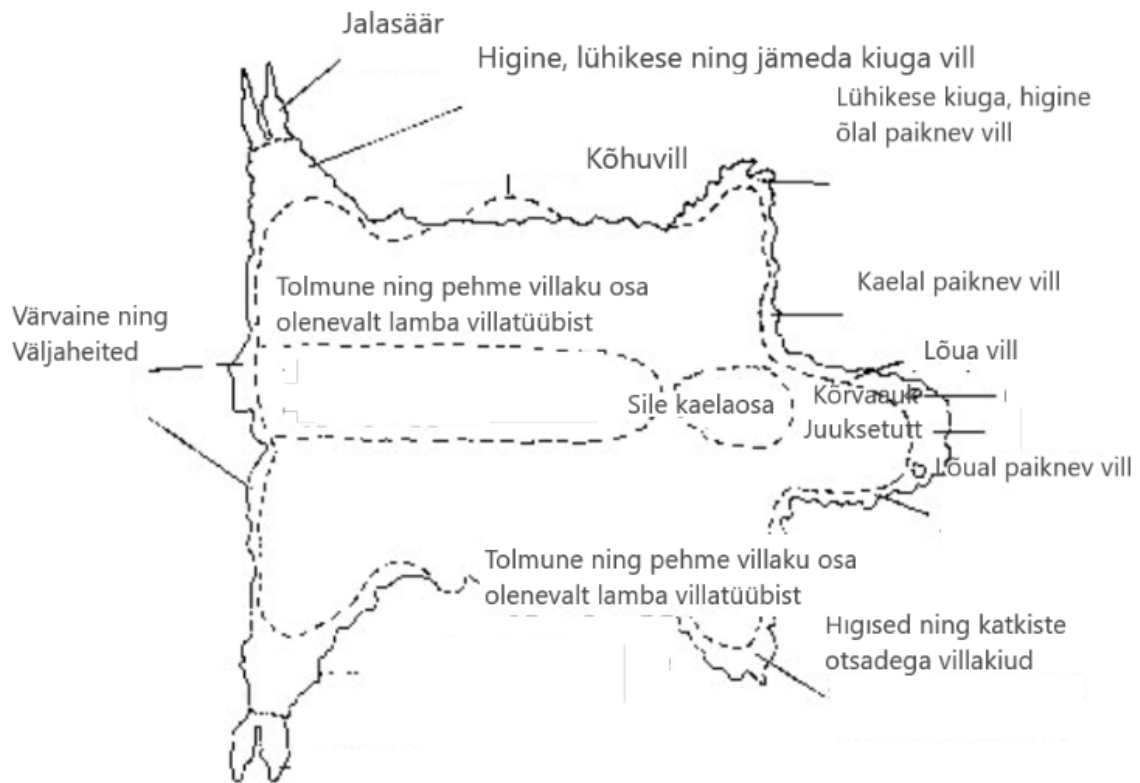
Säsikiht ehk medulla koosneb säsirakkudest. Säsirakud on hulknurksed sarvestunud rakud, mis on osaliselt õhuga täitunud. Mikroskoobi all on säsiikiht nähtav pideva vööndina või tumeda katkendliku vööndina. Kõik villakiud ei oma säsiikihti. Tavaliselt esineb säsiikiht just suurema läbimõõduga ning väiksema loogelisusega pealiskarvades. Samuti esineb säsiikiht ülemineku- ja surnud villakarvades. Säsirakkudes sisalduv õhk vähendab säsiikihis villakiu soojajuhtivust, suurendab hügrooskoopust, kuid muudab villakiu seetõttu hapramaks. [1]

1.1 Villatüübid

Villakuks nimetatakse villa, mis on ühelt lambalt pügatud. Villak koosneb salkudest või säukudest, mis on omavahel side-villakarvadega seotud. Omavahel seotud side-villakarvadega säugud on ainult ühtlase ning tugeva omavahelise sidemega villa korral. Salkudest koosnev villak on ebaühtlase villa korral, kus villakarvade side omavahel on nõrgem. Villakiudu saab hinnata säugu kuju ja struktuuri järgi. Saab hinnata, milline on villa kvaliteet, mis tüüpi villaga on tegu ning ka seda, millistes tingimustest loom on kasvanud. Villa kvaliteedi näitajateks on pikkus, tihedus, loogelisus ning rasuhigi määr. Villasäuk koosneb villakarvadest, millest suurema osa moodustavad pärisvillakarvad, üleminekuvillakarvad ja pealiskarvad. [1]

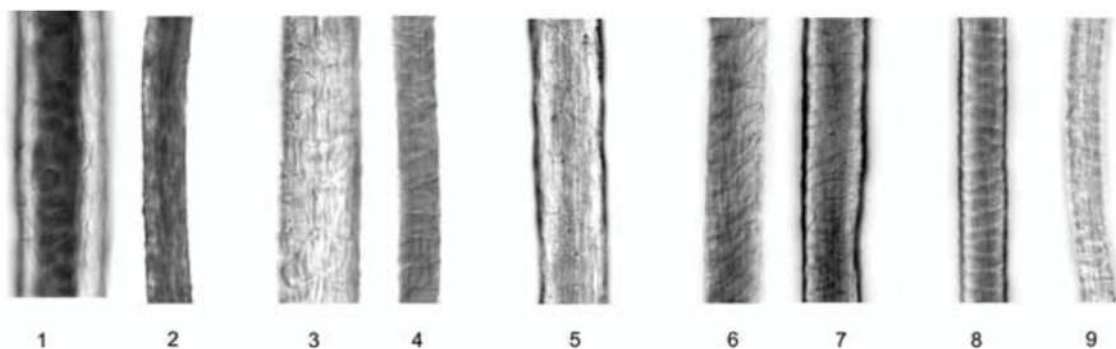
Pärisvillakarvad on üsna lühikesed, kuni 12 cm pikad ning 15-25 μm peened. Villakarvad on säbarad, säsiita ning asuvad pealiskarva all koosnedes soomus- ja koorkihist. Üleminekuvillakarvad on võrreldes pärisvillakarvadega pikemad kui 12 cm ja jämedusega 26-65 μm . Üleminekuvillakarvad koosnevad peamiselt soomus- ja koorkihist, võib ka esineda katkendlikku säsiikihti. Pealiskarvad on jämedusega 35-200 μm , pikkusega 10-35 cm. Need tugevamad, sirgemad ja koosnevad koor-, soomus- ja säsiikihist. [1]

Villakus esineb ka ohekarvu, mis on oma omadustelt lühikesed, säbaruseta ning tugeva säsiikanaliga karvad. Ohekarvad kasvavad lambal vaid pea peal, jalgadel ning kõrvadel. Lisaks esineb kempkarvu ning ka surnud karvu. Kempkarvad on ohekarvade sarnased, kuid rabedad ning valge värvusega. Surnud karvad on läiketa, jämedad, värvumatud ning tugeva säsiikihiga. [1]



Joonis 1.2 Lamba villaku omadused [2]

Joonisel 1.3 on välja toodud võrdlusena kuues villakus esinevad villakarvatüübid. 1 ja 2 – pealiskarv (kiu läbimõõt 52 μm) ja aluskarv (kiu läbimõõt 26 μm); 3 ja 4 – pealiskarv (kiu läbimõõt 40 μm) ja aluskarv (kiu läbimõõt 23 μm); 5 – üleminekuvillakarv (kiu läbimõõt 39 μm); 6 ja 7 – aluskarv (kiu läbimõõt 34 μm) ja pealiskarv (kiu läbimõõt 34 μm); 8 – aluskarv (kiu läbimõõt 26 μm); 9 – aluskarv (kiu läbimõõt 20 μm).. [1]



Joonis 1.3 Villakus esinevad villakarvatüübid [1]

Villa kvaliteet erineb kogu villaku ulatuses. Kõige paremad villakus asuvad villakiud on lamba abaja külje piirkonna vill, halvim on jalgade tagaosa, saba ja kõhualuse vill (vt joonis 1.2)

1.2 Villa kvaliteet ja omadused

Villa kvaliteet on hinnatav villakiu füüsiliste omaduste järgi. Põhilisemad villakiu füüsilised omadused on villakarvade pikkus, ühtlikkus, tugevus, säbarus, venitavus, vetruvus, vormitavus, läige, värvus, niiskus ning hügrooskoopsus. Lisaks on oluline säsikihti omavate villakarvade protsent villakus, taimsete jääkide protsent villakus, villa mahutavus (cm³/g) ning villasäugu määrdumise protsent säugu üldpikkuse suhtes. [1]

Olenevalt villakiu ehitusest, selle füüsilistest ja keemilistest omadustest, võib välja tuua villa kui materjali omadused. Vill on väga heaks soojusisolaatoriks. Kõige paremaks soojusisolaatori teguriks materjali erinevates kihtides on õhk. Villas on õhku mitmel tasandil. [1]

Vill on samuti väga hea helisummutaja. Vill neelab heli energia, seejärel muundab selle mõneks muuks energiaks. Tavaliselt on selleks muuks energiaks soojusenergia. [1]

Vill on väga tulekindel. Villa LOI ehk tulekindluse näitaja indeksi arv on 25. Villakiud sisaldavad suures koguses väävlit ja lämmastikku. Väävel ning lämmastik on looduslikud tuletõkke vahendid. Villakius oleva hapniku suhteline kogus on suurem kui ümbritsevas õhus, mis tähendab seda, et põlemiseks oleks vaja tõsta ümbritseva õhu hapniku kontsentratsiooni. Villa süttimistemperatuuriks on ligi 600 kraadi [1].

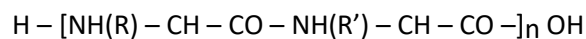
Villal on suur niiskusimavus. Vill võib endasse imeda niiskust kuni 35% ulatuses võrreldes oma kaaluga. Sellega osaleb vill ka ruumi õhuniiskuse tasakaalustamises. Niiskus imendub villakiudu, kus ta transporditakse sisemistesse struktuuridesse. Selle tõttu ei tundu vill märg, kui teda katsuda [1].

Villal on omadused mõjutada ka siseruumide õhu kvaliteeti. Villakiud suudavad absorbeerida ja siduda kemikaalide lõhnu, ka lämmastikku, süsinikdioksiidi, vääveldioksiidi, formaldehüüde ja teisi kahjulikke saasteaineid. [1]

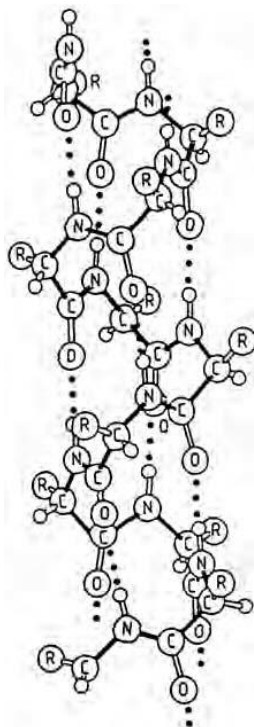
Vill on täielikult biolagunev. Vähesed villased tekstiilsäilmed, mis on maapõuest leitud, on säilinud ainult tänu tekstiili küljes olevatele metallist ehetele ja metallisooladele, mis on tekstiili loomulikku biolagunemist aidanud peatada. [1]

1.3 Villamolekuli ehitus

Villamolekulid koosnevad peptiidsidemetega seotud aminohappejääkide ahelatest. Villamolekuli valem on üldkujul välja toodud järgnevalt:



, kus täht R tähistab valemis aminohapperühmi. [3]



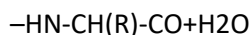
Joonis 1.4 Villamolekuli ehitus [4]

Villamolekul asetseb ruumis vedrukujulisena (Joonis 1.4). Lambavill on elastne tänu molekulides esinevatele keerdudele. Kolm polüpeptiidi molekuli keerduvad omavahel lambavillas moodustades algühiku ehk algfibrilli. Üheteistkümnest algfibrilli fibrillist tekib lõplik makrofibrillaarne struktuur. [4]

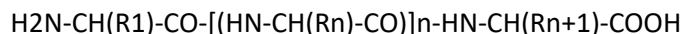
Villa keratiin on heteromakroahelatega kõrgmolekulaarne aine. Keratiin sünteesitakse loomses organismis. Keratiini makromolekul koosneb suurest hulgast kindlas järjestuses meenilisel teel ühinenud erinevate aminohapete ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{R})-\text{COOH}$) molekulidest. [3]

Molekulide seast on tuvastatud 18 enim esinevat aminohapete molekuli. Aminohapped, mis moodustavad keratiini, erinevad omavahel radikaali R ehituse poolest. Kõige enam esinevad aminohapped keratiinis on arginiin-, tsüsteiin-, lüsiin-, glutamiin- ja aspartaamhape.

Aminohapete polükondensatsioonireaktsioon toimub biosünteesi käigus. Selle käigus eraldub vesi ning tekib makromolekul rekurrentse aminohappelise jäägiga: [3]



Valgu makromolekul on enamikel juhtudel järgmise ehitusega:

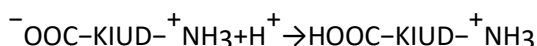


Tekkinud süstemaatiliselt korduvat lüli ($-\text{CO}-\text{NH}-$) nimetatakse peptiidsidemeks ning radikaale nagu näiteks R₁, R₂, R₃, nimetatakse aminohappe jääkideks. Aminohapete, mida tähistatakse tähega R ja valgu makromolekuli jääkide tippudes ja ka ahelas paiknevad nii karboksüülrühmad $-\text{COOH}$ kui ka aminorühmad $-\text{NH}_2$. Seetõttu vabade aminorühmade, karboksüülrühmade ning peptiidsideme olemasolu valgu makromolekulis määrab ära tema keemilised omadused ning vastupidavuse erinevate reagentide vastu (oksüdeerijad, taandajad, happed, leelised). [3]

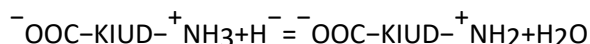
H-sidemed ühendavad valgu makromolekule. H-sidemed tekivad amino- ning karboksüülrühmade vahele ($-\text{NH}'\text{O}=\text{C}-$) enamasti peptiidsidemete osavõtul. Ioonsed sidemed võivad samuti tekkida primaarse aminorühma ning karboksüülrühma vahele, näiteks arginiinhappe jäägi ning aspargiinhappe jäägi kohakuti sattumisel ($-\text{CH}_2\text{COO}-\text{H}_3\text{NC}(=\text{HN})\text{HN}(\text{CH}_2)_3-$). [3]

Keratiinis asuvad makromolekulide vahel lisaks ka kovalentsed sidemed, mis on ühendavad polüpeptiidseid ahelaid. Kovalentne side tekib kahe aminohappe tsüsteiini $[\text{HOOC}-\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2-\text{SH}]$ molekuli reageerimise tulemusena ($\text{O}=\text{C}(\text{NH})\text{HC}-\text{H}_2\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH})\text{C}=\text{O}$).

Andes uue ehitusega tsüsteiinsideme ($-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-$). Tsüsteiinside on tundlik villakiu keemiliste reagentidega töötlemise suhtes. Side laguneb väga kergelt taandajate, leeliste ning oksüdeerijate toimel. Seetõttu on villakiu keemiline püsivus seotud vahetult tema keemilise ehitusega. Keratiin võib olla kius kas mitteioniseeritud või ioniseeritud olekus. Keratiini karboksüülrühmade dissertsatsioon on happelises lahuses tagasi surutud ning kiu laeng on positiivne:



Leelises või vees on alla surutud keratiini aminorühmade ionisatsioon. Kiud omandab negatiivse laengu:



Tugevusomadused jäävad villakiul muutumatuks lahjade hapete ning leelistega töötlemisel. Leelise kontsentratsiooni suurenedes samaaegselt temperatuuri tõstes, tekib keratiinis ionsete sidemete lagunemine. Villakiud on hapete toimele vastupidavam kui leelise toimele. Villa võib lühiajaliselt töödelda kontsentreeritud happega madalal temperatuuril nii, et ta omadused märkimisväärselt ei muutu. Villakiud muutub selle tulemusel aga karedamaks, mis avaldab mõju ketrusele ning kudumisele. Vill ei ole oksüdeerijate toimele püsiv. Villa töötlemisel pikema aja jooksul kõrgel temperatuuril keskmise kontsentratsiooniga mineraalhapete vesilahustega võib tekkida ionsete ja peptiidsidemete lagunemine. Keratiin on taandajate toimele tundlik, esmalt lagunevad keratiinis tsüsteiinsidemed. [5]

1.4 Villa kasutamine

Vill on kasutust leidnud tuhandeid aastaid. 21. sajandini on villa põhiline kasutusala olnud tekstiilide tootmine. Vill on omaduselt vastupidav ning lõhna- ja tulekindlate omadustega, sobides lugematu arvuga otstarveteks kui ka dekoratiivseks ja funktsionaalseks kasutamiseks. [3]

1.4.1 Rõivad

Paljud rõivad on valmistatud villast. Näiteks sokid, kampsunid ning pintsakud. Lisaks talvistele tingimustele sobib vill ka ideaalselt suvistesse tingimustesse. Vill neelab niiskust ning laseb niiskusel ka uuesti auruda, mis hoiab rõiva kandja kuivas ning jahedas. [3]

Villa sisaldavad ka villaisolatsiooniga ülerõivad. Villakiudusid saab kasutada voodri valmistamiseks, mis tagab väga hea hingamisvõime ja isolatsiooni. On olemas kangas, mida nimetatakse villavatiks ja antud kangas on täielikult biolagundatav. Kangas on oma olemuselt hingav, juhib niiskust tasakaalustatult. See ainulaadne villakindel isolatsioon töötati välja spetsiaalselt välitingimuste jaoks, alternatiivina sünteetilisele materjalile. Olenemata hooajast ning tegevuse intensiivsusest, kohandub villa isolatsioonikiht loomulikul määral keha soojust tasakaalustamiseks, parandab higistamisest tulenevat ebamugavust ning hoiab keha kuivana. [3]

Spordirõivad Meriinovillast on vastupidavad ning kõrge kvaliteediga. Meriinovill ei tekita kehale kihelust, kui on otseses kontaktis nahaga. Meriinovillast rõivad on loodud inimkehaga kontaktis kandmiseks. Väga hea niiskuse juhtivus ning termoreguleerivad omadused vähendavad ebameeldivate lõhnade eritust. Meriinovilla kasutatakse ka tihendusrõivaste ning isegi jooksutossude puhul. [3]

1.4.2 Kodutekstiil

Vill on kõrge kvaliteediga vaipade valmistamisel materjalina esikohal. Kui eemaldada vaibalt kõige pealne kiht, võib leida ka villast polsterduse. Lõnga otsi ning ebasobivat villa vaibatööstuses ei raisata. Jäägid kasutatakse ära tootmises näiteks aluskihi valmistamisel. [6]

Inimkond on aastaid kasutanud villatäidisega tekke. Villast täidetud voodirõivad aitavad paremini magada võrreldes teiste täidistega. Temperatuuri reguleerimise omadused tähendavad vähem ülekuumenemist, mistõttu on uni kvaliteetsem. Lisaks sellele muudavad hüpoallergeensed omadused villa sobivaks astmat põdevat inimestele ning ka allergikutele. [7]

1.4.3 Villa kasutamine isolatsioonmaterjalina

Vill on ehitistele väga heaks soojusisolaatoriks ning müratõkestajaks. Loodusliku villa isolatsioonina kasutamine on keskkonnasõbralik võimalus, mida laialdaselt kasutatakse. Soojusisolatsioonide väärtust mõõdetakse R-väärtusena, mis tähistab soojustakistust ning villa absorptsioonivõimet kui ka aurumisvõimet. Villa kui loodusliku tootega töötamisel ei pea kandma isikukaitsevahendeid. [8]

1.4.4 Villakiudude kasutamine väetisena

Ka aias on villal oma koht ning kasutusvõimalused. Vill on absorbeeriv ning täielikult biolagunev, see teeb temast heade omadustega multši. Villast valmistatud muljumiplaadid pakuvad orgaanilist alternatiivi sünteetilistele multšidele. Üle maailma on algatatud mitmeid arendusprojekte villa laiemaks kasutamiseks väetisena. [9]

2. VILLAKIU KASUTAMINE ERINEVATES TEHNILISTES TEKSTIILMATERJALIDES

Villa kasutatakse üha enam tehnilistes rakendustes, mille puhul on võimalik villa unikaalseid omadusi ära kasutades materjalile suuremat väärtust luua. Biotehnoloogia edasimineku ja biopolümeeride väärtuse parema tundmaõppimise suurendavad veelgi villa kui tehnilise tooraine kasutusala. [10]

Järgnevalt on välja toodud villa tehnilised kasutamiskiivid ja vastavad materjali omadused. Geotekstiilide huvitav areng on villast idanemismatid. Seda kerget villakangast kasutatakse pärast seemne külvamist kattekihina. Vill täidab puhvri eesmärki, vähendades vee liigset aurustumist mullast, hoides seeläbi ka ühtlast temperatuuri. Nii suureneb seemne idanemiskiirus. Samuti on leitud, et villamatid takistavad lindude tegevusest tingitud kahju taimetele. Kui rohi idaneb ja hakkab kasvama, tungivad need kasvades läbi kerge mati. Villa lagunedes eralduvad kasvu soodustavad toitained ning mati kasutamisega kasvab rohi äärmiselt lopsakas ja roheline. [10]

Villast idanemismatte kasutatakse kaubanduslikult teatud spetsialiseeritud rakenduste jaoks nagu näiteks tenniseväljakud ning pargipiirkonnad, kus on vaja kiiret kahjustatud muru tagasikasvu. Villast multšmatid on kasutuses ka paljudes aianduslikes rakendustes niiskuse säilitamiseks. Matid võivad aidata puuviljapuid, viinamarjaistandusi ning puidust mände ümber kasvatada ehk aidata neil kiiremini kohaneda. Matt on piisavalt paks, et takistada seda läbivad valgust. Matti läbib ainult niiskus ning valgus peegeldub. See soodustab vilja valmimist. Kuigi villast multšmatid on üldiselt sünteetilisest toodetest paremaks osutunud, on villast mattide puuduseks lühem eluiga. [10]



Joonis 2.1 Idanemismatt [18]

Sajandeid on villa kasutatud soojendusega rõivaste ning voodipesu valmistamiseks, kuid käesoleval sajandil kogub vill tuntust ka inimeste eluaseme isolatsioonimaterjalina. Villal on loomulik temperatuuri hoidev efekt. Vill suudab hoida temperatuuri stabiilsena, säästes energiat kütmise ja jahutamise pealt. Villast isolatsioonimaterjal võib kaasa tuua märkimisväärse kokkuhoiu piirkondades, kus ööpäevane temperatuurierinevus kõigub ulatuslikult. Selleks rakenduseks kasutatakse pigem odavamaid villatüüpe, mida on spetsiaalselt töödeldud putukate vastu. Samuti töödeldakse villa veelgi tulekindlamaks. Villamaterjal on tarbijale atraktiivne seetõttu, et see on täielikult taastuv. [10]

Põõsatulekahjude eest on võimalik anda majale kaitset villast kardinatega. Põõsatulekahju korral on aken osutunud majal kõige nõrgemaks lüliks. 63% kodudest põlevad kõigepealt seest ära väljast sisse ulatava leegi tõttu. Kuumus purustab aknaklaasid ning seejärel süttivad kõige vähem tulekindlamad materjalid nagu näiteks pehmet mööblit kattev kangas. AWI ehk Austraalia Villa Innovatsioon on välja töötanud taskukohase hinnaga tulekindlad vahendid, mis pakuvad kaitset taimede kaudu leviva tulekahju eest. Läheneva tulekahju korral kaitseb akna välisküljele kinnitatud tulekindel kardin maja kiire süttimise eest. [10]

Õliabsorbentide kasutamine villas on kergeim viis eemaldamiseks madala kontsentratsiooniga saasteaineid veest ja tööstusveejäätmetest. Alternatiive nagu aurustamist ning flokutatsiooni ei ole võimalik tihtipeale suurte koguste lahjendatud vedelike juures rakendada. Fibroossed absorbendid on sobivad, kuna neist saab valmistada riidet, mida omakorda saab kasutada erinevates tehnilistes lahendustes. On välja töötatud meetod lühikeste villakiudude konverteerimiseks pallikesteks, mida nimetatakse nõõpideks. Need on väikesed kiupallid, mis on osutunud õlide ja vee segudest õli absorbeerimiseks väga tõhusaks. Kui moodustada jämedakoelisi pikki võrke, võib nõõpe kasutada sademete ja teeäärsete õlireostusvahendite puhastamiseks. Nõõbid on ujuvad ja õli väljaheitmiseks võib neid tsentrifuugida, mis võimaldab neid korduvalt kasutada. Eeliseks nõõpide puhul on materjali biolagunevus. Kui õliga saastunud nõõbid pole enam vajalikud, ei muutu need pärast kasutamise lõpetamist keskkonnaprobleemiks ning biolagunevad täielikult. [10]

Happelised rühmad proteiinis annavad villale head omadused keskkonnast raskmetallide absorptsiooniks ehk imamiseks. Villa omadusi muutes on võimalik raskmetallide absorbeerimisvõimet parendada. Olenevalt metallist valitakse ka villa omaduse parendamise meetodikat. Raskmetallide ioonidel on väga palju erinevaid omadusi nagu suurus, laeng ning

hüdratsioon. Modifikatsioonid villa absorptsiooni parendamiseks on välja töötatud arseenile, kroomile, elavhõbedale, vasele ning tsingile. [10]

Tekstiilitööstuses on hakatud katsetamise käigus avastama võimalusi, mida võivad pakkuda targad tekstiilid olles ühendatud elektroonika ning kommunikatsioonivahenditega. Tarkadeks materjalideks kutsutakse üldiselt tekstiile, mis on dünaamilised ja interaktiivsed ning suudavad kiirelt reageerida välistele tingimustele. Väljakutse seisneb tarkade kangaste integreerimises moeks ning nutikate tehnoloogiate kasutamine tekstiilide esteetilisi ja tehnilisi omadusi rikkumata. [10]

Lambavillast kangastest valmistatud riided on olnud kaua kasutuses kaitsva rõivana, eriti tuletõrjude ning metalli töötlemisega seotud tegevusaladel. Villast valmistatud kangast kasutatakse metalli valamisel, eriti raua ja alumiiniumi sulatamiseks tööstuses. Kuna väga märkimisväärne osa metalli sulatamiseks tehtavaid töid sisaldab endas suure soojuskiirusallika lähedal viibimist kui ka periooditi jahedas keskkonnas viibimist, kaitseb villane rõivas inimest ka haigestumise eest. [10]

2.1 Põllumajanduses kasutatavad villakiudu sisaldavad tooted

Iga lambakarja villa kvaliteet on erinev ja sobib mitmesugusteks kasutusalaideks. Parema kvaliteediga villa kasutusalasid on mitmekümneid, kuid halva kvaliteediga villale otsitakse jätkuvalt tasuvaid kasutusalasid. Ebakvaliteetsemat villa üritatakse ära kasutada põllumajanduses. Järgnevalt on välja toodud mõned näited hetkel kasutusel olevatest toodetest.

2.1.1 Villast valmistatud matid

Maasikatootjad Minnesotas ning mujal maailmas on peagi kaotamas võimalust umbrohu kasvu teatud keemiliste ainetega kontrollimiseks, mida eelneval sajandil ilma loata kasutada võis. Üks nendest ainetest on näiteks metüülbromiid, mis on alates 2007. aastast Eestis erandkorras ainult vastava loa alusel kasutatav. See on toonud kaasa

märkimisväärseid lisakulusid tootjatele, mis ohustavad seeläbi paljude aianduskultuuride kasvatamist. [11]



Joonis 2.2 Idanemismatt [12]

See on toonud endaga kaasa alternatiivide otsimise ja on testimise käigus leitud, et villast valmistatud kasvuhoone ning põllumatid (Joonis 2.2) on igati efektiivsed ning takistavad umbrohu kasvu samaväärselt varasemalt kasutusele olnud keemiliste ainetega. [11]

2.1.2 Villamultš

Multš on materjal ehk antud juhul vill, mis asetatakse mullale, et tõrjuda umbrohtu, vältida erosiooni ning parandada toitainete sisaldust. Multš toimib ka isolaatorina, mis vajadusel kaitseb taime juuri ootamatute madalate temperatuuride eest.[11]

2.2 Vill kui biolagunev materjal

Lambavill on biolagunev materjal. Biolagunevat materjali võib jagada toorainetesse nagu süsinikdioksiid, vesi ning looduses esinevad mineraalid. Biolagunemiseks vajalikud komponendid on hapnik, soe temperatuur ning niiskus. [12]

Vill kasvab lammastel naturaalselt ning koosneb peamiselt valgust nimega keratiin. Biolagunedes lagundatakse kõigepealt villakiududel otsad. Seejärel lagundab bakter kahjustatud villakiudu üldiselt, sünteesides ensüüme. Kõrge lämmastikutase on põhjus, miks vill väga hästi biolaguneb, sest süsinikku ja lämmastikku on üsna sarnastes kogustes. [12]

Enamikes villa biolagunevuse katsetustes maetakse mingi villast toode, näiteks jope. Maapind tagab vajalikud mikroobid, niiskuse, temperatuuri ning pH-väärtuse. Toode eemaldatakse maapinnast iga natukese aja möödudes, et jälgida lagunemisprotsessi. Testid näitavad, et ideaalsetel tingimustel villast valmistatud tooted lagunevad peaaegu täielikult kuue kuuga. Villas kasutatavad värvained biolagunemist ei mõjuta. [12]

Biolagunevad materjalid on osa looduslikust tsüklist. Materjalid saavad alguse loodusest ning lõpetavad tagasi looduses, rikastades mulda. Sünteetilised kiud nagu näiteks polüester ja nailon võivad laguneda 30-40 aastat. Seetõttu on villa võimalikult suur kasutuselevõtt ning sünteetiliste kiudude kasutamise vähendamine väga oluline. [12]

3. TURUL SAADAOLEVATE VILLAPELLETITE UURING

Maailmaturul on mõned üksikud villapelletite tootjad. Eestis antud ajahetkel veel ühtegi tootjat ei ole. Peamisteks välismaisteks suurteks tootjateks on järgmised ettevõtted: Wild Valley Farms(Ameerika Ühendriigid) ning Slug Gone (Suurbritannia).

Wild Valley Farms poolt toodetud villapelletitel on toote pakendil oleva info järgi järgmised omadused:

- Villapelletid on 100% toodetud pesemata villast. Vill on pügatud lammastelt igal kevadel. [13]
- Villapelletid hoiavad endas vett 20 korda rohkem kui on pelleti omakaal. Kui pellet asetada mulda, siis alandavad need kastmise tihedust ligi 20% võrra. Kuna pelletid hoiavad endas vett, siis on olemas ka naturaalne kaitse ülekastmise eest. [13]
- Villapelletid kindlustavad mullas tuulutuse ning poorsuse. Kui vill absorbeerib vett, siis ta ruumala suureneb ning selle tõttu aitab villapellet suurendada poorsust ning hapniku hulka mullas. See annab juurtele ruumi kasvamiseks ja tugevamalt mulda kinnitumiseks. Tänu sellele omadusele võib taimede regulaarse kastmise vahele jäävat aega suurendada. [13]
- Villapelletid eritavad väetist aeglaselt. Villakiud koosneb kõige enam süsinikust ning lämmastikust. Villapellet biolaguneb ligikaudu 6 kuud eraldades terve selle aja vältel taimekasvuks mulda vajalikke ühendeid. [13]
 - Villapelletite väetise tase on 9-1-2 NPK Väetise tase 9-1-2 NPK tähistab massiprotsentides elementide esinemist väetises. Villakius massis on 9% on lämmastikku, 1% fosfori ning 2% kaaliumi.
 - Villapelletid sisaldavad veel kaltsiumi, magneesiumi, rauda, väävlit, fosforit, kaaliumi.
 - Lisaks sisaldub villapelletites veel teisi mikroelemente sobivates kogustes.
- Villapelletid on tehtud taastuvast, jätkusuutlikust ning täielikult orgaanilisest materjalist. Pelletid ei sisalda kemikaale ja on turvalised taimedele, rikastades neid vajaliku väetisega. Samuti on villapelletid ohutud nii inimestele kui ka koduloomadele. [13]
- Villapelletid aitavad tõrjuda taimi kahjustavaid nälkjaid ja tigusid. Kui asetada villapelletid taime ümber ning segada need mullaga, siis hoiab see eemale nälkjaid ja tigusid. Villakius sattudes nälkja või teo nahale tekib ärritus, mis sunnib kõhtjalgsed limused teist teed otsima. Ühekordne pelletite lisamine mullale kaitseb taimi limuste eest. [13]

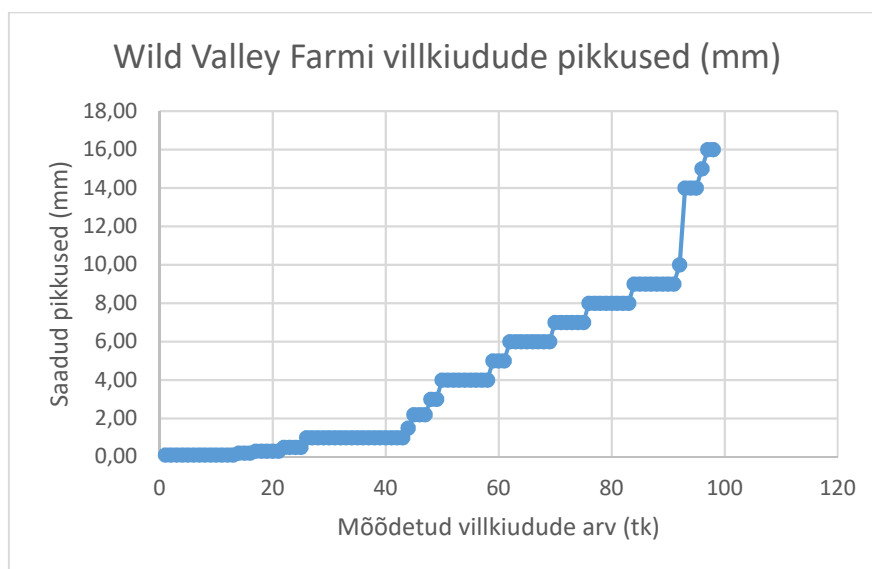
Antud bakalaureusetöös uuriti lähemalt ettevõtte Wild Valley Farms poolt toodetud villapelleteid.

3.1 Mikroskoopia

Mikroskoopia eesmärgiks on välja selgitada Wild Valley Farmi lammaste villkiudude pikkused ning läbimõõdud. Antud informatsioon osutub oluliseks villast pelletite pressimisel, et mõista miks, kuidas ning milline pellet lõplikult saadakse. Saadud tulemuste põhjal proovitakse purustada Eestis kasvatatud valgepealiste lihalammaste villkiud sarnase pikkusega kiududeks.

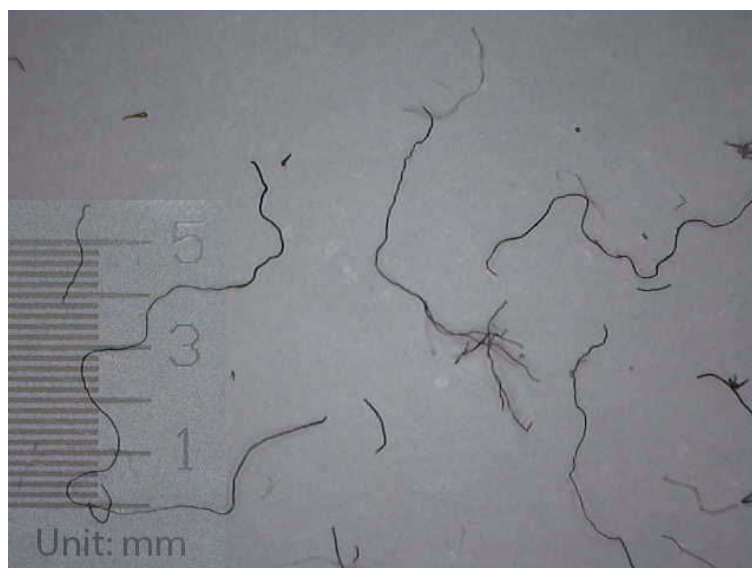
3.1.1 Villkiudude pikkus

Villkiudude keskmiste pikkuste määramiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris asuvat digitaalset mikroskoopi Dino-Lite ning arvutitarkvara Dinocapture 2.0, millega saadi kiududest 40-kordne suurendus. Tulemused villkiudude pikkustest on välja toodud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Wild Valley Farmi villkiudude pikkused

Antud graafikust võib välja lugeda Wild Valley Farmi lambavilla purustatud villkiu pikkuste keskmise tulemuse, milleks on 4,22 mm.

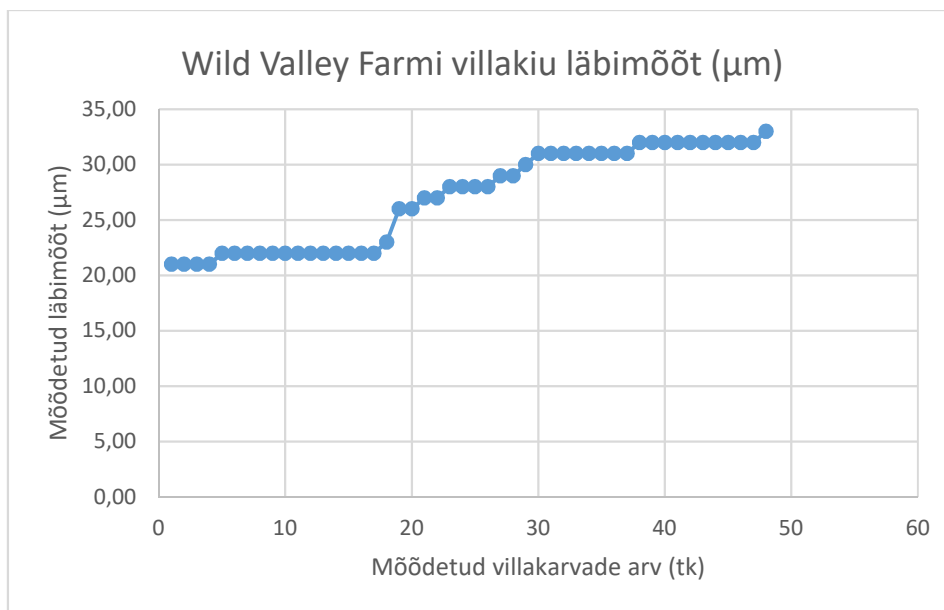


Joonis 3.2 Wild Valley Farmi villkiudude mikroskoobi pilt

Joonisel 3.2 on välja toodud Wild Valley Farmi poolt toodetud väetispelletite villakiudude mikroskoobi pilt.

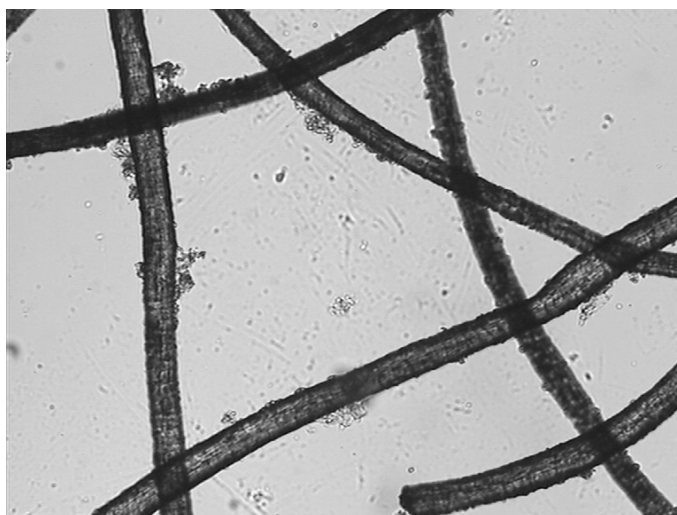
3.1.2 Villakiudude läbimõõt

Villakiudude läbimõõdu uurimiseks kasutati Polümeeride ja Tekstiilitehnoloogia laboris mikroskoopi Axioskop 2, millele määrati 100-kordne suurendus. Seejärel mõõdeti arvutiprogrammiga ZEN 2.3 ära kolme erineva uurimise all oleva lambavillakiudude läbimõõdud.



Joonis 3.3 Wild Valley Farmi villakiu läbimõõt

Wild Valley Farmis kasvatatud lammaste saja villakiu keskmine läbimõõt on 35,97 µm.



Joonis 3.4 Wild Valley Farmis kasvatatud lamba villakiudude mikroskoopia 100-kordne suurendus

Joonisel 3.4 on välja toodud mikroskoopia 100-kordne suurendus Wild Valley Farmis toodetud väetispelletite villakiududest.

3.2 Leostus

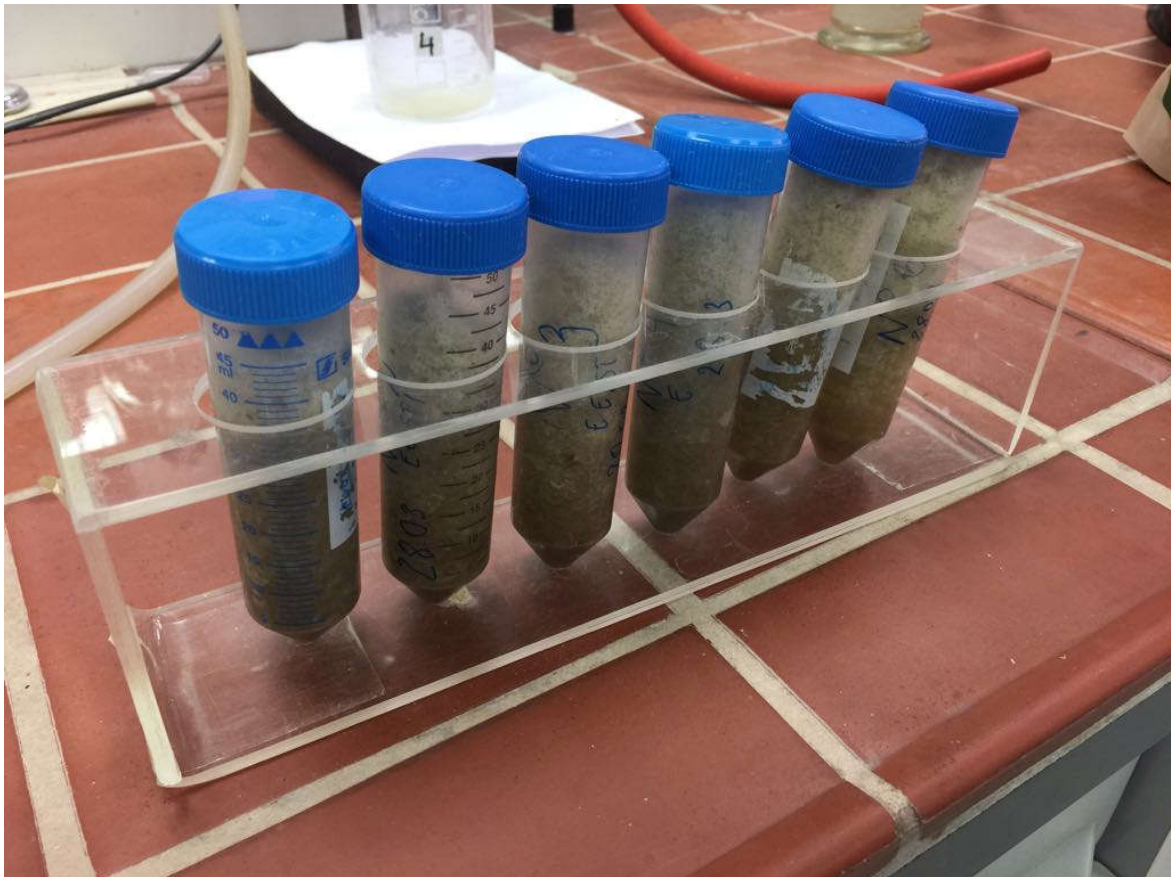
Leostuskatsed viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli Anorgaaniliste materjalide teaduslaboratooriumis, mis kuulub Inseneriteaduskonna Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudi koosseisu.

Leostuskatsete eesmärgiks oli uurida toote kriitilisemate keemiliste elementide vastavust riigis kehtestatud sarnaste väetiste nõuetele, mis on leitavad tabelist 3.2.

Eelkõige uuriti kahte kolmest väetamise seisukohalt esmajärguliste keemiliste elementide esinemiste suurust. Eesti muldades mõjutavad taimede arengut ning kasvu kolm esmajärgulist makroelementi: lämmastik, fosfor ning kaalium. Vähemal määral mõjutab kaltsium, magneesium ning väävel. Kuna lämmastikutaseme suurus on lambavillas väikse varieeruvusega, keskendub leostusanalüüs pigem fosfori ning kaaliumi esinemisele. [14]

Fosfori vajalikkus mullas toiteelemendina on seemnete idanemiseks, juurdumiseks ning õigepungade arenguks. Mulda satub fosfor peamiselt väetiste kasutamisel. Kaalium on vajalik viljade ja mugulate arenguks ning kudede tugevdamiseks. Kaalium pikendab õite õitsemist, kirkastab nende värvust ning muudab taimed vastupidavamaks kuivuse, haiguste ning temperatuuri suhtes. Kõige kaaliumivaesemad mullad Eestis on liiv- ja turvasmullad. [14]

Leostustulemuse analüüsi käigus uuriti ka kloriidi sisaldust mullas. Kloriidi liigne sisaldus võib põhjustada pinnase kurnatust seetõttu, et ioonvahetuse käigus naatriumsoolad jäävad pinnasesse ja vabanevad põhjavette teised ioonid, milleks on näiteks kaltsium ja kaalium. Kloriidi liigne sisaldus vähendab pinnase stabiilsust ning pH-d. [15]



Joonis 3.5 Villa proovid katsetuubides, peale leostust.

Leostuskatsete teostamiseks kasutati tahke ja vedeliku vahekorda, ehk 1 osa villa ning 10 osa vett (EN 12457/2-2004 järgi). See tähendab, et vastavalt 3 g villale tuli lisada 30 ml kraanivett tsentrifuugituubidesse, mille kogu mahtuvus oli 50 ml. Täidetud tsentrifuugituubid asetati 24-ks tunniks pöörlema loksutusseadmesse (GFL 3025) kiirusel ~45 pöört/minutis. Leostamine toimus atmosfääri rõhul ning reaktoris väljakujuneval temperatuuril (toatemperatuuril).

Eestis kasvatatud lammaste granuleerimata ning granuleeritud villale tehti viis katset. Wild Valley Farmis kasvatatud lammaste villale teostati kaks paralleelkatset toote pakendil oleva fosfori ning kaaliumi sisalduse ühtivuse võrdluseks katsetulemuste käigus saadud tulemustega.

Vahetult peale loksutusaja möödumist fikseeriti pH (MT SevenGo pH) mis näitab kas antud proov on happeline, aluseline või neutraalne. Lahus loetakse happeliseks, kui $\text{pH} < 7$, aluseline kui $\text{pH} > 7$ ning neutraalne, kui $\text{pH} = 7$ [14]. Vesinikeksponent määrati pH-meetriga MT SevenGo Duo Pro ja elektrijuhtivus määrati seadmega MT SevenGo Duo Pro. Seejärel suspensioon filtriti (vaakumfilter, filterpaber - Munktell, 100 g/m^2). Filtraadist määrati spektrofotomeetriselt (Lovibond Spectro Direct) fosfori (vt. meetod 1), kaaliumi (vt. meetod: 2), ning kloriidi (vt meetod: 3) sisaldused.

Meetod 1. Fosforit määrati järgmiselt:

1. 10 ml suletav anum täideti villapelletites leostunud kraaniveega ning mõõdeti niöelda null-tulemus, milleks on 0 mg/l.
2. Seejärel lisati leostusveele tablett fosfori reagenti HR P1+, mis lahustati korralikult proovis.
3. Lahusele lisati kindlas järjekorras ka teine tablett fosfori reagenti HR P2.
4. Tulemus mõõdeti uuesti ajakuluga 10 minurit ning saadi lõplik fosfori sisaldus lahuses.

Meetod 2. Kaaliumi määrati järgmiselt:

1. 10 ml suletav anum täideti villapelletites leostunud veega ning mõõdeti niöelda null-tulemus, milleks on 0 mg/l.
2. Seejärel lisati leostusveele tablett kaaliumi reagenti T tablett, mis lahustati korralikult proovis.
3. Tulemus mõõdeti uuesti ajakuluga 0 miutit ning saadi lõplik kaaliumi sisaldus lahuses.

Meetod 3. Kloriidi määrati järgmiselt:

1. 10 ml suletav anum täideti villapelletites leostunud veega ning mõõdeti niöelda null-tulemus, milleks on 0 mg/l.
2. Seejärel lisati leostusveele tablett kloriidi reagenti T1, mis lahustati korralikult proovis.
3. Lahusele lisati kindlas järjekorras ka teine tablett kloriidi reagenti T2.
4. Tulemus mõõdeti uuesti ning saadi lõplik kloriidi sisaldus lahuses.

Antud villapelletite keskmine pH-tase on 7,34 ning elektrijuhtivus 7,813 e⁻¹*ohm*cm. Saadud keemiliste elementide leostustulemused on toodud Tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Utah villapelletite leostuskatsete tulemused.

Wild Valley Farmi lambavilla pelletitest leostunud keemiline element	Keemilise elemendi sisaldus, mg/l
Fosfor	2500
Kaalium	13833
Kloriid	<100

Tabel 3.2 Nõuded Eesti orgaanilis- mineraalsele kompleksväetise koostisele. [16]

Liigi nimetus	Andmed tootismeetodi kohta ja põhilised koostisosad	Toitaine miinimumsisaldus(massiprotsentides); toitaine andmete väljendamise viis; muud nõuded	Toitainesisalduse esitamise viis; toitaine vorm ja lahustuvus; muud tunnused	Lubatud hälve ¹ (massiprotsentides)
Orgaanilis-mineraalne kompleksväetis	Keemiliselt või segades valmistatud saadus, mis sisaldab ka loomseid, taimseid või muid orgaanilisi ühendeid	Toitainesisaldus vähemalt: 10% (N + P + K) või (N + K); 8% (N + P) või (P + K). Iga toitaine sisaldus peab olema vähemalt 1%. Toode ei tohi sisaldada haigusetekitajaid mikroorganisme. Lämmastik väljendatakse: 1) üldlämmastikuna; 2) vees lahustuvana; 3) või deklareerides teiste vormidena. Fosfor väljendatakse: 1) üldfosforina; 2) vees lahustuvana. Kaalium väljendatakse: 1) üldkaaliumina; 2) vees lahustuvana.	Lämmastik (N)	N 1,1 ²
			Fosfor (P)	P 0,5
			Kaalium (K)	K 0,9
			Kuivaine	± 25

Riigi teatajast leitav põllumajandusministri 14.11.2014 määrus nr 101 „Nõuded väetise koostisele väetise liikide kaupa“ järgi võib villapelletite kompleksväetist nimetada orgaanilis-mineraalseks kompleksväetiseks (vt Tabel 2). Viimaseid parameetreid arvesse võttes saab kindlaks teha, et Wild Valley Farmis valmistatud toode vastab määruse nõuetele. Tuleb kindlaks teha, et antud nõudele kehtib ka Eestis kasvatatud lamba villas sisalduvad keemilised elemendid. [16]

4. VILLAPELLETITE TOOTMISE TEHNOLOOGIA VÄLJA TÖÖTAMINE

On väga vähe avalikku informatsiooni villapelletite detailse tootmisprotsessi kohta. Kuna antud toode on patentimise ootel, siis täpset tootmiseks mõeldud tehnoloogiat veel avaldatud ei ole. Teadu on, et lambalt pügatud vill sisaldab suurel hulgal lanoliini, villarasva, palju surnud naharakke, pinnasejääke kui ka taimseid osakesi.

Esimene samm villast pelletite saamiseks on suur villak purustada väiksemateks osadeks. Seejärel valmistatakse ette vill granuleerimiseks, mis sisaldab endas eelkuivatamist ning pressimist pelletiteks. Õigesti valitud temperatuur, niiskus ja rõhk pressimise ajal võimaldab valmistada tihedaid, kuivi ning stabiilseid graanuleid. Pelleti suurus on võrreldav teiste kaubanduslikult kasutatavate väetiste graanulite suurustega. Toodetavaid villagraanuleid saab doseerida tootjate väitel olemasoleva agrotehnilise varustusega.

Tööstuslik villapelletite üldine tootmisprotsess on järgmine [17]:

- Villa niiskusesisalduse kuivatamine 10%-ni
- Mehaaniline eeltöötlemine ning mehaaniline puhastamine
- Pelletiseerimine sobiva pressi all
- Hilisem hoiustamine kuivadest tingimustes

4.1 Pesemata villa purustamine

Lähtuvalt kirjanduses välja toodud erinevatest pelletite tootmisprotsessidest, keskenduti käeolevas bakalaureusetöös kahele põhilisele protsessile villapelletite tootmisel: villa purustamisele ning granuleerimisele.

Purustusmeetodi number 1 katsetusena purustati Retsch SM 100 purustamisveskiga, mis on ette nähtud pehme, keskmise ning tugeva materjali jaoks. Samuti sobib see kiuliste materjalide purustamiseks. Purustamiseks vajalik eeltöö villale on villaku väiksemateks osadeks lõikamine. Villa eelnevalt ei kuivatata.



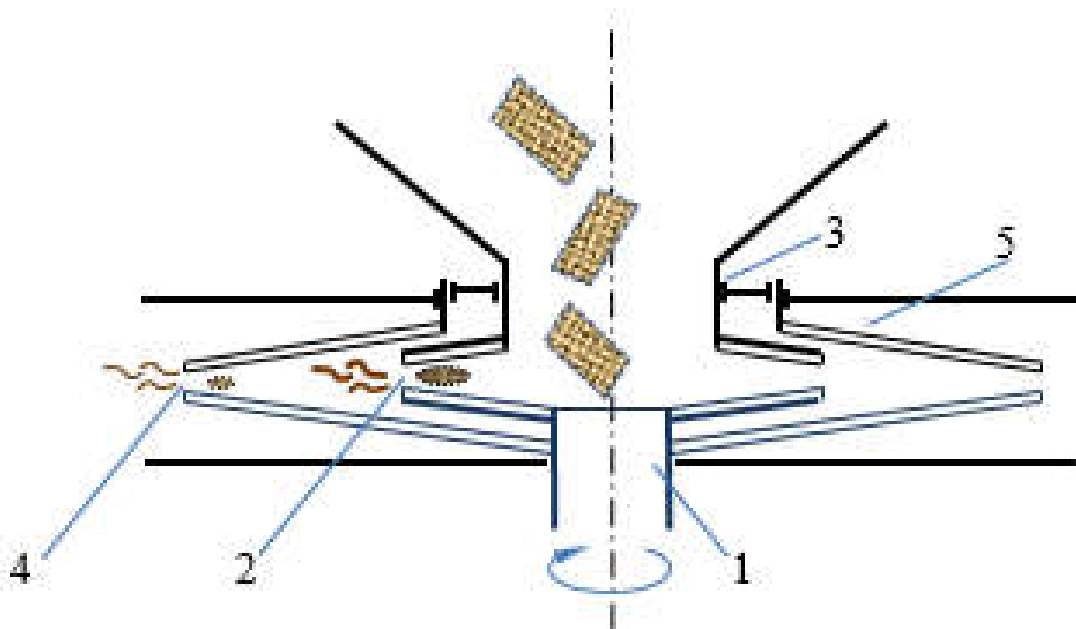
Joonis 4.1 Purustamisveski Retsch SM100

Hetk pärast purustamist kogumiskotti avades, oli näha liiga lühikeseks purustatud villakiudude kogumit, mis liialt lendles. Samuti edasi purustades oli osa villast justkui kadunud. Ilmnes, et osa niiskemat villa jäi purustusseadmesse nugade ning seinade külge kinni. Läbi viidud materjali analüüsist selgus, et antud meetodil purustatud vill ei olnud sobilik pelletite tootmiseks, kuna saadud villakiud olid liiga lühikesed. Täpsed tulemused välja toodud tabelis 4.4.



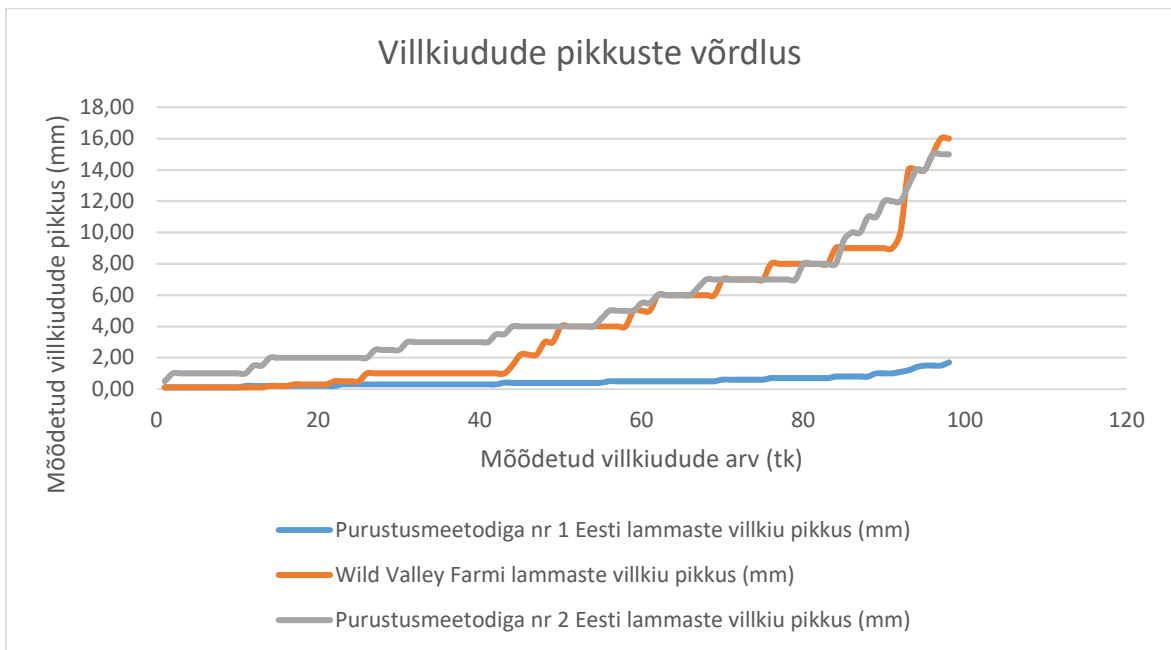
Joonis 4.2 Seadmega Retsch SM100 purustatud pesemata vill

Purustusmeetodiks number 2 prooviti villa purustada Mehaanika ja Tööstustehnika instituudi laboris eksperimentaalsel purustusseadmel. Antud purustusseade on valmistatud Toivo Pappeli poolt ning koosneb viiest osast: pöörlev rootor, eelpurustuse ja peenpurustuse tsoonid, kinniskettad lõiketerastega pilu reguleerimisvõimalusega, mille tööpõhimõte on näidatud joonisel 4.3. Purustusseadme esialgne eesmärk oli PET-pudelite ja muu plastmaterjalide purustamine ja peenjahvatamine, kuid sobis ka ideaalselt väiksemateks tükkideks lõigatud villaku purustamiseks. Purustusseadme teeb eriliseks just see omapära, et purustatud materjalide osakeste suurust on reguleerida. See tähendab, et ülemised terad, mis pöörleva rootoriga otseses kontaktis ei ole, on reguleeritavad, muutes materjali purustatud osakeste suurust soovitud suuruseks.



Joonis 4.3 Plastmaterjalide peenestusseade ja skeem; 1 – pöörlev rootor, 2 ja 4 – eelpurustuse ja peenpurustuse tsoonid, 3 ja 5 – kinniskettad lõiketerastega pilu reguleerimisvõimalusega [17]

Järgneval joonisel 4.4 on välja toodud graafik esialgsete tulemustega, mehhaanikateaduskonna laboris tehtud tulemustega kui ka Ameerika Ühendriikide toote moodustavate villakiudude tulemustega.



Joonis 4.4 Villkiudude pikkuste võrdlus

Jooniselt 4.4 on näha, et esialgse purustusega Eesti villkiudude pikkused erinevad väga palju Wild Valley Farmi purustatud villakiudude pikkustega. See tähendab, et kõige esialgsem villa purustamine on tekitanud olukorra, kus on saadud mitu korda lühemad kiud, kui toote valmistamiseks ette nähtud oli vastavalt olemasolevatele villapelletite kiudude pikkustele.

Samuti võib graafikult välja lugeda selle, et teine katsetus villa purustada on väga hästi õnnestunud. Wild Valley Farmi villkiudude keskmine pikkus on 4,22 mm ning teise katsetusega saadud villkiudude keskmiseks pikkuseks on 4,94 mm. Toon välja ka esialgse purustusega saadud villkiudude keskmise pikkuse, milleks on 0,49mm. Seetõttu võib teise katse purustamise tulemustega rahule jääda.

4.2 Purustatud villa granuleerimine

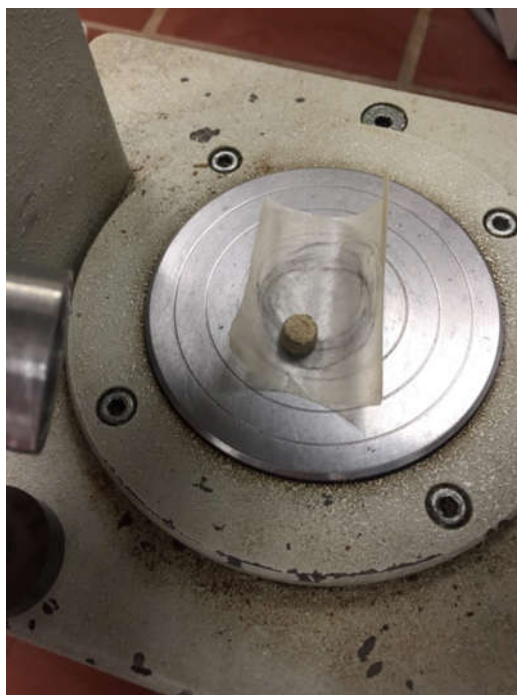
Villa granuleerimise eesmärgiks on välja selgitada kas ja kuidas naturaalne purustatud vill kõikide sinna sisse jäetud jäägiga, mis lambavill oma elukeskkonnast kaasa sai, kindla rõhu all granuliks

pressides saab. Pressimiseks kasutati hüdraulilist Perkin-Elmeri nimelise firma manuaalpressi. (Vt joonis 4.5)



Joonis 4.5 Hüdrauliline Perkin-Elmeri manuaalpress

Graanulite saamise protsess koosneb kindla koguse villa kaalumises ja jaotamises 0,3 grammistesse portsjonitesse. Seejärel tuleb asetada kaalutud vill silindrikujulisse auguga anumasse ning asetada peale polt, mis aitab surve tõstmisel kindlat rõhku hoida ning pressib villa kokku pelletiks. Asetades abivahendid koos villaga pressi alla, tuli saavutada manuaalselt 5 atm rõhku. Seejärel võis eemaldada saadud pellet pressi alt ning sulgeda see õhukindlasse kotti(vt joonis 4.6).



Joonis 4.6 Pressi alt tulnud villapellet

Esiialgu sai katsetatud pelletteid erinevate villakoguste ning rõhkudega pressimist. Proovitud sai 0,1 grammi 5 atmosfääri juures ning 0,2 grammi villa 5 atmosfääri juures. 0,3 grammi villa sai katsetatud nii 5 atm rõhu juures kui ka 10 atm rõhu juures.



Joonis 4.7 Erineva almassiga villapelletite katsetused

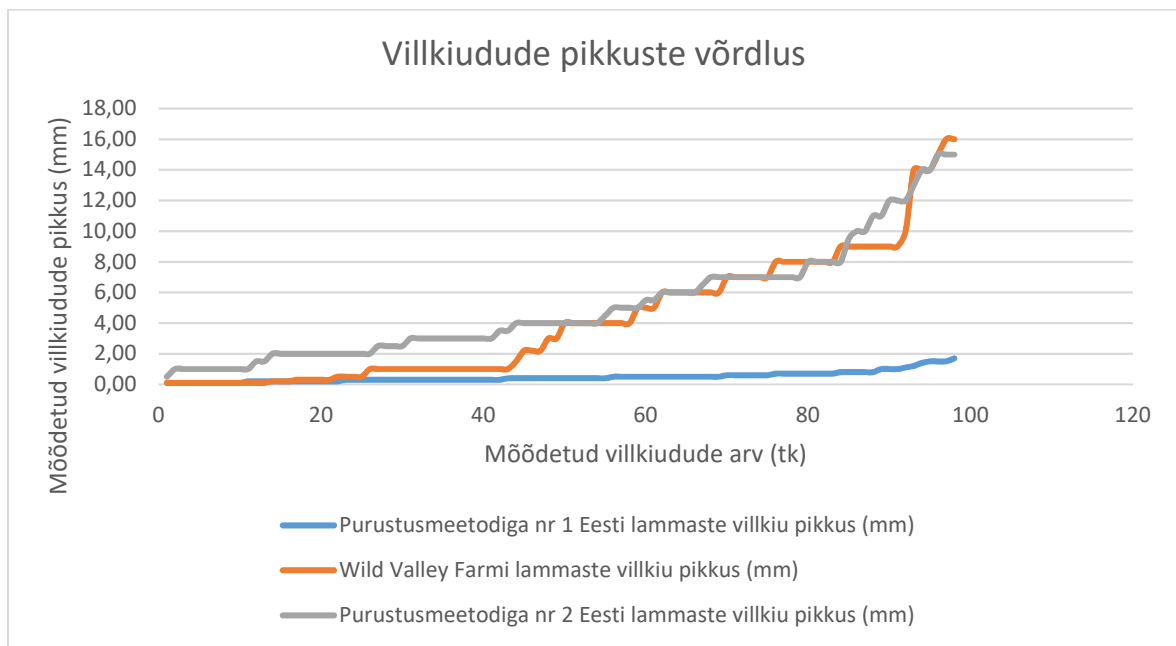
Tulemus lisatud 5 atmosfääriga ei muutunud, seetõttu otsustati lõplikuks tulemuseks jätta 0,3 grammi villa 5 atmosfääri rõhu all. Sellega sai tõestatud, et antud toote tegemiseks ei ole eelnevalt vaja kuivatada ega puhastada lambavilla ning ka ei ole vaja lisada aineid, et vill pelletiks kokku jääks. Saadud villapelletid on toodud joonisel 4.7.

4.3 Mikroskoopia

Mikroskoopia eesmärgiks on välja selgitada Wild Vlley Farmis kasvatatud lammaste villakiudude läbimõõtude ning Eestis, Rakveres ning Sõmeru vallas kasvatatud lammaste villakiudude läbimõõtude erinevuse suurus. Eesti vill pärineb Eesti valgepealistelt lihalammastelt. Samuti on eesmärgiks saadud purustatud villakiudude pikkuste võrdlus. See informatsioon osutub oluliseks villast pelletite pressimisel, et mõista miks, kuidas ning milline pellet lõplikult saadakse.

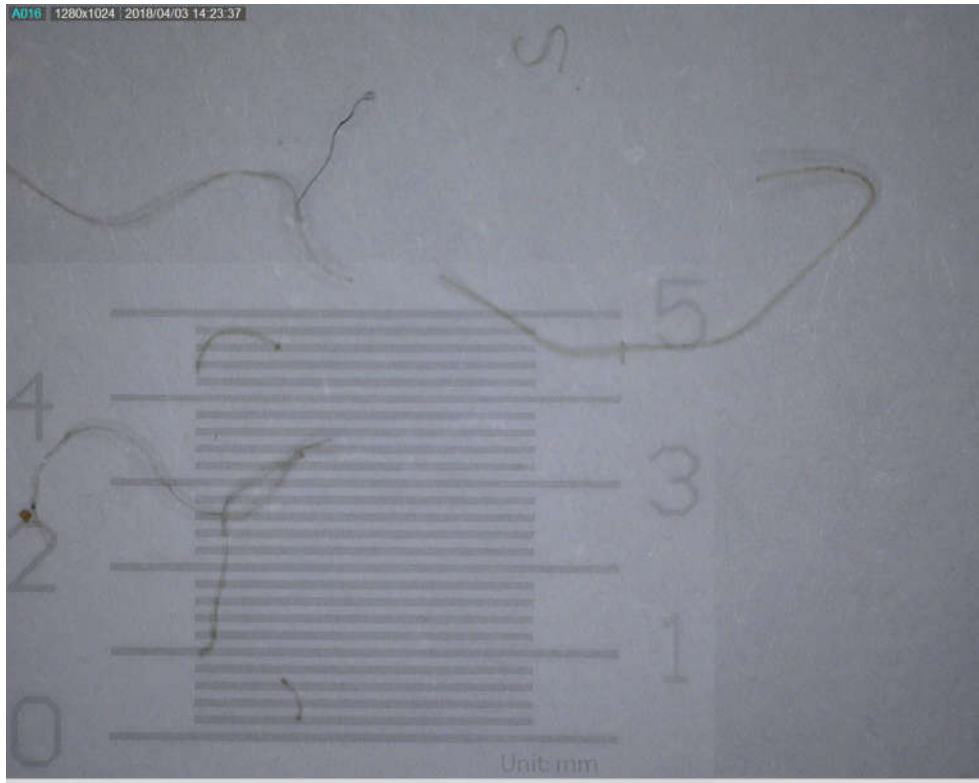
4.3.1 Villakiudude pikkus

Villakiu pikkuste määramiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia asuvat digitaalset mikroskoopi Dino-Lite ning arvutitarkvara Dinocapture 2.0, millega saadi kiududest 40-kordne suurendus. Tulemused villikiudude pikkustest on välja toodud järgneval joonisel 4.8.

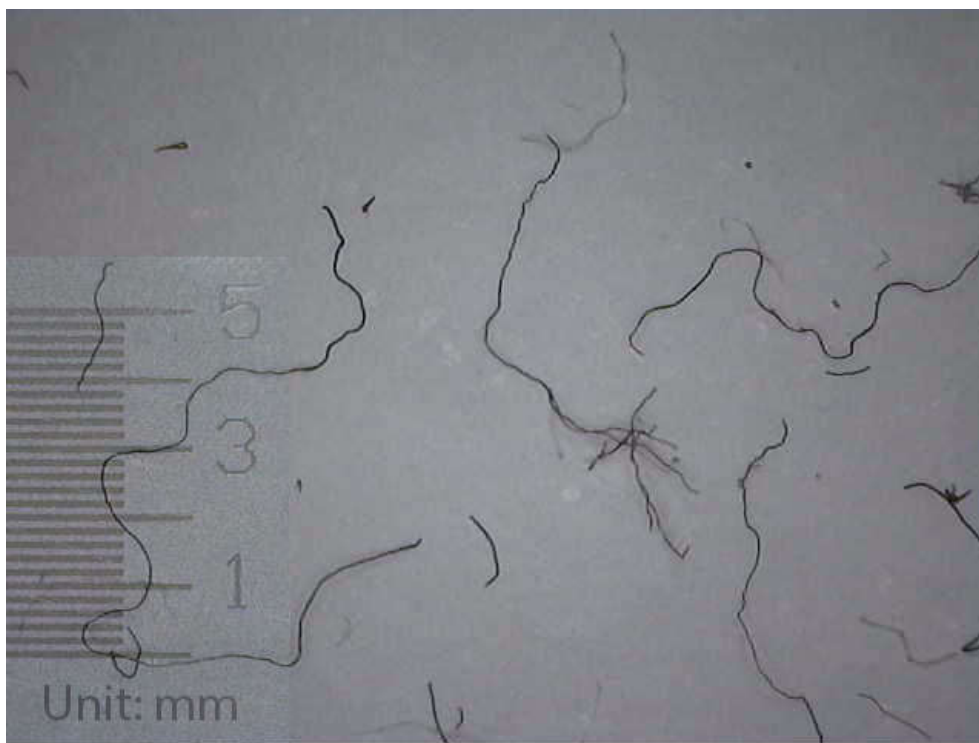


Joonis 4.8 Villikiudude pikkuste võrdlus

Purustusmeetodiga number 1 on villakiudude pikkused märkimisväärselt väiksemad, kui purustusmeetodiga number 2 purustatud villakiudude pikkused.



Joonis 4.9 Eesti valgepealise lihalamba villakiud



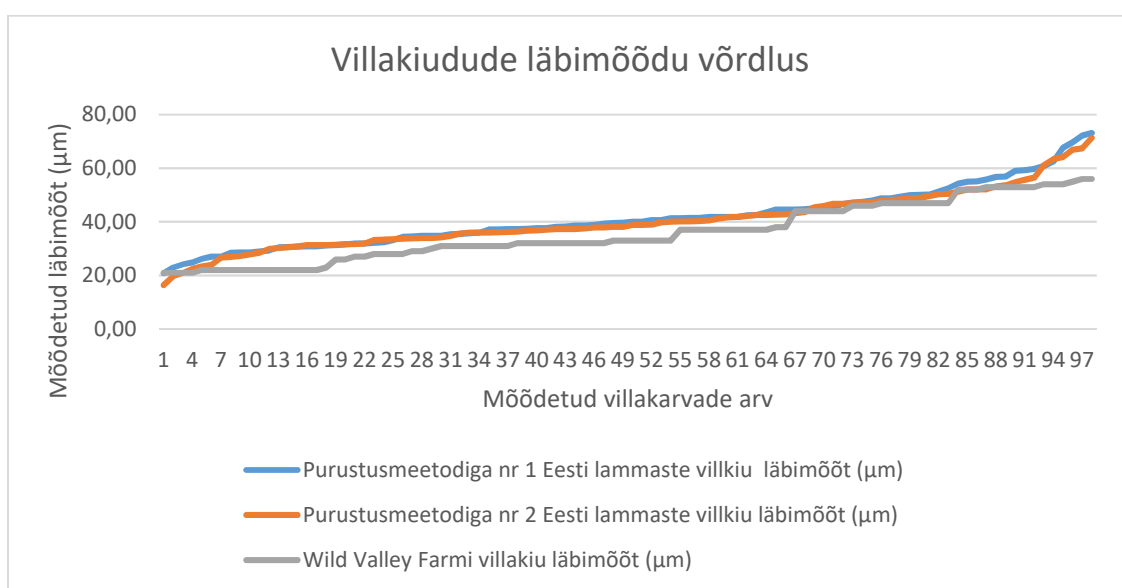
Joonis 4.10 Utah osariigis kasvatatud lamba villakiud

Meetodiga number 1 purustades saja erineva villakiu keskmine pikkus on 0,49 mm. Meetodiga number 2 purustades saja erineva villakiu keskmine pikkus on 4,94mm, mis on märgatavalt

sarnasem Wild Valley Farmi lambavilla purustatud villakiu keskmisele tulemusele, milleks on 4,22 mm.

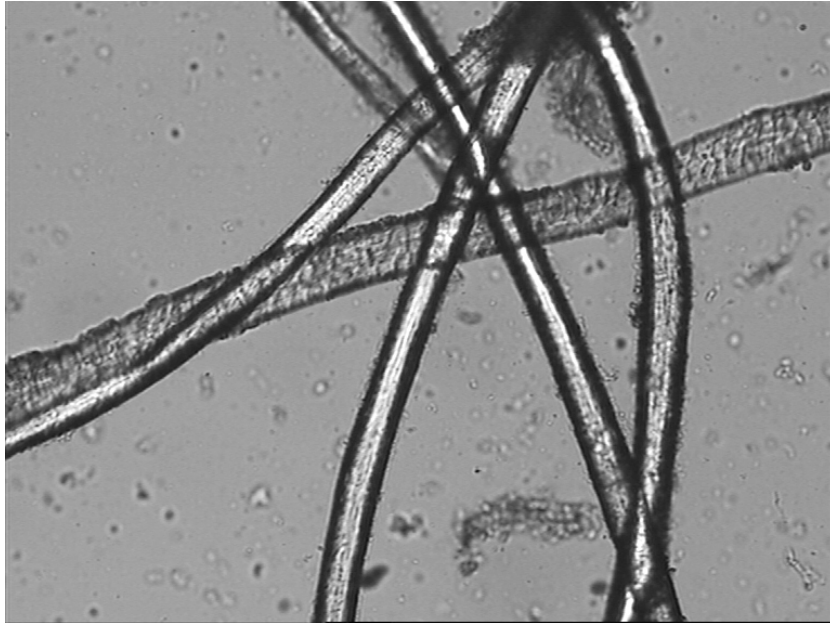
4.3.2 Villakiudude läbimõõt

Villakiudude läbimõõdu uurimiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris asuvat mikroskoopi Axioskop 2, millele määrati 100-kordse suurendus. Seejärel mõõdeti arvutiprogrammiga ZEN 2.3 ära kolme erineva uurimise all olevate lambavillakiudude läbimõõdud.

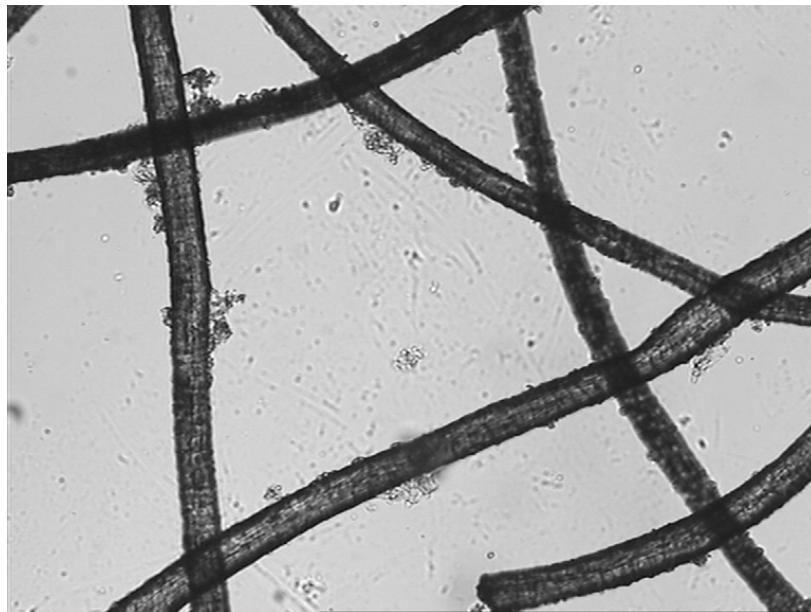


Joonis 4.11 Villakiudude läbimõõdu võrdlus

Jooniselt 4.11 võib välja lugeda, et Eestis kasvatatud lammaste ning Wild Valley Farmis kasvatatud lammaste villakiu läbimõõt väga palju ei erine. Wild Valley Farmis kasvatatud lammaste saja villakiu keskmine läbimõõt on 35,97 µm. Sõmeru vallas kasvatatud lammaste saja villakiu keskmine läbimõõt on 40,9 µm.



Joonis 4.12 Eesti valgepealise lihalamba villakiud



Joonis 4.13 Utah osariigis kasvatatud lamba villakiud

Villakiudude läbimõõdu erinevus kahes erineva kliimaga riigis ning ka kahel erineval mandril võib sõltuda mitmest tegurist. Suurimateks teguriteks võivad olla lambatõug ja tema kasvatamise eesmärgid ning kliima.

4.4 Leostuskatsed

Leostuskatsete eesmärgiks pärast villapelletite pressimist oli võrrelda Eestis kasvatatud lambavillast valmistatud villapelleti ning Utah osariigis kasvatatud lambavillast villapelletist välja leostuvate keemiliste elementide erinevust. Eesti lambavillast pelletite tulemused on allolevas tabelis (vt Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Eestis kasvatatud valgepealise lihalamba villast valmistatud villapelleti fosfori ning kaaliumi sisaldus

Liigi nimetus	Toitaine miinimumsisaldus (massiprotsentides); toitaine andmete väljendamise viis; muud nõuded	Toitainesisalduse esitamise viis; toitaine vorm ja lahustuvus; muud tunnused	Tulemus massiprotsentides enne granuleerimist	Tulemus massiprotsentides peale granuleerimist
Orgaanilis-mineraalne kompleksväetis ^{3; 4}	Toitainesisaldus vähemalt: 8% (P + K). Iga toitaine sisaldus peab olema vähemalt 1%. Toode ei tohi sisaldada haigusetekitajaid mikroorganisme. Fosfor väljendatakse: 1) üldfosforina; 2) vees lahustuvana. Kaalium väljendatakse: 1) üldkaaliumina; 2) vees lahustuvana.	Fosfor (P)	6,15	5,2
		Kaalium (K)	11,917	12,5

Saadud leostustulemustest altpoolt leitavas tabelis võib välja lugeda, et toitaine miinimumsisalduse tingimus, et vähemalt 8% peab olema kaaliumi ja fosfori, on täidetud. Kaaliumi on massiprotsentides 12% ja fosforit on 6%. Antud toote võib kindlasti lugeda PK väetiseks. Järgnevalt on välja toodud saadud tulemused.

Järgnevas tabelis 4.2 on välja toodud Eestis kasvatatud lambavillast valmistatud villapelleti leostustulemused ning võrreldud tulemusi Wild Valley Farmis kasvatatud lammaste villast valmistatud villapelleti leostustulemustega.

Tabel 4.2 Villapelletite leostustulemuste võrdlus

Lambavilla pelletitest leostunud keemiline element	Utah villapelletite aritmeetiline keskmine tulemus	Eesti villapelletite aritmeetiline keskmine tulemus
Fosfor	2500 mg/l	3833 mg/l
Kaalium	13833 mg/l	13750 mg/l
Kloriid	<1 mg/l	87,5 mg/l
pH	7,34	7,59
Elektrijuhtivus	7,813 e ⁻¹ *ohm*cm	8,643 e ⁻¹ *ohm*cm

Tulemustest võib välja lugeda, et fosforit on mõnevõrra rohkem Eesti villas kui Utah osariigis kasvatatavate lammaste villas. Kaaliumi on aga mõnevõrra vähem Eesti lammaste villas. pH-tase erineb 0,25 ühiku võrra, olles Eesti lambavillal suurem. Suurem on Eesti lambavillal ka elektrijuhtivus, ligi 1 e⁻¹*ohm*cm võrra.

5. VILLAPELLETITE OMADUSTE UURIMINE KASVUSUBSTRAADINA

Loorberipuu ehk *Laurus nobilis* on igihaljaste lehtedega antiikajast alates olnud ilutaim ning tema lehed hinnatud toiduvürts. Taim on pärit Vahemere maadest ja Väike-Aasiast. Sobivaks mullaks peetakse nõrgalt happelise pH-sisaldusega mulda 6,5-7,5. Muld peab olema hästi vett läbilaskev ning pigem kuiv. Väetatakse kevadel ning suvel, sügisel harvem. [19]

Antud Eesti lambavillast toodetud väetis, mille pH-tase on 7,59 sobib kirjanduse andmetel loorberipuudele. Villapelletid muudavad mulla läbilaskvamaks ning hoiavad taime ülekastmise eest. [19]

Tabel 5.1. Loorberipuude kasv sõltuvalt väetisest või väetise lisamata jätmisest

Number	Taimeliik	Mullatüüp	Väetis	Kõrgus 0 päeva möödudes (cm)	Kõrgus 21 päeva möödudes (cm)	Kasv 21 päeva möödudes
1	Harilik loorberipuu	Õhku läbilaskev kruusa/liivaga segatud muld	5g Utah villapelleteid	31	32,7	1,7
2	Harilik loorberipuu	Õhku läbilaskev kruusa/liivaga segatud muld	Biopon 1tk	29	31,9	2,9
3	Harilik loorberipuu	Õhku läbilaskev kruusa/liivaga segatud muld	5g Eesti Nr. 1 villapelleteid	33	34,5	1,5
4	Harilik loorberipuu	Õhku läbilaskev kruusa/liivaga segatud muld	5g Eesti Nr.2 villapelleteid	35	38,6	3,6
5	Harilik loorberipuu	Õhku läbilaskev kruusa/liivaga segatud muld	Väetiseta	31	33,5	2,5



Joonis 5.1 Loorberipuude katse algus

Antud katsetulemustest võib välja lugeda, et kõige enam avaldas mõju taime kasvule Eestis kasvatatud lammaste villast valmistatud villapelletid nr 1. Kasv 21 päeva möödudes oli 3,6 cm. Edasi avaldas väetis suuremat mõju taime kasvule NPK mitteorgaaniline väetis Biopon kasvuga 2,9 cm. Järgmiseks oli kasvuga 2,5 cm taim, millele väetist ei olnud pandud. Neljandal kohal olid Wild Valley Farmi villapelletid kasvuga 1,7 cm ning viimasele kohale jäi Eestis kasvatatud lammaste vill nr 2.

Tulemustest võib järeldada, et villapelletite mõju taimele sõltub paljudest teguritest, millest üks on väetise lisamine mullale. On võimalik, et antud taim, mille kasv kõige väiksemaks jäi, sai kõige rohkem päikesekiirgust, kuna taimede asukohti ei katse käigus ei vahetatud. Antud katsetulemused oleksid olnud kindlasti tõesemad, kui oleks igat väetist katsetatud vähemalt 3 taime peal.

Sellest katsest saab siiski välja lugeda lisaks loorberipuu kasvu mõõtmisele ka selle, millised põllukultuurid hakkasid antud mullas veel kasvama. Jõudsalt kasvasid kuu ajaga punane harilik jänesekapsas ehk *Oxalis acetosella*, mille põhiline levikuala on Euroopas ning Aasias ning ristirohi *Senecio L*, millel on üle 200 erineva liigi ning nendel ei ole kindlat levikuala olles levinud väga paljudes riikides. Üldiselt võib kõikide Rakveres ning Sõmeru vallas kasvavate põllukultuuridega arvestada seetõttu, et lamba villaku külge võivad kõik taimed jääda ja seeläbi hiljem todet

välismaale müües, tuleb sellega arvestada, et taimede levikuala seetõttu ei suureneks ja kohalikku loodustikku kuidagi mõjutama ei hakkaks.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös käsitleti põllumajanduses kasutatavate villapelletite tootmise tehnoloogia väljatöötamist ning erinevate villapelletite omaduste uurimist eesmärgiga kasutada neid põllumajanduses väetisena.

Eesmärgi saavutamiseks leiti vastused järgnevatele küsimustele: (i) millised analoogilised tooted on hetkel välja töötatud; (ii) milliste omadustega on olemasolevad sarnased tooted; (iii) töötati välja villapelletite tootmise tehnoloogia; (iv) anti hinnang toote sobivusele Eestis kehtestatud määrusele; (v) uuriti mullale lisatud villapelletite mõju taimedele lühiajaliselt.

Analoogiliseks tooteks, mis võeti välja töötamisel aluseks, oli Wild Valley Farmis toodetud villapelletid. Villapelletitele tehti leostuskatse, mille tulemused on järgnevalt toodud. Fosforit sisaldub antud tootes 2500 mg/l, kaaliumi 13833 mg/l ning kloriidi vähem kui 100 mg/l. pH-tase on 7,34 ning elektrijuhtivus $7,813 \text{ e}^{-1} \cdot \text{ohm} \cdot \text{cm}$. Lisaks uuriti villapelletite kiude mikroskoobi all, viimaste keskmiseks läbimõõduks saadi 35,97 μm ning pikkuseks 4,22 mm.

Järgmiseks sammuks sai Eestis kasvatatud lammaste villa purustamine, et saada sama pikkusega villakiud nagu alternatiivsel Wild Valley Farm tootel. Villakiudude purustamine esimesel katsel ei õnnestunud, saades keskmiseks villakiu pikkuseks ligi 9 korda väiksema tulemuse kui soovitud. Teisel katsel plastmaterjalide peenestusseadmega saadi ligi 1 kord suurem keskmise pikkusega villakiud. Purustamise teise katse tulemusena saadi rahuldav tulemus võrreldes alternatiivse toote villakiudude keskmise pikkusega.

Seejärel tuli leida moodus purustatud vill pelletiks pressida ning teha leostuskatse, et võrrelda tulemusi aluseks võetud alternatiivse toote leostuskatsete tulemustega. Villa pelletiks pressimine õnnestus hüdraulilise Perkin-Elmeri manuaalpressiga, kus 0,3 g villa pelletiks pressimine toimus keskmiselt kuni 5 atm rõhu all. Leostuskatsetest võib järeldada, et fosforit on Eesti villakiududes ligi kaks korda rohkem, kaaliumi ligikaudu võrdsetes kogustes ning kloriidi kuni kaks korda rohkem. Saadud pH-tase ning elektrijuhtivus on Wild Valley Farm pelletitel väiksemad vastavalt 0,25 ühiku ning $0,83 \text{ e}^{-1} \cdot \text{ohm} \cdot \text{cm}$ võrra.

Lõputöös püstitatud ülesanded said täidetud, kuid tööd saab suuremas mahus jätkata. Antud teema raames oleks veel oluline lahendada palju väljakutseid. Näiteks kuidas antud toodet suuremas mahus oleks võimalik toota ning põllule kanda, kui suur oleks turg Eestis ning väljaspool

Eestit arvestades asjaolu, et villas sisalduvate põllukultuuride seemned oma levialast selle tõttu edasi välja ei läheks.

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to develop a method to manufacture and to examine the characteristics of wool pellets used in agriculture.

To attain a goal it was important to follow these next steps: what analogical products are already worked out, what are the characteristics of the products that are already on the market, to find a method for making wool pellets, to give an evaluation to the product's suitability according to Estonian regulations, to examine the result of wool pellet's influence on plants on a short time period.

For a similar product it was chosen a Wild Valley Farm wool pellets. Leaching tests were made for similar wool pellets, which results are brought up next. Phosphorus's content in the similar product is 2500 mg/l, potassium's content is 13833 mg/l and chloride is less than 100 mg/l. Ph-level is 7,34 and conductivity is $7,813 \text{ e}^{-1} \cdot \text{ohm} \cdot \text{cm}$. In addition, Wild Valley Farm's wool fibres were examined under two microscopes and the results for average fibre diameter is 35,97 μm and length is 4,22mm.

For the next step it was important to develop a method to fracture the Estonian sheep wool fibres into similar length as Wild Valley Farm's wool fibres. In the first attempt to fracture the Estonian sheep wool fibres, the result was too dissimilar to the Wild Valley Farm's wool fibre length. The result differentiated about 9 times, because of too short fibres. In the second attempt to fracture the Estonian sheep wool fibres with the plastic cutting machine, the result was acceptable and similar to the alternative product's fibre length.

For the third step was to find a method to press wool into pellets and to make leaching tests. For the comparison the leaching tests were also made for the alternative Wild Valley Farm's pellets. To press the wool into pellets, a hydraulic Perkin-Elmer manual press was used. A 0,3 g portion was measured to press into a pellet under 5 atmospheric pressure. It can be concluded from the leaching tests that there is almost twice as much phosphorus and chloride in Estonian wool pellets compared to Wild Valley Farm's wool pellets and almost equal amount of potassium. Ph-level and conductivity are a little bit smaller in Wild Valley Farm's pellets.

The results of present thesis's product development meets the aims and purposes that were stated in the beginning, although there are possibilities for further development.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] K. Kabun, „Lambavill: struktuur ja omadused,“ *Traditsiooniline lambakasvatus Eesti ja Soome rannikualadel ning saartel*, Tallinn, AS Rebellis, 2013, pp. 52-59.
- [2] K. Goodling, „Ask the Shepherd: The Proper Wy to Skirt a Fleece,“ *Living with Gotlands*, Vermont, 2017.
- [3] T. Altmäe, „Vilditud materjali omadused ja kvaliteedi testimine,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2014.
- [4] A. Viikna, „Tekstiilikeemia I,“ *Ettevalmistusprotsessid*, Tallinn, TTÜ kirjastus, 2004, p. 87.
- [5] I. Boncamper, *Tekstiilkiud: käsiraamat*, Tallinn: Eesti Rõiva- ja Tekstiililiit, 2000, p. 323.
- [6] S. McNeil, „The thermal properties of wool carpets,“ *agresearch*, Christchurch, 2016.
- [7] R. Laing ja P. Swan, *Wool in human health and well being*, Beriin: Springer, 2016.
- [8] C. Helepciuc, „Sheep wool - a natural material used in civil engineering,“ *Gheorghe Asachi Technical University of Iasi*, Iasi, 2017.
- [9] A. Voncina ja R. Mihelic, „Sheep wool and leather waste as fertilizers in organic production of asparagus,“ *Acta Agriculturae Slovenica*, Ljubljana, 2013.
- [10] J. E. W. P. I. S. M. I. M. N.A.G, „Wool as a technical Fibre,“ *Journal of the Textile Institute NZ*, 2003.
- [11] E. Hoover, „Bio-based weed control in strawberries using sheep wool mulch, canola mulch and canola green manure,“ *Greenbook*, olwell, 2001.
- [12] Geofabrics, „Biomac woolmulch/grasstrike biodegradable wool matting,“ Geofabrics, Auckland, 2015.
- [13] C. Cloninger, „Reasons you should be using wool pellets in your garden,“ Wild Valley Farms, 21 03 2017. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.wildvalleyfarms.com/healthy-gardening-blog/6-reasons-you-should-be-using-wool-pellets-in-your-garden-soil>.
- [14] K. Uurman, „Taimede toitumise teooriad,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://ak.rapina.ee/katrinu/Vaetamine.pdf>. [Kasutatud 02 06 2018].
- [15] A.-A. Pärna, „Kloriidide kasutamine teehoodel-keskkonnamõju,“ Eesti Maaülikool, Tartu, 2017.

- [16] Põllumajandusministri määrus, „Nõuded väetise koostisele,“ Põllumajandusministeerium, Tallinn, 2014.
- [17] A. Wilde, Interviewee, *Sheep wool pellet fertilizer*. [Intervjuu]. 10 07 2017.
- [18] B. Rowe, T. Fernandez ja B. Cregg, „ResearchGate,“ January 2004. [Võrgumaterjal]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/228791466_EFFECT_OF_WOOL_PELLET_MULCH_ON_PROPAGATION_CROP_GROWTH_AND_WEED_CONTROL_IN_LINERS.
- [19] K. Jaama, Lambakasvatuse käsiraamat, Tallinn: Valgus, 1984.
- [20] P. Günnur2015, „The surface analysis of fleece by SEM and their elemental characteristics ofmenemen sheep breed,“ Egyptian Journal of Sheep & Goat sciences, Tekirdag.
- [21] P. T, „Plastmaterjalide peenestusseade,“ Toivo Papper, Tallinn, Tallinn.
- [22] M. Paalvelt, „Ilus ja kasulik loorberipuu,“ Maakodu, Tallinn, 2014.
- [23] E. Tepe, E. Hoover ja S. Poppe, „The wool mulch system of producing strawberries,“ Regents of the University of Minnesota, Minnesota, 2008.
- [24] A. Wilde, „Wild Valley Farms,“ Wild Valley Farms , 05 26 2018. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.wildvalleyfarms.com/wool-pellets.html>.
- [25] R. Buck, S. Rondinini, A. Covington, F. Baucke, C. Brett ja M. Camoes, „Measurement of pH definition, standards and procedures,“ International Union of Pure and Applied Chemistry, Zürich, 2002.
- [26] Lovibond, „Spectrophotometer manual,“ Lovibond, Dortmund, 2001.