



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

SOOJUSTEHNICA INSTITUUT

Soojusjõuseadmete õppetool

MSJ40LT

*Tõnis Kaaver*

**Soojusenergia tootmise võimalused teravilja ja  
õlikultuuride sorteerimisjäätmest**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb  
tehnikateaduste bakalaureuse  
akadeemilist kraadi

Tallinn  
2015

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....” .....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....201... a.

..... allkiri

## Bakalaureusetööülesanne

2015 aasta VI semester

Üliõpilane: Tõnis Kaaver

Õppekava: MASB

Eriala: Soojusenergeetika

Juhendaja: Vanemteadur, Alar Konist, PhD

Konsultandid:

### BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

Soojusenergia tootmise võimalused teravilja ja õlikultuuride sorteerimisjäätmetest

Cereal and oil culture screening residues as a source of heat

**Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Lõputöö teemaga seotud kirjandusega tutvumine	15.03.2015
2.	Lõputöö jaoks vajaliku materjali hankimine	15.04.2015
3.	Töö ülesehituse vormistamine	18.05.2015
4.	Esialgse variandi esitamine	25.05.2015
5.	Lõpliku töö esitamine	03.06.2015

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Sorteerijäätmete kui kütuse võimalike allikate kirjeldamine, teravilja- ja õlikultuuride kuivatamise lahenduste tutvustamine, talu näitel jäätmete koguse hindamine ning võimalik majanduslik põhjendatus nende kasutamisel soojusenergia tootmisel.

**Täiendavad märkused ja nõuded:**.....

**Töö keel:** Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt .....

**Töö esitamise tähtaeg** .....

**Üliõpilane** ..... /allkiri/ ..... kuupäev.....

**Juhendaja** ..... /allkiri/ ..... kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

## Sisukord

Bakalaureusetööülesanne .....	3
Eessõna .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 EESTIS KASVATATAVAD TERAVILJA- JA ÕLIKULTUURID .....	9
1.1 Eestis kasvatatud põllukultuurid 2014 aastal .....	10
1.1.1 Oder .....	10
1.1.2 Nisu .....	11
1.1.3 Kaer .....	11
1.1.4 Rukis .....	12
1.1.5 Triticale .....	12
1.1.6 Raps .....	12
2 Põllukultuuride kuivatamise vajadusest .....	13
2.1 Jäätmete potentsiaalne kogus, kütteväärtus, nende kogumise tagamaad ja probleemid 14	
2.1.1 Jäätmete kogumise põhimõtted kombaini seisukohast .....	14
2.1.2 Jäätmete kogumine terasaagi sorteerimise käigus .....	16
3 Ülevaade erinevatest kuivati tüüpidest ja võimsustest .....	18
3.1 Teravilja kuivatamise meetodite klassifikatsioon .....	18
3.1.1 Konvektsioonmeetod .....	18
3.1.2 Kontaktmeetod .....	18
3.1.3 Radiatsioonmeetod .....	19
3.1.4 Kõrgsagedusväljas kuivatamine .....	19
3.1.5 Sorptsioonmeetodil kuivatamine .....	20
3.2 Kuivatite konstruktsioonid .....	20
3.2.1 Liikumatu viljakihiga kuivatid .....	20
3.2.2 Šahtkuivatid .....	21
3.2.3 Trummelkuivatid .....	21
3.2.4 Keevkiht- ja pneumokuivatid .....	22
3.2.5 Viljaringlusega kuivatid .....	23
3.3 Kaasajal kasutatavad kuivatite tüübid .....	24
3.3.1 Portsjonkuivati .....	24
3.3.2 Läbivoolu kuivati .....	24
3.4 Põhilised kütused, mida kuivatamiseks kasutatakse .....	24
3.4.1 Kütteõlid .....	25

3.4.2	Maagaas ja LPG.....	25
3.4.3	Biokütused .....	25
3.5	Teravilja kuivatusseadme valimise põhimõtted.....	26
4	Sõõrikoja talu näide .....	27
4.1	Ülevaade Sõõrikoja talu tootmisest .....	27
4.2	Sõõrikoja talu saagi kuivatamine .....	28
4.2.1	Katlas kasutatavad kütused .....	32
4.2.2	Kasutatavate kütuste kütteväärtuste ja maksumuse võrdlus .....	32
4.2.3	Soojusenergiakulu ühiku kuivaine kuivatamiseks .....	35
4.2.4	Kasutatav soojushulk ühe protsendi niiskuse eemaldamiseks .....	36
4.2.5	Tasuvusarvutus Sõõrikoja talu näitel .....	37
4.2.6	Võimalused tootmise arendamiseks.....	39
	KOKKUVÕTE .....	40
	SUMMARY .....	42
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	44

## Selede loetelu

Sele 1.1 Maakasutus Eestis [1] .....	9
Sele 1.2 Põllumajanduslike majapidamiste arv aastate lõikes [3] .....	9
Sele 1.3 Põllukultuuride kasvupind (1000 ha) [4] .....	10
Sele 2.1 Kombaini tööpõhimõtte skeem [8] .....	15
Sele 3.1 Kõrgsagedusvooludega kuivatamise seadme põhimõtte skeem. 1-lintransportöör, 2-soojenduskindsaator, 3-kõrgsagedusvoolu generaator, 4-alaldi [7] .....	20
Sele 3.2 Kuivatustrumlite ehituse erinevad skeemid [7] .....	22
Sele 3.3 Keevkihtkuivati põhimõtte skeem [7] .....	23
Sele 3.4 Pneumaatilise teraviljakuivati põhimõtte skeem [7] .....	23
Sele 4.1 Sõõrikoja talu külvipinna jaotus 2015 .....	27
Sele 4.2 Petkus WS25 tööpõhimõtte skeem [12] .....	29
Sele 4.3 Säättõuli kütuse pealeande mehhanism [14] .....	30
Sele 4.4 Tulimax katel ning selle gaasikäikude skeem [13] .....	30
Sele 4.5 Sõõrikoja talu kuivati kütusena kasutatud põlevkiviõli kogused aastate lõikes .....	31
Sele 4.6 Kasutatavate kütuste kütteväärtuste võrdlus .....	33
Sele 4.7 Kasutatavate kütuste maksumuse võrdlus .....	33

## Tabelite loetelu

Tabel 1 Kasutatavate kütuste võrdlus talu näitel .....	32
Tabel 2 Sorteerjätmete kaalumise tulemused .....	34
Tabel 3 Kütuste tihedused ja kütteväärtused .....	35
Tabel 4 Kulunud soojus ühiku kuiva materjali kohta .....	35
Tabel 5 Soojushulk protsendi niiskuse kohta .....	36
Tabel 6 Soojushulk tonni niiskus/vee kohta .....	37
Tabel 7 Tasuvusarvestus Sõõrikoja talu lahenduse puhul .....	38

## **Eessõna**

Antud bakalaureusetöö teema tulenes autori huvist analüüsida taimekasvatuses tekkivate sorteerjäätmete energeetilis-majanduslikku mõju soojuse tootmises. Töö on teostatud FIE Üllar Kaaver põllumajandusettevõtte kuivatamislahenduste analüüsi põhjal. Algandmete kogumisel olid abiks Üllar Kaaver, raamatupidaja Pille Kaaver ning agronoom Rait Hallimäe. Töö sisu ning teema kujunemisel oli abiks TTÜ Soojustehnika instituudi vanemteadur PhD Alar Konist.

## SISSEJUHATUS

Igas tootmisprotsessis on tähtis konkurents püsimeks hoida tootmiskulud võimalikult madalad sealjuures kvaliteedis kaotamata. Taimekasvatuse on põllumajanduse valdkond, mis vajab toimimiseks suurel hulgal energiat. Otseselt põllutöödega seotud energia tuleb mootorikütuste põletamisest, mis võib muutumatuna püsida veel mitmeid dekaade. Lisaks põllutöödele kuulub teravilja kasvatamise juurde ka nii seemne kui ka saagi töötlemine. Need on protsessid mille käigus kulub hulgaliselt soojust.

Põllusaaduste kuivatamine on peamiselt vaid hooajaline tegevus. Töös uuritakse, kas on mõistlik suurem alginvesteeringuga seadmele soojuse tootmine üle viia, kuigi konventsionaalsete meetodite kasutamine on paigaldushinna näol odavam.

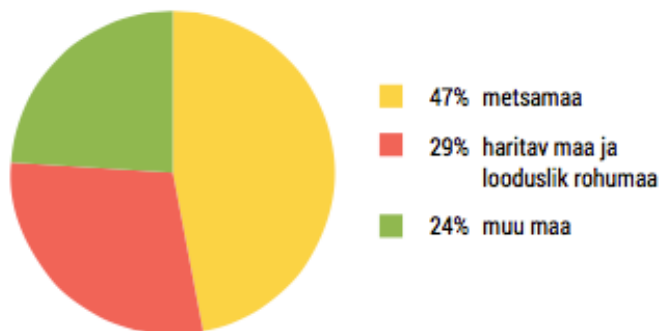
Kuna peamised kütused, mida soojuse tootmiseks kasutatakse pole jätkusuutlikud, on vajalik uute kütuste kasutuselevõtt. Antud töös kirjeldatakse soojusenergia tootmist teravilja ning õlikultuuride sorteerjätmetest ja sellega seotud probleeme.

Töö esimeses osas kirjeldatakse Eesti põllumajanduse hetkeseisu ja kasvatatavaid kultuure. Teises osas põhjendatakse kultuuride kuivatamise vajadust ning kirjeldatakse jätmete teket ning kogumist. Kolmandas osas seletatakse lahti kuivatamisviisid, kuivatusseadmete põhilised konstruktsioonid, kuivatamisel kasutatavad kütused ning kuivati valimise põhimõtted. Viimases osas tuuakse näide FIE Üllar Kaaver Sõõrikoja talu tootmisest ning soojuse tootmise viisidest.



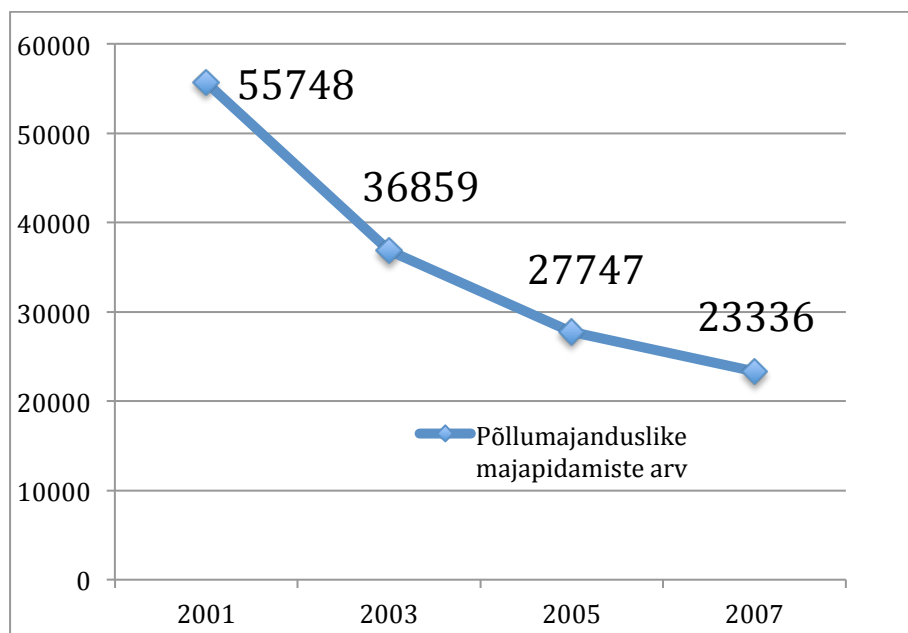
# 1 EESTIS KASVATATAVAD TERAVILJA- JA ÕLIKULTUURID

Võib öelda, et poolt Eestit katab mets, ülejäänud poolest moodustab suure osa aga haritav maa ja looduslik rohumaa. St kogu Eesti pindalast 29% on põllumajanduslik ala (Sele 1.1) [1].



Sele 1.1 Maakasutus Eestis [1]

Haritav maa tähendab maa intensiivset kasutamist põllumajanduslikul viisil: põllumaa, istandikud, söödaheinamaad [2]. Aastate jooksul on põllumajandus järjest populaarsust kaotanud ja ilmselt toimub sama protsess ka tulevikus. Sele 1.2 iseloomustab põllumajanduslike majapidamiste kadumist ühel või teisel põhjusel.

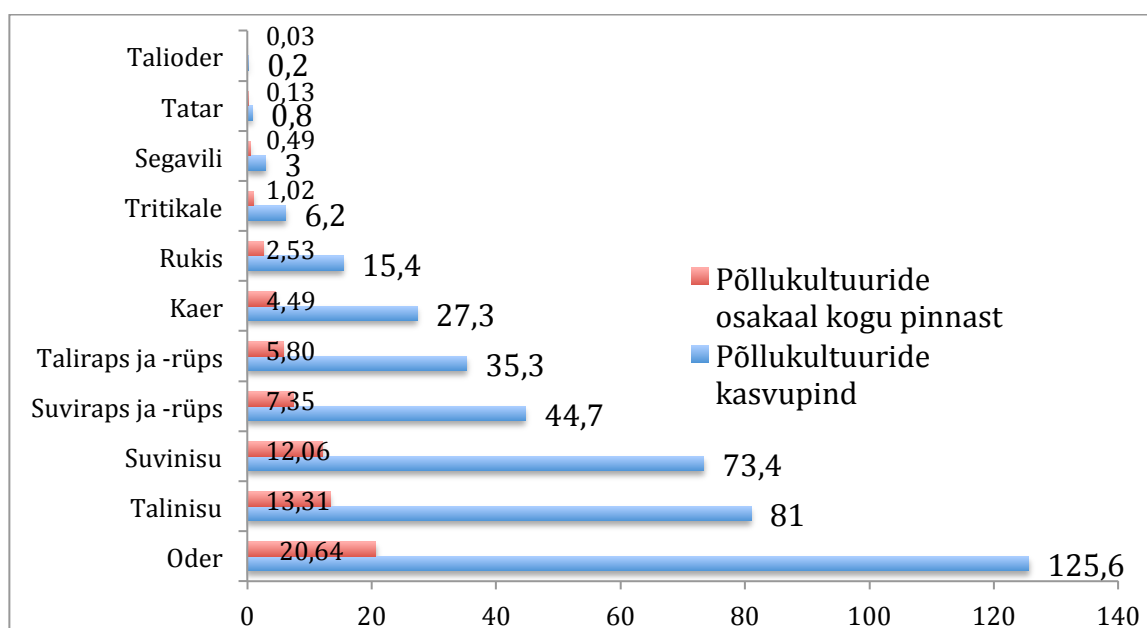


Sele 1.2 Põllumajanduslike majapidamiste arv aastate lõikes [3]

Üheks võimalikuks põhjuseks on kindlasti väikemajapidamiste järjest keerulisem olukord kõrge omahinnaga turul püsima jääda. Teisalt võib tuua paralleele linnastumisega, mis järjest rohkem hoogustub. Siiski on selgelt näha, et põllumajanduslike majapidamiste arv hakkab stabiliseeruma ning põhiline langus on juba toimunud. Eraldi küsimus on, et millises teises sektoris kaob kuue aastaga üle 50% tegijatest.

## 1.1 Eestis kasvatatud põllukultuurid 2014 aastal

Aastal 2014 kasvatati Eestis põllukultuure 608,4 tuhandel hektaril. Peamisteks kasvatatavateks kultuurideks on nisu, rukis, oder, tritikale, kaer, hernes, raps ning rüps (Sele 1.3) [4].



Sele 1.3 Põllukultuuride kasvupind (1000 ha) [4]

Selgelt suurima osakaaluga on oder, mis moodustab kogu põllumajanduses kasutatavast pinnast 20,64%. Järgnevad talinisu ja suvinisu (vastavalt 13,31% ja 12,06%) ning siis juba õlitaimed raps ja rüps. Kaer, rukis, tritikale on juba tunduvalt väiksema kasutusega ning täiesti lõpus valitsevad tatar ja talioder [4]. Tatra kasvatamine Eestis on alles hiljuti hoogu saanud ning selle kasvatamine kindlasti suureneb.

### 1.1.1 Oder

Otra võib lugeda üheks vanemaks kultuurtaimeks. Lähis-Idas on seda kasvatatud juba 9000 aastat tagasi ja Eestis esimest korda umbes 4000 aasta eest. Kasvatatakse peamiselt kaht liiki otra - kaherealine ja kuuerealine. Otra iseloomustab sõkaltera - sõklad jäävad ka peale

valmimist tera külge. Samuti on ühena lühematest odra vars, mille pikkus küündib kuni 80 sentimeetrini. Võrreldes teiste teraviljadega on oder paremini kohanenud erinevate ilmastiku- ja mullastikutingimustega. Siiski iseloomustab otra külmakartlikkus. Odratera idanemine võib alata juba temperatuurivahemikus +1...+3 °C, kuid öökülmad võivad odraorse ära külmetada ning taime hävitada. Paremini talub oder teistest teraviljadest kõrgeid välistemperatuure, kuid parimad kasvutingimused on võrdlemisi jahe temperatuur (üle +10 °C) ning niiske ilm. Odral esineb nii suvi- kui ka talivorm, kuid talioder pole tänu suurele külmatundlikkusele Eestis laialdast kasutamist leidnud.

Oder leiab põhilist kasutust loomasöödana, mille käigus odraterad jahuks jahvatatakse. Inimtoiduna kasutatakse otra samuti jahu ning tangude valmistamiseks ja erinevate sortide kasvatamisel tehakse odrast ka õlut [5].

### **1.1.2 Nisu**

Esimesed teadaolevad nisukasvatamised pärinevad samast ajajärgust, mis odralgi. Eestis alustati nisu kasvatamist üle 3000 aasta tagasi. Nisutaimi võib jagada kaheks: pehme - ja kõvateralised. Eestis kasvatatakse peamiselt pehmeteralisi, kuna kõvateralised vajavad kasvamiseks kuivemat ning mandrilisemat kliimat. Võrreldes talirukkiga on talinisu kasvutingimuste osas nõudlikum. Külma taluvad talinisu taimed -20...-25 °C. Nisu saagi suuruse määrab põhiliselt niiskuse kättesaadavus kogu kasvuperioodi vältel, kuna taim on sellele väga tundlik. Eestis kasvatatavaid talinisu sorte on 17 ning suvinisu omi 19. Nisu kõrre pikkus jääb vahemikku 60...80 sentimeetrit, kuid erinevate viljelusviisidega on võimalik saada ka pikemaid taimi [5].

### **1.1.3 Kaer**

Kaera kasvatamine algas Eestis I aastatuhande teisel poolel. Kaer võib olla nii väärtuslik toidutaim (harilik kaer) kui ka umbrohi (tuulekaer). Sarnaselt odraga on enamik kaerasorte sõkalteralised, kuid leidub ka paljasteralisi liike. Eestis kasvatatavad kaerasordid on peamiselt sõkalteralised tulenevalt suuremast külmakindlusest. Kaera kõrre pikkus jääb vahemikku 60...120 sentimeetrit. Kaera kasvatamine viljavahelduse põhimõttel aitab vähendada ka taimahaigusi, kuna kaer on fütosanitaarne kultuur. Kaera terad hakkavad idanema juba temperatuuril +1...+2 °C. Mõõdukad miinustemperatuurid kaera kasvu ei mõjuta, mis teeb ta öökülmade vastu vähetundlikuks. Küll aga ei sobi kaerale kõrged kasvutemperatuurid ning parima terasaagi annab vahemikus +15...+20 °C. Eesti kliimasse sobilikke kaerasorte on 13. Peamised kasutusalaad kaera puhul on juba traditsiooniliselt hobuse sööt - maitsev, kergesti

seeditav ja kõrge toiteväärtusega. Hiljuti on kaer ka toiduviljana populaarsust kogunud - kaerahelbed, kaerajahu. Kaera iseloomustab proteiini ja rasva kõrge kvaliteet ning lahustuvate kiudainete sisaldus. Kaera teradel on kõrge söklasus (25%), mis eeldab tugevamat viljapeksu ning kõrgemat jäätmesisaldust saagis [5].

#### **1.1.4 Rukis**

Eestisse jõudis rukis juba IV...V sajandil. Rukkil on nii tali- kui ka suvivormid. Võrreldes teiste kultuuridega eristab rukist tema erakordselt kõrge kõrs (90...200 cm). Rukis on paljasteraline taim - tema sõklad eralduvad tera valmimisel. Külmakindluselt on rukis kõige silmapaistvam teravili. Parimad sordid taluvad külmasid vahemikus -25...-35 °C. Tänu ulatuslikule juurestikule on rukkil võimalik niiskust ja toitaineid saada ka sügavamatest mullakihtidest, mistõttu pole ta nii põuatundlik. Samas ei sobi rukkile liigniisked pinnad ning kõrge põhjaveetasemega põllud. Tänu kiirele kasvule pole rukkile umbrohi probleemiks - ta kasvab sellest kiiremini, mistõttu kasutatakse teda ka mahepõllumajanduses. Rukist kasutatakse peamiselt leivavalmistamisel, kuid sobib ka õlle, viina ning viski tootmiseks. Eestis kasvatatavaid sorte on 8 [5].

#### **1.1.5 Triticale**

Triticale on hübriid, mis on saadud nisu (emastaim) ja rukki (isastaim) ristamisel. Hübriid loodi, et saada suurt saaki nagu nisul rukki vastupidavusega ilmastikutingimustele. Triticalel on enamlevinud talivormid. Talvekindlus on jääb tritikalel nii rukkile kui ka nisule alla. Kasutuse poolest leiab tritikalet peamiselt söödaviljana. Siiski on teda ka toidutööstuses võimalik kasutada. Proteiini poolest sarnaneb tritikale väga rukkile. Jahu omadustelt sobib tritikale jahu kasutada koos nisujahuga (kuni 40%). Proteiin sisaldab tritikalel rohkem asendamatuid aminohappeid kui nisul. Valmistada on temast võimalik nuudleid, küpsetisi, putrusid. Eestis kasvatatavaid tritikale sorte on 5 [5].

#### **1.1.6 Raps**

(*Brassica napus* L. var. *oleifera*) e õliallikas kuulub kapasrohu perekonda. Rapsi peetakse rüpsi ja lehtkapsa ristsugutiseks. Esialgu toodeti rapsiõli peamiselt lubrikandiks aurumootoritele. Tänapäeval kasutatakse aga rapsiõli nii loomasöödana, toiduvalmistamiseks kui ka mineraalõlina mõnedes tehnikarakendustes. Rapsiõlist on võimalik toota ka biodiislit, mida fossiilkütustega segades on võimalik mootorikütusena kasutada. Suurimad rapsikasvatajad maailmas on Kanada ja Hiina, aga ka Eestis moodustab rapsi kasvupind suure

osa kogu põllumajanduseks kasutatavast maast. Rapsi on nii tali- kui ka suvisorte, kuid Eestis on veel ülekaalus suvirapsi kasvatamine. Talisortide viljelemine on üldiselt väiksemate kulutustega ning valminud taimed pikema varrega, mis hõlbustab koristamist. Peamiseks kõrvalproduktiks on koristamise käigus lagunevad rapsikaunad. Tänu kaunadesse jäävatele üksikutele teradele on nende kütteväärtus kõrgem kui teistel põllujäätmetel [5].

## 2 Põllukultuuride kuivatamise vajadusest

Põllukultuuride suurtootmine eeldab ettevõtjalt väga suurt paindlikkust. See tähendab, et oleks võimalik tuhanded tonnid vilja võimalikult kiiresti põllult kätte saada, see kuivatada, puhastada ning siis ladustada konditsioonis, mis võimaldaks seda hiljem müüa. Ladustamine tähendab, et teramassi niiskus peaks olema alla 14%, et seeme ei hakkaks hallitama, kasvama ega mädanema [6]. Õlikultuuride puhul loetakse seda piiri aga lausa 9%-ks [5]. Põllult tuleva massi niiskus on otseses seoses konkreetse ajahetke ilmastikuoludega ning seetõttu täiesti ennustamatu näitaja. Enamasti jääb see siiski vahemikku 15-25%. Märk mass sorteeritakse ning kuivatatakse võttes arvesse terade omaduste säilimist [7]. Õlikultuuride puhul on vajalik ka järelsorteerimine, mis puhastab materjali veelkord kõrvalproduktidest ja seejärel on seeme valmis säilitamiseks.

Tera koosneb kuivainest ja veest. Kuivaine koosneb peamiselt lämmastikuta ekstraktiivainetest (suhkur ja tärklis), valkudest, rasvadest ning mineraal- ja kiudainetest. Terade keemiline koostis oleneb suurel määral kasvutingimustest (mullastik, väetised, sademed) ning ka koristamise ajast. Tähtsaimaks osaks teras on valkained. Niiskes keskkonnas need seovad endaga vett ja paisuvad. Seemne madalatemperatuurilisel kuivatamisel vabaneb see niiskusest ja omandab endise kuju ning omadused. Kuivatamine kõrgel temperatuuril muudab seemne idanemiskõlbmatuks, kuna valgud kalgenduvad.

Tera võib vaadelda kui kolloidset kapillaarpoorset keha, milles on palju mikropoore ning mikro- ja makrokapillaare. Kapillaarides leiduv vesi tungib kuivatamisel tera sisemusest välispinnale ning edasi kandub see kuivatusõhu sisse. Veesisaldus on otseselt seotud terade elutegevusega. Mida suurem on nende niiskus, seda intensiivsem nende aktiivsus ja hingamine ning seda suuremad on säilituskaod. Kõrge niiskusega puistemass võib isegi isekuumenemise tõttu rikneda [7].

Kuivatamise eesmärgiks on luua tingimused, mille juures terade elutegevus ja säilituskaod on viidud miinimumini. Selle juures peavad säilima ka tera kvaliteedinäitajad [7]:

- Seemneviljal - idanevus ja idanemisenergia

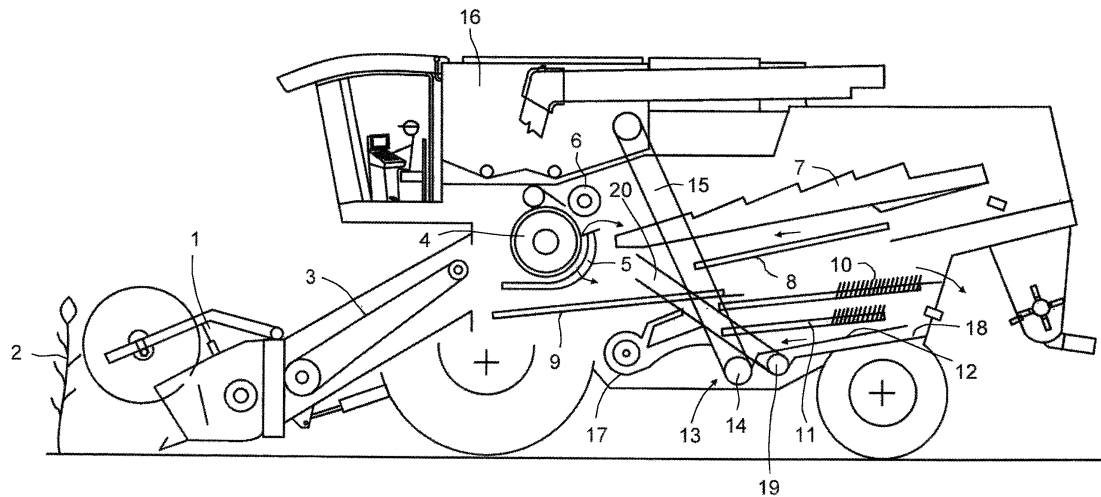
- Toiduviljal - maitse- ja küpsetusomadused
- Söödaviiljal - toiteväärtus

## **2.1 Jäätmete potentsiaalne kogus, kütteväärtus, nende kogumise tagamaad ja probleemid**

Põllusaaduste koristamisel saadakse peale saagi ka muidprodukte. Nende kogus, tüüp ja osakaal oleneb viljeluse tüübist, ilmastikust ning ka koristamisprotsesside täiuslikkusest. Teraviljade puhul iseloomustab toodetavat produkti üheseemneline vili ehk teris, mida praktikas nimetatakse teraks. See koosneb kestadest, toitekoest (endosperm) ja idust. Tera välimise kahekihilise viljakesta all asub kahest kihist koosnev seemnekest. Erinevalt teistest, on odra- ja kaeraterad kaetud veel lisaks sõkaldega, mis näiteks nisu puhul eralduvad viljapeksu käigus. Nisutera koostisosade vahekord on ligikaudu 90% alaeuroonkiht ja endosperm, 7,5% kestad ning 2,5% idu [7]. Teravilja puhul on kokkuostudes jäätmete määratud piir, mis võib olla kuni 3% kogu materjalist. Tihti juhtub aga, et juba põllult toodud mass vastab sellele kriteeriumile. Seetõttu võib järeldada, et teravilja kultuurid pole eriti jäätmerikkad.

### **2.1.1 Jäätmete kogumise põhimõtted kombaini seisukohast**

Esialgne jäätmete kogumine toimub teravilja koristamise käigus põllul. Seletamaks kuidas sõltub jäätmete kogus kombaini seadistusest on vajalik mõista süsteemi tööpõhimõtteid. Seel 2.1 on valitud tüüpiline trummelkombaini skeem, mis on ka Eestis enim kasutatud kombainitüüp.



Sele 2.1 Kombaini tööpõhimõtte skeem [8]

Protsess algab taime (2) lõikamisega heedri (1) abil. Heedri küljes asub lattvikat, mis taime reguleeritud kõrguselt maha lõikab, haspel mis lõigatud taime teoni suunab ning kaksiktigu, mis suunab lõigatud massi kallakelevaatorini (3). Kallakelevaator kujutab endast kraapkonveierit, mis viljamassi viljapeksuni juhib. Tavaliselt eraldatakse enne peksu massist ka kivid, mis kukuvad nn. "kivikotti". Viljapeks toimub trumli (4) abil, mille siinide abil terad viljapeast eemaldatakse. Trumli efektiivsust reguleeritakse selle kiiruse muutmisega variaatorülekande abil või peksukorvi (5) liigutamiseга trumli suhtes, mis reguleerib kliirensit trumli ning korvi pindade vahel. Sõltuvalt koristatavast kultuurist jäävad trumli kiirused vahemikku 400 (rapsi puhul) kuni 800 (teravilja puhul). Vahemik peksukorvi ning trumli vahel on alates 10 mm (teravilja puhul) ning kuni 20 mm (rapsi puhul). Trumli õige reguleerimise indikaatoriks võib lugeda terade efektiivse eraldumise peadest ning purustatud terade puudumise koristatud massis. Trumlist edasi toimub jagunemine peeneks massiks ning põhuks. Põhk suunatakse põhubiitri (6) abil põhupuisturitesse (7), mis juhivad massi purustisse kombaini tagumises otsas. Liikumise käigus sõelutakse massist veel peenikesed osad välja, mis langevad kombaini sarjadele (9). Võimalik on põhumass ka purustamata põllule vaalu suunata. Peen mass trumlis langeb samuti läbi peksukorvi sarjadele (9). Sarjad kannavad peene massi ülemistele sõeltele (10). Ülemistel sõeltel toimub põhiline sorteerimine. Tuuliku (17) abil puhutakse aganad üle sõelte maha ning need langevad põllule või mõnede kombainide puhul puhutakse aganapuhurite abil purustisse. Terad, mis läbivad ülemise sõela, langevad alumisele sõeltele (11), kus toimub sorteerimine põhimõttel, kas mass vajab järelpeksmist või võib selle otse punkrisse suunata. Sõela läbinud terad suunatakse mööda kaldpinda (12) teraelevaatorisse (15), millesse suunab tigu (14). Mass, mis

sõela ei läbinud liigub mööda kaldpinda (18) järelpeksu teoni (19), mis viimastest peadest terad väljutab. Töödeldud mass liigub tigudega (20) uuesti sarjadele, mis need uuesti sõelumisele juhib. Punkrisse (16) jõudev saak võib olla väga madala prahisisaldusega ja ka väga kõrge prahisisaldusega. Peamine reguleerimise võimalus on sõelte nurkade muutmine. Reguleerides ülemist sõela (10) rohkem kinni, liigub järjest enam massi kombainist välja ning teatud piirist läheb ka saaki kaduma. Reguleerides ülemist sõela avatumaks, kukub järjest rohkem materjali läbi sõela, mille hulgas leidub ka jäätmeid. Alumise sõela kinnisemaks reguleerides on võimalik järjest enam massi juhtida uuesti ringlusesse, mis aga võib kombaini ummistada. Alumist sõela (11) avades liigub järjest rohkem materjali punkrisse, kuid võib sisaldada ka läbipeksmata viljapäid ning jäätmeid.

Üldiselt võib väita, et mida avatumad on kombaini sõelad, seda tootlikum on koristamine (kombainil on võimalik kiiremini liikuda ning ka rohkem saaki liigub punkrisse). Suletumate sõelte puhul peab kombain aga liikuma aeglasemalt, et sõeluda kogu materjal läbi ning punkrisse tulevast materjalist moodustab suurema osa puhas tera ning jääkprodukte on vähem.

Ajaliselt peab teravilja koristamine toimuma võimalikult kiiresti (3...6 nädala jooksul). Seetõttu on oluline, et kombaini efektiivsus oleks viidud võimalikult suureks. Tagamaks suurimat jõudlust reguleeritakse kombaini läbilaskvus niivõrd suureks, et punkrisse tulevas massis puuduksid küll viljapead, aga ei pöörata nii suurt tähelepanu jäätmetele, mis kõrvalproduktina kaasa liiguvad. Seetõttu oleneb jäätmete osakaal saagis peamiselt nende füüsikalistest näitajatest. Need peavad olema piisavalt väikse geomeetriaga, et mahtuda läbi sõelte ja samas piisava massiga, et mitte tuulega sõeltelt eralduda. Vajadusel on võimalik protsessi seadistada ka suunitlusega võimalikult palju jäätmeid koguda. Enamasti on aga tekkivate jäätmetega tegelemine lisakulutuseks kui tuluallikaks.

### **2.1.2 Jäätmete kogumine terasaagi sorteerimise käigus**

Kombainidega koristatud massis leidub alati 1...5% lisandeid - umbrohuseemneid, aganaid jms [6]. Vähendamaks kuivatamisaega ning ka soojuse kulu toodangule eraldatakse niiskest massist esmalt sorteerimise käigus lisandid, mille käigus väheneb kuivatatava materjali maht ning mass. Lisandite eemaldamisel muutub mass ka ühtlasemaks, mis muudab kuivatatusõhule materjali läbitavamaks.

Sorteerimine ja puhastamine toimub spetsiaalsete viljapuhastusmasinatega, mis mitmesuguste separeerivate organitega jaotavad teraviljakoguse osakeste füüsikalise-mehaaniliste omaduste järgi. Peamised neist on osakeste suurus, aerodünaamilised omadused, pealispinna omadused,



kuju, erikaal, elastsus, mehaaniline tugevus, värvus, elektrofüüsilised omadused jt [7]. Põhiline eraldamine toimub sõelpindadel, mis separeerivad erinevad fraktsioonid üksteisest ning jäätmed juhitakse toodetavast materjalist eemale. Osakesed, mis ei eraldu oma väikse massi tõttu, eraldatakse õhuvoolustega ventilaatori ning tsükloni koostöös.

### **3 Ülevaade erinevatest kuivatati tüüpidest ja võimsustest**

#### **3.1 Teravilja kuivatamise meetodite klassifikatsioon**

Kuivatamisel on võimalik teraviljale soojust üle kanda [7]:

- 1) konvektsioonmeetodil. Kuivatatavat teravilja soojendatakse vahetult liikuva kuivatusagensiga;
- 2) kontaktmeetodil. Teravili on otseses kokkupuutes mingi soojendatud pinnaga;
- 3) radiatsioonmeetodil. Soojuskandjaks on eriliselt soojendatud pindadelt kiirgavad soojuskiired, aga need pinnad teradega kokku ei puutu;
- 4) kõrgsagedusvooludega. Kuivatamine toimub kõrgsagedusväljas tekkiva soojuste toimele;
- 5) sorptsioonmeetodil. Niiskus kantakse üle teraviljaga segatud hügrokoopsetesse materjalidesse;

##### **3.1.1 Konvektsioonmeetod**

Antud meetod on teravilja kuivatamises enim kasutatust leidnud. Soojuse ülekandumisel teradele väheneb sooja õhu temperatuur järk-järgult, kuid tema relatiivne niiskus järjest tõuseb. Kuivatava õhu relatiivne niiskus peab jääma alla 100%, sest vastasel korral kondenseeruks niiskus veena teradele. Konvektsioonmeetodil töötavaid kuivateid on võimalik kasutada erinevatel viisidel:

- 1) suitsugaasi ja välisõhku segades
- 2) soojendatud välisõhku kasutades
- 3) soojendamata õhuga (s.o. aktiivse ventileerimisega)

Küttegaaside ja välisõhu segu võib olla küll parima kasuteguriga lahendus, ent tekib oht sädemete, kütuseaurude ning tahma talletumine viljakihis. Kuivatamiseks parim lahendus on soojendada välisõhku läbi soojusvaheti, mis võimaldab õhukulu ning viljakihi liikumiskiirust muutes lihtsalt protsesse kontrollida ega ohusta vilja kvaliteeti. Soojendamata õhu kasutamine on aktuaalne märja vilja säilitamisel enne kuivatamisprotsessi algust [7].

##### **3.1.2 Kontaktmeetod**

Sellisel viisil kuivatati teri pigem minevikus. Terad laotati ühtlase kihina soojale pinnale (nt ahjupõrand või -lagi). Kihti segati perioodiliselt, et kuivamine toimuks ühtlaselt. Selline kuivatusviis on madala tootlikkusega ning sobib väikeste koguste jaoks, aga mitte tööstuslikkus plaanis kasutamiseks. Miinuseks on ka oht tera kvaliteet rikkuda.

Sama meetodi alla kuuluvad ka nn. vaakumkuivatid. Neis kantakse soojus materjalile üle kuivatuskambris asuvate aurutorude abil. Veeaur, mis soojenemisel eraldub imetakse kambrist välja vaakumpumbaga. Mida madalam rõhk, seda madalam on vee keemistemperatuur ning seda kiirem on kuivamine. Selline kuivatusviis võimaldab niiskust eraldada ka väga madalatel temperatuuridel. Probleemiks sellise kuivatuslahenduse juures on suur elektrienergia kulu ning kambri hermeetilisuse nõue arvestades seda, et märga massi on vaja pidevalt juurde anda ning kuiva kambrist eemaldada [7].

### **3.1.3 Radiatsioonmeetod**

Meetodi võib jagada kaheks:

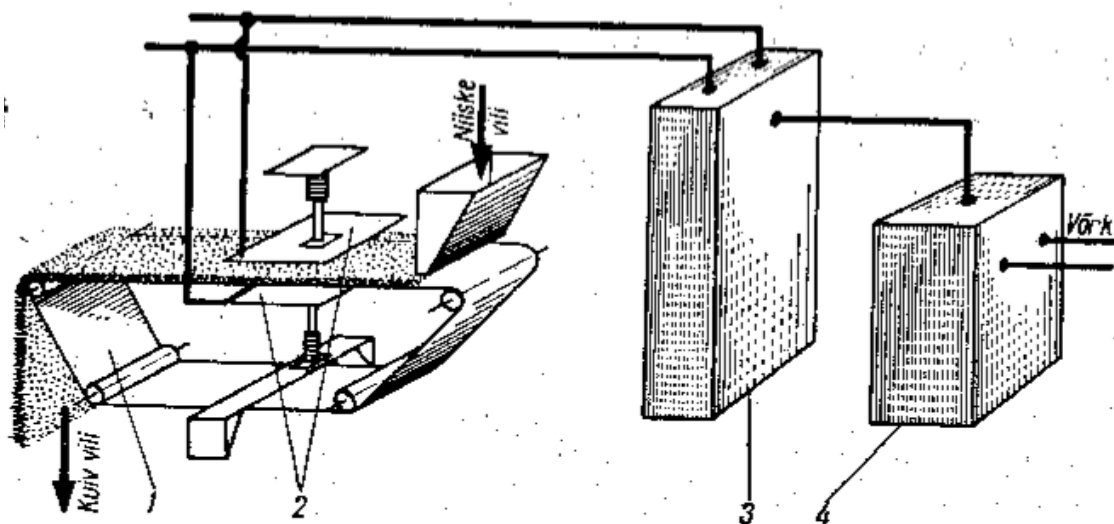
- Päikesekiirte abil kuivatamine
- Infrapunakiirtega kuivatamine

Päikesekiirte abil on võimalik materjali kuivatada piirkondades, kus paistab palju päikest. Terad laotatakse ühtlase kihina ladustamiseks sobivale platsile (nt asfalteeritud, betoneeritud). Päikese toimel kiht soojeneb ning kuivab. Ühtlase kuivamise saavutamiseks tuleb massi perioodiliselt segada. Soodsate tingimuste olemasolul on võimalik päevas materjali niiskust vähendada kolme kuni nelja protsendi võrra. Mida õhem on kiht ja mida tugevam on tuul, seda kiiremini kuivamisprotsess toimub.

Infrapunakiirte kasutamisel soojendatakse materjali spetsiaalsete kiirte generaatoritega. Viimased võivad olla nii spetsiaalsed elektrilambid kui ka keraamilised küttekehad. Kiirgav pind omab temperatuuri 700 kuni 900 °C. Et vältida pealmiste kihtide ülekuumenemist ning massi ühtlast soojenemist, on mõistlik kihti pidevalt segada. Kuivamise kiirendamiseks võib materjali ka ventileerida. Meetodi madala kasuteguri tõttu ning suure elektrienergia vajaduse tõttu pole selline kuivatusviis laialdast kasutamist leidnud [7].

### **3.1.4 Kõrgsagedusväljas kuivatamine**

Niiske teravilja soojendamine ja kuivamine toimub kondensaatori plaatide vahel tekitatavas kõrgsagedusväljas. Väljas viibides soojenevad seemned mõne sekundi jooksul ühtlaselt kogu tera ulatuses ning niiskus eraldub materjalist. Meetodi negatiivseks pooleks on väga suur elektrienergiakulu ning seetõttu pole see ka populaarsust omandanud [7]. Kõrgsagedusväljas kuivatamise seade on kujutatud seel 3.1.



Sele 3.1 Kõrgsagedusvooludega kuivatamise seadme põhimõtte skeem. 1-lintransportöör, 2-soojenduskindensaatõr, 3-kõrgsagedusvoolu generaator, 4-alaldi [7]

### 3.1.5 Sorptsioonmeetõdil kuivatamine

Kuivatatav mass segatakse sorbentidega võimalikult ühtlaselt. Viimasteks sobivad kuiv saepuru, seebikivi jäätmed, kaltsiumkloriid, naatriumsulfaat jt. Sorbent imab niiskust kuni on omandanud kuivatatava massiga võrdse niiskuse sisalduse. Sellest võib järeldada, et mida niiskem kuivatatav materjal, seda suurem on vajaliku hügrokoopse materjali kogus. Kuivatusviisi peamisteks puudusteks on sorbendi ja kuiva materjali hilisem eraldamine, kuivatatava materjali puhtuse tagamine ning pidevalt toimuva protsessi tagamine [7].

## 3.2 Kuivatite konstruktsioonid

### 3.2.1 Liikumatu viljakihiga kuivatid

Kuivatid on lihtsa põhimõttega milles viljakiht seisab paigal ning sellesse suunatakse kuivatav õhk, mille tulemusena kuivav kiht nihkub kuivatusõhu liikumise suunas. Sellised kuivatid võivad olla plekkkuivatid, kastkuivatid, riulkuivatid, Dineeseni kottkuivatid, õhujaotuskarpidega ventileeritavad salvkuivatid ja mitmed kuivatustornid. Esimene punkerkuivati rajati Eestis aastal 1961 Jõgeva Sordiaretusjaama nädissovhoosi.

Punkerkuivati kujutab endast kaht silindrit, millest üks on teise sees. Suurema diameetriga silindris asub kuivatatav materjal ning sisemises, väiksema diameetriga, silindris liigub kuivatav õhk. Silindrite vaheline ala ongi kuivatuskambriks. Mõlemad silindrid on avadega, et õhul oleks võimalik liikuda sisemusest radiaalsuunas välja.

Punkerkuivatite eelised [7]:

- Võrdlemisi suur tootlikkus
- Täielik mehhaniseeritavus
- Kuivatuskambri suur maht
- Lühike paigaldusaeg
- Aastaringse kasutamise võimalus (nii kuivatamine kui säilitamine)
- Parim lahendus seemnevilja ebaühtlase valmimise homogeniseerimiseks

### 3.2.2 Šahtkuivatid

Šahtkuivatit võib lugeda üheks levinumaks kuivati konstruktsiooniks. Kuivatuskamber näeb välja risttahukakujuline ning seda läbivad õhujaotuskarbid. Viimased jagavad alla liikuva kuivava massi 200...300 mm paksusega ventileeritavateks kihtideks. Õhujaotuskarbid paiknevad reeglina malekorras ning need tagavad viljakihi ühtlase segamise ning seeläbi ka kuivamise kogu ristlõike ulatuses. Alla liikuv kuivatatav kiht puhutakse läbi kuivatava õhuga, mis viib niiskuse endaga kaasa. Viljakihi liigutamine toimub šahti alumises osas paikneva väljalaskemehhanismi toimel. Mehhanism võib olla pidevatoimeline (vili väljub ühtlase kogusena pidevalt) või perioodilise toimega (vilja väljutatakse kindel kogus valitud aja tagant).

Šahtkuivati võimaldab kuivatamisparameetreid muuta reguleerides:

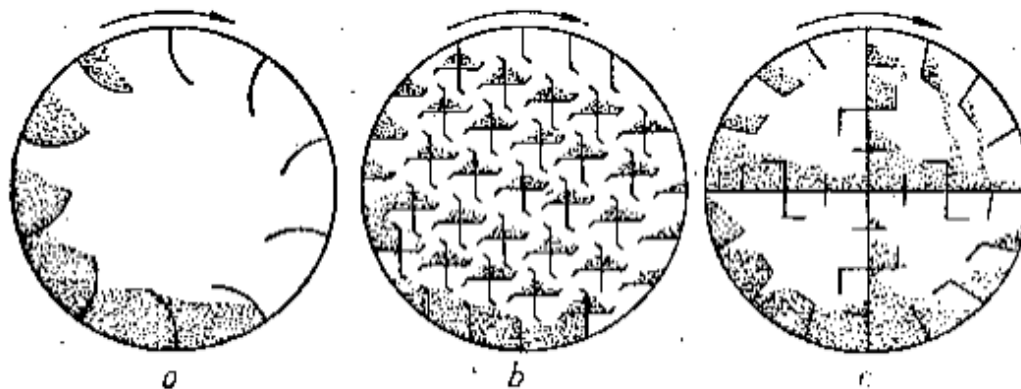
- viljamassi valgumiskiirust
- kuivatusõhu kulu
- kuivatusõhu algtemperatuuri

Tagamaks ühtlast õhu penetratsiooni läbi kuivatatava kihi on vajalik mass enne kuivatuskambrisse juhtimist puhastada, et see oleks võimalikult homogeenne [7].

### 3.2.3 Trummelkuivatid

Kuivatuskambrina kasutatakse aeglaselt pöörlevat silindrilist trumlit, mille siseseintel on labad, mis kuivatatavat kihti segavad. Protsessi käigus tõstavad labad massi väikeste kogustena üles ning seejärel kukutatakse see läbi kuivatava õhu alla. Langemise käigus liigub kuiv mass trumli sees edasi. Massi trumlis veedetud aega saab reguleerida trumli nurka või õhu kiirust muutes. Jahutamine toimub trummelkuivati puhul samasuguse konstruktsiooniga jahutustrumli või spetsiaalses ventileeritavas jahutuspunkris. Trummelkuivati sobib tänu intensiivsele segamisele hästi igasuguse materjali kuivatamiseks. Võib väita, et trummelkuivati suudab ajaühikus kuivatada kaks korda rohkem materjali kui šahtkuivati.

Kuid kuna trumlist on täidetud vaid 20-25%, on eraldatava niiskuse hulk kuupmeetri kohta isegi pisut väiksem šahtkuivati omast. See tähendab, et trummelkuivati peab olema palju suurem sama tootlikkuse saavutamiseks [7]. Trummelkuivatite trumlid on kujutatud seel 3.2.



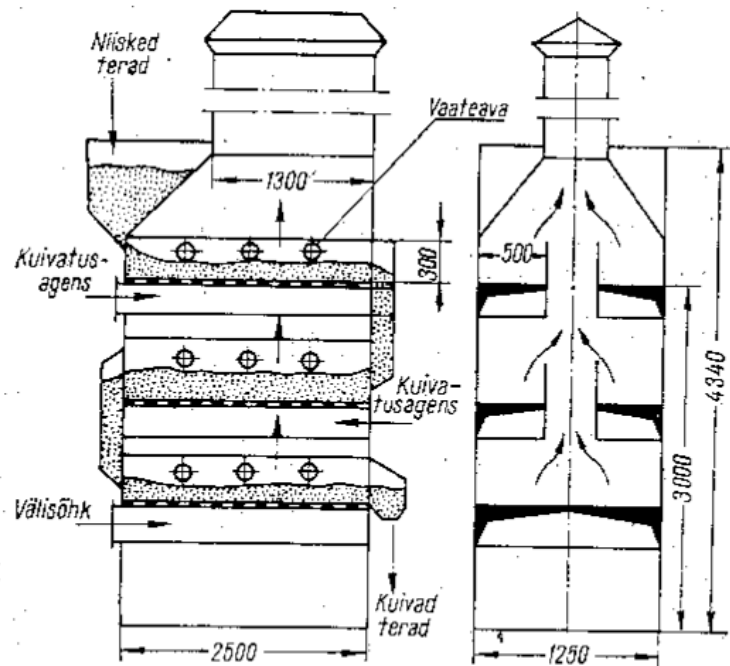
Sele 3.2 Kuivatustrumlite ehituse erinevad skeemid [7]

### 3.2.4 Keevkiht- ja pneumokuivatid

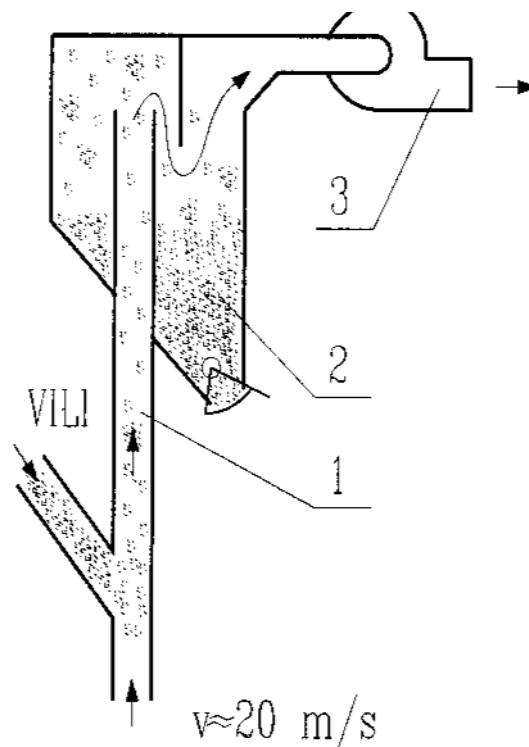
Keevkihtkuivatid (Sele 3.3) põhinevad puistematerjali aktiivsel liikumisel pseudovedelikuna. "Keemine" kutsutakse esile ülesuunatud õhuvooluga või vibreeriva põhjarestiga.

Pneumotranspordiks on vajalik õhuvoolu kiirus reguleerida 1,5...2 korda kõrgem puistemassi lendlemiskiirusest. Pneumokuivati on kujutatud seel 3.4.

Mõlema viisi puhul soojeneb mass kiiresti, sest soojusjuhtivus on hea, kuid kuivamine toimub aeglaselt, sest esineb halb niiskusejuhtivus. Keevkiht- ja pneumokuivatid ei sobi massi täielikuks kuivatamiseks, kuna eemaldavad vaid pindmise niiskuse. Neid on võimalik kasutada erinevates sõlmedes soojuse ülekandmiseks või esmase niiskuse eemaldamiseks [7].



Sele 3.3 Keeskihtkuivati põhimõtte skeem [7]



Sele 3.4 Pneumaatilise teraviljakuivati põhimõtte skeem [7]

### 3.2.5 Viljaringlusega kuivatid

Ringlev mass annab võimaluse kiiremaks ning ökonoomsemaks kõrgtemperatuurseks kuivatamiseks. Viljaringlus tähendab, et kasutatakse keevkihti, pneumotoru, "viljavihma" või muud süsteemi ning pannakse mass selles ringlema. Pärast kõrge temperatuuriga töötlemist

liigub materjal edasi lõõgastuskambrisse, milles viibib kambrit läbiv mass 10...20 minuti jooksul. Lõõgastuskambris seeme [7]:

- Saavutab ühtlase temperatuuri hea soojusjuhtivuse tõttu
- Sisemine niiskus difundeerub osakese pinnale
- Toimub terade niiskuse ühtlustumine niiskete terade pinnaniiskuse jaotumise tõttu kuivemate terade pinnale

### **3.3 Kaasajal kasutatavad kuivatite tüübid**

Põhilised tööstuslikus põllumajanduses kasutatavad kuivatusmeetodid põhinevad konveksiooni meetodil. Kasutusel on peamiselt järgnevad kuivatusseadmed:

#### **3.3.1 Portsjonkuivati**

**Portsjonkuivati** (tsüklilise toimega kuivatusseade) - kuivatatakse kuivatuskambriga suurune koguse korraga. Seade põhineb šahtkuivati põhimõttel. Kuivatuskamber täidetakse niiske materjaliga ning kuivatusõhk juhitakse läbi materjali pärast kambri täitumist. Jahutamine algab soovitud niiskuse saavutamisel. Portsjonkuivatid võivad olla:

- Viljaringluseeta - kuivatatav mass on kuivatuskambris paigal
- Viljaringlusega - kuivatatav materjal ringleb, mis võimaldab kuivatatava massi niiskusel ühtlustuda.

#### **3.3.2 Läbivoolu kuivati**

**Läbivoolu kuivati** (viljaringlusega kuivatusseade) - kuivatatavat massi antakse pidevalt peale ning kuiva massi pidevalt eemaldatakse, mis tähendab et tavaolukorras viibib kuivatatav materjal kambris vaid ühel korral. Läbivoolukuivatid võivad erineda konstruktsiooni poolest:

- Šahtkuivati põhimõttel läbivoolukuivati - kuivatatav materjal liigub läbi šahti, mille eri osades toimub nii kuivatamine kui ka jahutamine.
- Transportööri põhimõttel läbivoolukuivati - kuivatatavat materjali liigutab läbi kuivatuskambriga linttransportöör.

### **3.4 Põhilised kütused, mida kuivatamiseks kasutatakse**

Eesti põllumajandussektoris põhiliselt kasutatavateks kütusteks on diislikütus, kerge kütteeõli, maagaas, küttepuid ning puiduhake [9]. Kuivatamiseks kasutatava diislikütuse osa on raske



hinnata, kuna see on otsene sisend ka põlluharimisele. Vedel- ning gaasiliste kütuste kasutamine kuivatamisprotsesside energiaallikana omab tahkete kütuste ees teatud eeliseid:

- Kütuse hoiustamine on lihtsam ning selleks mõeldud reservuaarid juba valmis lahendusena soetatavad. Tahkekütuse puhul on vajalik laopinna, kütuse transportimiseks vajalike vahendite olemasolu ning mõningal juhul on vajalik ka tahkekütuse eelnev kuivatamine.
- Soojust tootev seade on kompaktsem, lihtsam ning vajab vähem hooldust. Tahkekütuse kasutamisel toodetakse soojust enamasti katelseadmega, millel on palju tegureid, mis seadme tööd mõjutavad.
- Põletusseadme käivitamine, soojushulga muutmine ja seiskamine toimub kiiremini. Tahkekütuse katla puhul toimuvad sellised protsessid aeglasemalt.
- Vedel- ja gaasiliste kütuste kasutamisel ei teki koldetuhka. Tahkekütuse põletamisel peab toimuma pidev tuha eraldamine koldest.

### **3.4.1 Kütteõlid**

Kütteõlid jagunevad kergeteks ning rasketeks kütteõlideks [10]. Kuivatusseadmetes kasutatakse enamasti kergeid kütteõlisid. Põhilised kütteõlid, mida Eestis põllusaaduste kuivatamiseks kasutatakse on diislikütus ja põlevkiviõli. Diislikütuse tõusva hinna tõttu on järjest enam alternatiivina võetud kasutusele põlevkiviõli. Põlevkiviõli põletamiseks on vajalik diiselpõletite eelnev modifitseerimine vastava kütuse kasutamiseks.

### **3.4.2 Maagaas ja LPG**

Maagaasi kasutamine soojuse saamiseks on üks lihtsamatest lahendustest, kuna seade ise on üks odavamatest ning puudub temperatuuri mõju kütuse voolavusele, millega võib põlevkiviõli kasutamisel probleeme tekkida. Aastate 2009...2010 lõikes on Eesti põllumajanduses maagaasi kasutatud keskmiselt 11,8 miljonit kuupmeetrit aastas, millest võib järeldada, et ka kuivatuslahendustes on maagaasi kasutamine aktuaalne [9]. LPG kasutamine kuivatamise soojuse saamiseks on pigem harv nähtus.

### **3.4.3 Biokütused**

Põhiliste biokütustena kasutatakse katelseadmetes puidusaadusi nagu küttepuud, puiduhake ning puidujäätmed [9]. Biokütustest soojuse saamise lahendused on küll kallimad, kuid tänu odavamale kütuse kasutamisele on võimalik suurem investeering tagasi teenida.

### 3.5 Teravilja kuivatusseadme valimise põhimõtted

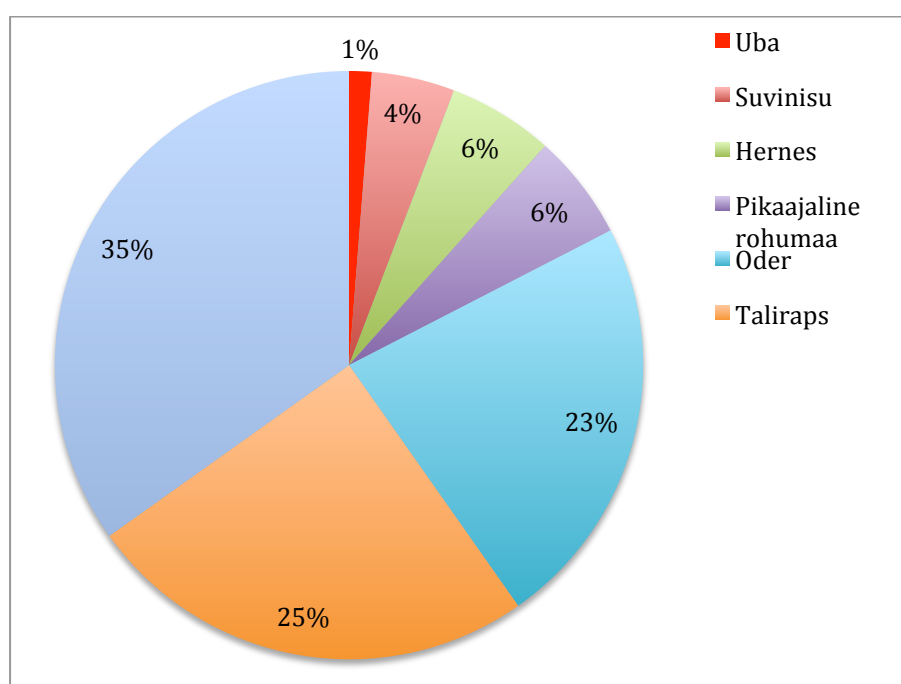
Toodetavaid kuivatusseadmeid on igale vajadusele. Põhilised näitajad, mille alusel kuivatusseadet valitakse on [11]:

1. **Kuivatusvõimsus** - Portsjonkuivati puhul näitab see, mitu protsenti niiskust seade tunni jooksul eemaldab (näiteks 2%/h). Läbivoolukuivati puhul näidatakse mingi kuivatustemperatuuri juures eralduvat niiskust ja läbivoolavat materjali kogust tunnis (näiteks 70 °C, 4%, 21 t/h). Valimaks sobivat kuivatusseadet, tuleb valida piisavalt võimas kuivatusseade, et oleks võimalik kogu saak koristada kuivatusperioodi jooksul.
2. **Energiakulu** - Väljendatakse 1 kg aurustatava vee kohta kasutatavat soojust hulka. Mida väiksem on näitaja, seda paremini on seade isoleeritud ning efektiivsem.
3. **Kütuse erikulu** - näitab kasutatava kütuse kulu 1 kg aurustatava vee kohta. Näitaja iseloomustab peamiselt soojust kasutamise efektiivsust (kas soojust taaskasutatakse kuivatusprotsessides või mitte).
4. **Kuivatatav materjal** - Teravilja ja õlikultuuride kuivatamisel on ette nähtud optimaalsed temperatuurid, mille juures säilivad terade omadused kõige paremini. Olenevalt tootmise iseloomust (söödavili, toiduvili, seemnevilja) tuleb kasutada erinevaid kuivatamistemperatuure. Söödavilja puhul on see 60 °C, toiduvilja puhul 50 °C ning seemnevilja puhul 45 °C. Siit nähtub, et seemnevilja kuivatamiseks kasutatav seade peab töötama madala temperatuuriga, mis tähendab ka pikemat kuivatamise aega. Seega võib olla toidu- ja seemnevilja kasvatamise puhul vajalik soetada suurema kuivatusvõimsusega seade kui seda oleks söödavilja kuivatamise puhul.

## 4 Sõõrikoja talu näide

### 4.1 Ülevaade Sõõrikoja talu tootmisest

Talupidamine alustas tegevust aastal 1991 12 hektari maaga, kasvatades vaid otra. Sel momendil polnud omandis ühtegi masinat ega kuivatusseadet. Tänapäevaks on majapidamine suurenenud umbes 100 korda ning külvipinda on tänapäevaks 1205 hektarit. Kasvatatavateks kultuurideks on nisu, oder, raps, hernes ning põlduba. Lisaks on kasutuses ka pikaajalist rohumaad. Põhirõhk on talvituvate kultuuride viljelemisel nende eeliste tõttu.



Sele 4.1 Sõõrikoja talu külvipinna jaotus 2015

Sele 4.1 iseloomustab talu külvipinna kasutamist. Talinisu ja taliraps koos moodustavad kogu pinnast 60%. Suur osa on ka odra kasvatamisel, mis on pinnast 23%. Kui võrrelda suvi- ja talikultuuride pindu, ilmneb selgelt talvituvate tugevam positsioon üldises portfellis.

Talikultuuride populaarsus kultuuriportfellis on põhjendatav paljude eelistega, mis talvituvate taimede kasvatamisel on. Õnnestumise puhul talivilja saagikus oluliselt kõrgem, kuna taimedel on aega pärast sügiskülvi saavutada kasvueelise suvikultuuride ees. Eelis talikultuuride puhul on ka tööoperatsioonide jagamisel. Sügisene külv võib toimuda 10. augustist septembri lõpuni, mis võimaldab külvipindu ette valmistada ning jätab aega ka

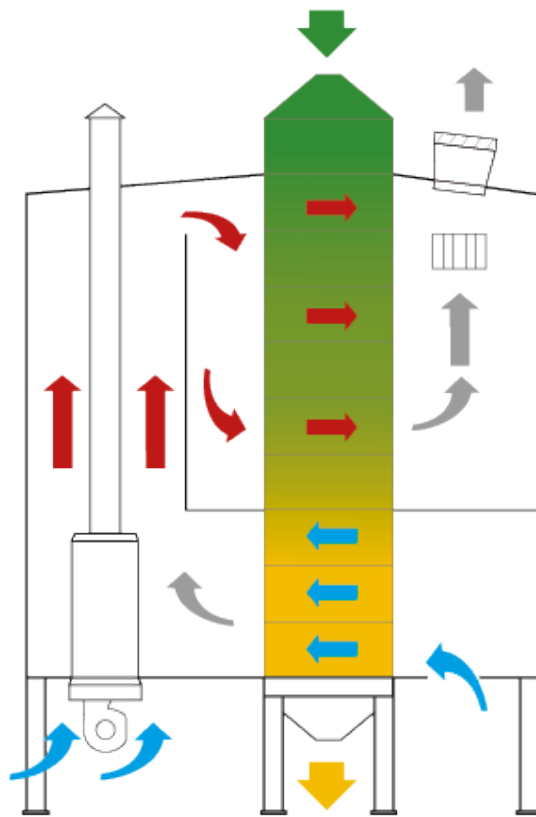
tagasilöökidele (ilmastik, masinate puudused jne.). Suvikultuuride puhul on aga põuase kevade puhul külviaega vaid 10 päeva. Talirapsi seisukohalt on selle kasvatamine võrreldes suvisega väiksema kuluga. Talirapsi õitsemisaeg jääb jahedale perioodile ning putukad ei ole veel aktiivsed, et taimi rikkuda. Ka koristamise seisukohalt on talikultuurid eelistatumad, kuna need valmivad varem ning on seetõttu võimalik kuivema ilmaga ära koristada, mis tähendab omakorda ka väiksemaid kulusid kuivatamisele.

Sõõrikoja talu on suvi- ja talikultuuride käitlemiseks rekonstrueerinud saagi töötlemise kompleksi. Vilja töötlemise kompleksis asub autokaal, mis on renoveeritud ning täpsusega 20 kilogrammi. Kaalul leitakse tooraine mass, mis kuivatisse siseneb. Järgnevalt läbib seeme eelpuhasti, mis on samuti renoveeritud. Eelpuhastamine toimub sõelpindadel massi raputamisel, mille tulemusena tera läbib sõela ning liigub edasi mahutitesse, aga jäätmed kukuvad sõelade otstest üle linttransporttöörile ning need liiguvad prahiruumi. Puhastatud terad läbivad kuivati ning puhastatakse siis vajadusel järelsorteeri abil uuesti jäätmetest.

Aastal 2014 toodeti kokku 6126 tonni saadusi. Saagi sorteerimisest tekkivate jäätmete kogus on sõltuv väga paljudest teguritest. Peamised mõjurid on ilmastikuolud, viljelusviis (mahe/taimekaitsevahendeid kasutav), kombaini kaasaegsus ning seadistus. Antud talu puhul jääb kogus umbes 500 kuupmeetri ümber. Valdav osa jäätmetest eraldatakse enne kuivatamist ning seetõttu on nende niiskus võrdne niiskusega, millega tuleb põllult mass kuivatisse.

## **4.2 Sõõrikoja talu saagi kuivatamine**

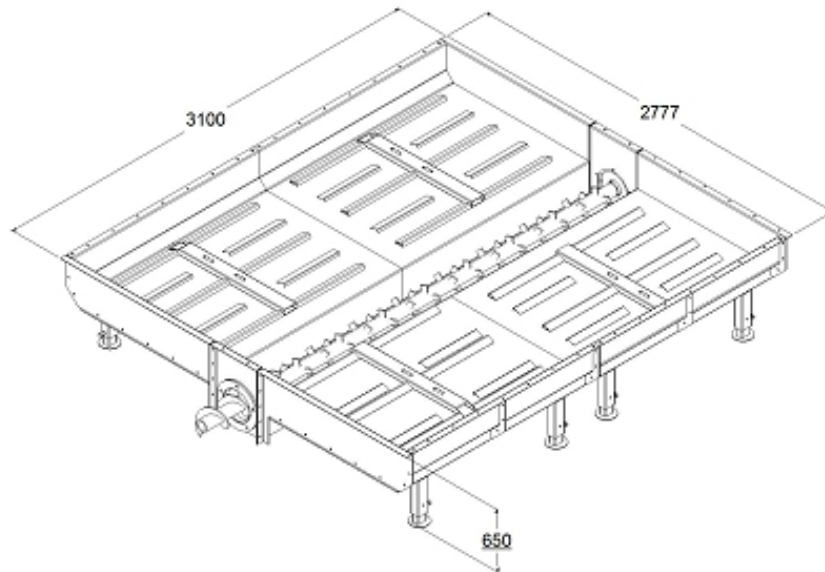
Kuivatina on kasutusel läbivoolu kuivatamisel põhinev seade WS 25, mis on Petkus Technologie GmbH toodang (Sele 4.2). Kuivati toimib põhimõttel, et välisõhk, mis sisse imetakse, jahutab viljakihti, seda läbides ning liigub seejärel eelsoojendatuna läbi soojusvaheti ning seejärel uuesti läbi viljakihi seda kuivatades ning sellest niiskust eemaldades. Kuna kasutatakse vaid kahte ventilaatorit, on õhu liigutamine elektri kasutuse poolest väga ökonoomne. Põleti (1500 kW) kasutab soojusvaheti kütmiseks põlevkiviõli. Kuivatusseadme suutlikkus andmete järgi on 21 tonni materjali tunnis, millelt on eemaldatud 4% niiskust.



Sele 4.2 Petkus WS25 tööpõhimõtte skeem [12]

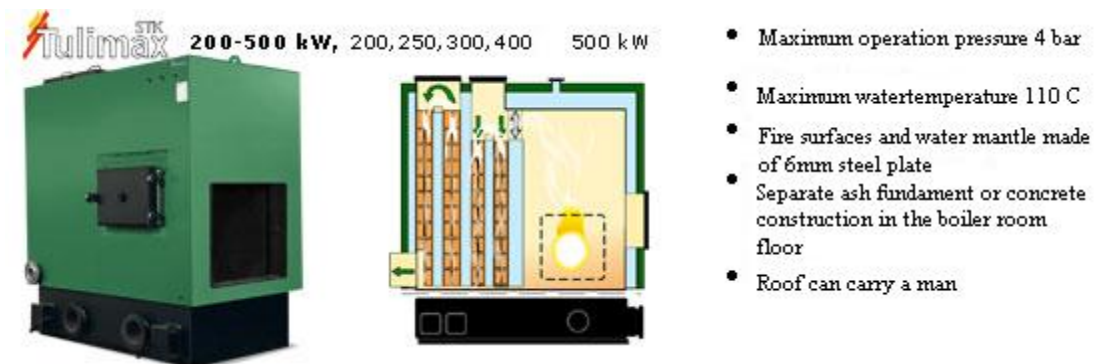
Aastal 2011 valmis biokütuse ladu-kuivati, milles on kolmandik restpinnaga põrandat ning kaks kolmandikku laopinda. Restpind võimaldab põllult tulnud kõrge niiskusega materjali ventileerida ning hoida ülekuumenemise eest ning ka kuivatada tänu biokütusel töötavale katlale Tulimax (Sele 4.4), millega õhukanalites liikuvat õhumassi võimalik kütta on.

Katel on projekteeritud töötama hakkepuidul maksimaalse võimsusega 500 kW. Võimalik on töötada minimaalsel koormusel, mis moodustab 5% maksimaalsest võimsusest ehk 25 kW [13]. Katel asub konteineris, milles on kütuseetteanne mahuga, mis vastab umbes nelja tunni tööajale maksimaalkoormusel. Katlal on automaatne tulekustutusüsteem ning GSM teel informeeriv juhtimissüsteem. Põletamiseks kasutatakse astmelist stokerpõletit Säätotuli. Põletit on kaetud keraamikaga ning on astmelise ehitusega. Primaarõhk suunatakse kütusekihi alla ja sekundaarõhk kütusekihi peale. Põletit puhastamiseks kasutatakse metallvardaid, mis kobestavad põlevat kihti ning suunavad juba põlenud materjali koldesse. Põletiga on ühendatud etteandetigu (Sele 4.3), millesse suunatakse kütus hüdrauliliste labade abil.



Sele 4.3 Säättötuuli kütuse pealeande mehhanism [14]

Tuhk ärastatakse katlast põhjateo abil ning sadestised eemaldatakse pneumaatiliselt soojusvahetuspindadelt. Soojuskandja juhtimiseks kasutatakse nii metall- kui ka komposiitmaterjalist eelisooleeritud torustikke. Distsants, mida soojuskandja peab läbima on umbes 70 meetrit. Katel töötab rõhul 2 bar-i ning on varustatud ülerõhuklappidega ning ka automaatse köetavat kontuuri täitva pumbaga. Lisaks on katlaruumis ka automaatne tulukustutussüsteem.

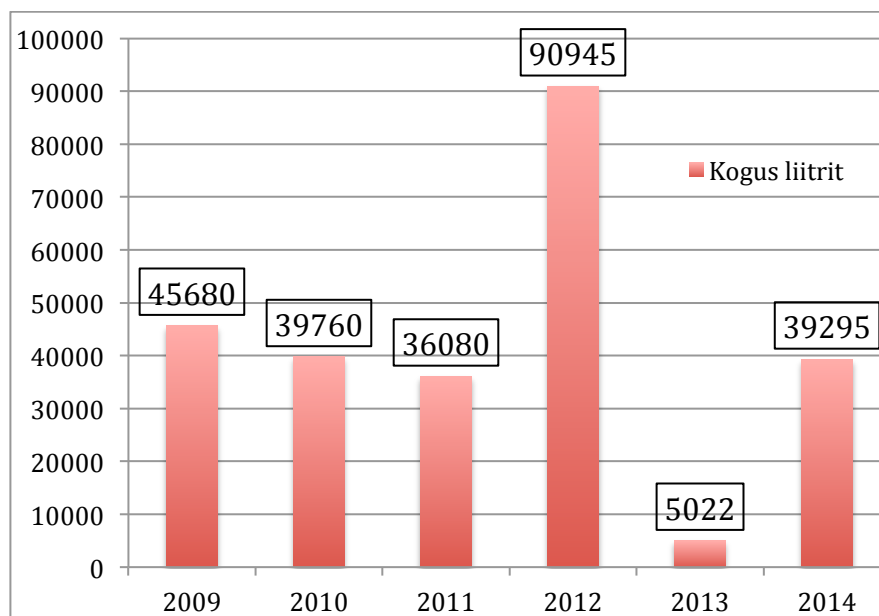


Sele 4.4 Tulimax katel ning selle gaasikäikude skeem [13]

Süsteemi soojuskandjaks on vesi, mis köetakse katla poolt kuni temperatuurini 90 °C. Vesi suunatakse õhk-veesi kalorifeeri, mis soojendab välisõhu soovitud temperatuurini ning suunab selle põrandaalustesse käikudesse. Õhu temperatuuri on võimalik reguleerida nii katlavee temperatuuriga kui ka õhu kiirusega, mida saab muuta ventilaatori kiirust sagedusmuunduri abil reguleerides. Õhu kogust kanalitesse reguleerib klapp vastavalt kaetud kanalite arvust

tekkivale vasturõhule. Üheks puuduseks nii paljude reguleerimiskohtade puhul võib lugeda subjektiivsust, kas õhu kiirus on piisav viljakihti läbimaks. Liiga väikse õhu kiiruse korral õhk kihist läbi ei tungi ning viljakihi sisse tekib niiske punkt, kus alumiste kihtide niiskus koguneb. Üldiselt on selline hoidla end siiski õigustanud ning on võimalik märg vili läbi ventileerida ning ka väikseid koguseid kuivatada.

Aastal 2012 lisandus ka teine kalorifeer kütteks ette kuivati tarbitavat õhku, mis liigub läbi põleti ning selle ümbrusest läbi soojusvaheti kuivatamiskontuuridesse. Kalorifeeri poolt köetav õhk suunatakse kambrisse väikse ülerõhu all, et ei tekiks vaakumit, mis võib konstruktsioone lõhkuda. Eelsoojendatavas kambris saavutatakse maksimaalselt temperatuur 60 °C, mis tähendab, et kuivemate masside puhul pole põlevkiviõlil töötava põleti kasutamine vajalik.



Sele 4.5 Sõrikoja talu kuivati kütusena kasutatud põlevkiviõli kogused aastate lõikes

Selgelt iseloomustab seda tarbitud õlikoguste graafik (Sele 4.5). Aastal 2012, mil põllult saabuv materjal oli märg ning saagi kogus oli läbi aja suurim kulus põlevkiviõli tervelt 90945 liitrit, aga aastal 2013, mil põletit käivitati vaid äärmisel vajadusel, oli soetatud põlevkiviõli kogus vaid 5022 liitrit. Aastal 2014 soetatud põlevkiviõli on tarbitud osaliselt teenuse osutamiseks ning kasutatud ka lisasoojuse tootmiseks, kuna ilmastikuolude tõttu oli saak märg ning koristusperiood langes kuu aja pikkusele perioodile. Üldiselt on katelseade paigaldatud suunitlusega katta põhiline soojuskoormus biokütuste arvelt ning põlevkiviõlil töötavat põletit kasutada vaid tipukoormuse katmiseks.

#### 4.2.1 Katlas kasutatavad kütused

Tulimax katel on mõeldud kütusele puiduhake, turvas, saetööstuse jäätmed, saepuru ja küttebrikett. Seadmes on põletatud ka puhtal kujul põllusaaduste töötlemisel tekkivaid sorteerjätmeid. Esialgseks ambitsiooniks oligi peamiselt jäätmete kasutamine, kuid ebapiisava võimsuse saavutamise tõttu pole see tänase päevani 100% võimalik olnud. Katsetatud on erinevaid vahekordi jäätmete ja hakkepuidu vahel ning ka 100% hakkepuidul töötamist. Võimalikuks probleemiks vaid jäätmete kasutamisel võib lugeda nende kõrge niiskuse sisalduse, mida antud põleti konstruktsioon eraldada ei võimalda. Samuti tekib takistusi sorteerjätmete tuha madalatemperatuurilise sulamise tõttu, mis tekitab katla pindadele šlakki.

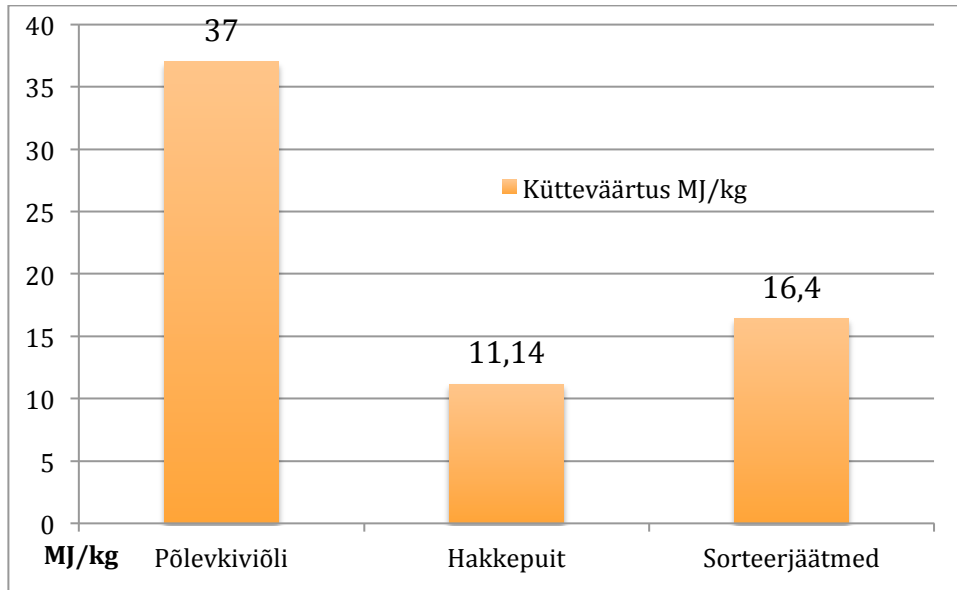
#### 4.2.2 Kasutatavate kütuste kütteväärtuste ja maksumuse võrdlus

Tabelis 1 on põlevkiviõli, hakkepuidu ja sorteerjätmete kütteväärtused (Sele 4.6), energiasisaldused ning maksumused (Sele 4.7).

Tabel 1 Kasutatavate kütuste võrdlus talu näitel

Kütus	Kütteväärtus [15-17] MJ/kg	Energiasisaldus MWh/t	Maksumus	
			€/t	€/MWh
Põlevkiviõli	37	10,278	440,77	42,89
Hakkepuu	11,14	3,094	43,10	13,93
Sorteerimise jäätmed	16,4	4,556	0	0,000





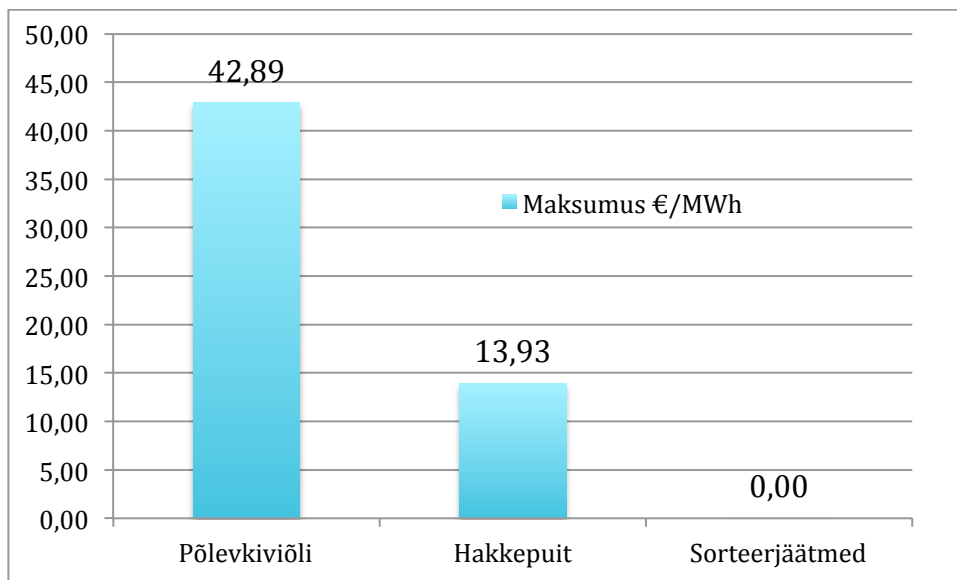
Sele 4.6 Kasutatavate kütuste kütteväärtuste võrdlus

Kütuse maksumuse arvutamisel on arvesse võetud Sõõrikoja talu kulutusi kütusele.

### Kui suur on rahaline maksumus erinevate kütuste kasutamisel

Maksumus €/MWh on leitud valemiga

$$\text{Maksumus, [€/MWh]} = \frac{\text{Maksumus, [€/t]}}{\text{Kütteväärtus, [MWh/t]}}$$



Sele 4.7 Kasutatavate kütuste maksumuse võrdlus

## Sorteerimisjätmete tiheduse leidmine

Tabel 2 Sorteerjätmete kaalumise tulemused

Kaalumine	Kogus liitrit	Mass kg
<b>1</b>	10	1,88
<b>2</b>	10	1,85
<b>3</b>	10	1,9
	Keskmine:	<b>1,88</b>

$$\text{Valem: } \rho = \frac{m}{V} \text{ [18]}$$

Kus:

$\rho$  – tihedus, (kg/m<sup>3</sup>)

m – mass, (kg)

V – ruumala, (m<sup>3</sup>)

Tabelis 2 on leitud 10 liitri jäätmete mass kolmel katsel. Saadud tulemuste keskmine on leitud valemiga [19]:

$$\bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{n}$$

Kus:

$\bar{m}$  - keskmine mass, (kg)

m – mass, (kg)

n - kaalumiste arv

Tiheduse leidmine:

$$\rho_{\text{sorteerimisjätmed}} = \frac{1,88}{\frac{10}{1000}} = 188 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### 4.2.3 Soojusenergiakulu ühiku kuivaine kuivatamiseks

Leidmaks energiakulu kuivatatava saagiühiku kohta on leitud kogu toodetud soojusenergia kogus MWh. Aastatel 2010 ja 2011 kuivatamiseks jäätmeid ega hakkepuitu ei kasutatud. Seetõttu on neil aastatel toodetud soojusenergia leidmiseks võetud arvesse vaid tarbitud põlevkiviõli kogust.

Tabel 3 Kütuste tihedused ja kütteväärtused

Kütus	Tihedus	Kütteväärtus	Energiasisaldus
	kg/m <sup>3</sup>	MJ/kg	MWh/t
<b>Põlevkiviõli</b>	900	37	10,28
<b>Hakkepuit</b>	290	11,14	3,09
<b>Sorteerimisjätmed</b>	188	16,4	4,56

Tabel 4 Kulunud soojus ühiku kuiva materjali kohta

Aasta	Kuivatatud saagi kogus (t)	Põlevkiviõli kogus (m <sup>3</sup> )	Hakkepuidu kogus (m <sup>3</sup> )	Jäätmete kogus (m <sup>3</sup> )	Toodetud soojus (MWh)	Kulunud soojus ühiku kuiva materjali kohta (MWh/t)
<b>2014</b>	5400	39,295	200	639	1090,616	0,202
<b>2013</b>	4180	5,022	0	500	474,676	0,114
<b>2012</b>	5500	90,945	80	80	981,548	0,178
<b>2011</b>	3213	38,978	0	0	360,544	0,112
<b>2010</b>	2526	44,178	0	0	408,644	0,162
<b>Keskmine:</b>					<b>663,206</b>	<b>0,154</b>

Toodetud soojus on leitud kõikide kasutatud kütustest saadava soojuse summana.

$$Q_{\sum} = Q_{\text{Põlevkiviõli}} + Q_{\text{Hakkepuit}} + Q_{\text{Sorteerimisjätmed}}$$

Kus:

Põlevkiviõlist toodetud soojus on leitud:

$$Q_{\text{Põlevkiviõli}} = (\text{PÕ kogus}, [\text{m}^3]) \cdot (\text{PÕ tihedus}, [\frac{\text{t}}{\text{m}^3}]) \cdot (\text{PÕ energiasisaldus}, [\frac{\text{MWh}}{\text{t}}])$$

Hakkepuidust toodetud soojus on leitud:

$$Q_{\text{Hakkepuuit}} = (\text{HP kogus}, [\text{m}^3]) \cdot (\text{HP tihedus}, [\frac{\text{t}}{\text{m}^3}]) \cdot (\text{HP energiasisaldus}, [\frac{\text{MWh}}{\text{t}}])$$

Sorteerjäätmest toodetud soojus on leitud:

$$Q_{\text{Sorteerjäätmed}} = (\text{SJ kogus}, [\text{m}^3]) \cdot (\text{SJ tihedus}, [\frac{\text{t}}{\text{m}^3}]) \cdot (\text{SJ energiasisaldus}, [\frac{\text{MWh}}{\text{t}}])$$

PÕ - põlevkiviõli; HP - hakkepuuit; SJ - sorteerimisjäätmed;

#### 4.2.4 Kasutatav soojushulk ühe protsendi niiskuse eemaldamiseks

Põllusaaduste kuivatamise puhul mõõdetakse esmalt kuivatatava materjali niiskuse sisaldus protsentides ning hakatakse seda siis vajadusel kuivatusseadme abil vähendada. Järgnevalt on leitud ühe protsendi niiskuse eemaldamiseks kulunud soojushulk Sõõrikoja talus.

Tabel 5 Soojushulk protsendi niiskuse kohta

Aasta	Kogus sisse	Kogus välja	Sorteerimis-jäätmete kogus	Eemaldatav niiskuse osa toorainest	Toodetud soojushulk	Kulunud soojus niiskuse protsendi kohta
	t	t		t		%
2014	6126	5400	120	10,09	1090,616	108,125
2013	4790	4180	94	10,99	474,676	43,199
2012	6300	5500	124	10,95	981,548	89,632
2011	3888	3213	76	15,71	360,544	22,954
2010	2971	2526	58	13,28	408,644	30,780
<b>Keskmine:</b>						<b>58,938</b>

Esmalt on leitud eemaldatava niiskuse osa toorainest protsentuaalselt. Selleks on lahutatud sisenenud põllusaaduste kogusest sorteerjäätmete kogus, kuna need eraldatakse enne kuivatamist, ning ka kuivatatud materjali kogus, mille tulemusena saadakse eemaldatud

niiskuse kogus tonnides. Saadud niiskuse kogus väljendatakse protsentuaalselt kogusest, mis saadakse, kui sisenevast kogusest lahutakse sorteerimisjätmete kogus.

$$\text{Niiskuse osa} = \frac{\text{Kogus sisse} - \text{kogus välja} - \text{sorteerimisjätmete kogus}}{\text{Kogus sisse} - \text{sorteerimisjätmete kogus}} \cdot 100\%$$

Soojus, mis kulub ühe protsendi niiskuse eemaldamiseks, leitakse juba eelnevalt leitud toodetud soojuse koguste abil.

$$\text{Kulunud soojus ühe protsendi niiskuse kohta} = \frac{\text{Toodetud soojushulk, [MWh]}}{\text{Eemaldatud niiskus, [\%]}}$$

#### 4.2.5 Tasuvusarvutus Sõõrikoja talu näitel

Leidmaks lihttasuvusaega investeeringule, mis on biokütusel töötava katelseadme näol tehtud, on võetud arvesse viie aasta andmeid koguste kohta, mis on töödeldud. Esmalt on leitud niiskuse kogus toormaterjalis.

Niiskuse kogus = Toormaterjali kogus – Kuivatatud materjal – Sorteerijätmete hulk

Tabel 6 Soojushulk tonni niiskus/vee kohta

Aasta	Kogus sisse	Kogus välja	Sorteerimis-jätmete kogus	Niiskuse kogus	Toodetud soojus	Soojuse hulk tonni niiskuse kohta
	t	t	t	t	MWh	MWh/t
2014	6126	5400	120	606	1090,616	1,800
2013	4790	4180	94	516	474,676	0,920
2012	6300	5500	124	676	981,548	1,451
2011	3888	3213	76	599	360,544	0,602
2010	2971	2526	58	387	408,644	1,057
<b>Keskmine:</b>				<b>557</b>	<b>663</b>	<b>1,17</b>

Seejärel on võetud arvesse toodetud soojuse kogused aastate lõikes, mille abil on leitud kulunud soojuse hulk ühe tonni niiskuse kohta

$$\text{Soojuse hulk ühe tonni niiskuse kohta} = \frac{\text{Toodetud soojushulk, [MWh]}}{\text{Niiskuse kogus, [t]}}$$

On leitud viie aasta keskmine niiskuse kogus toormaterjalis ning viie aasta keskmine soojuse hulk, mis kulub tonni niiskuse aurustamiseks.

Tabel 7 Tasuvusarvestus Sõõrikoja talu lahenduse puhul

Stsenaarium	Investeering	Kulutus kütusele		Põlevkiviõli maksumus keskmise niiskuse hulga eemaldamiseks	Aastane sääst	Tasuvusaeg
	€	Põlevkiviõli, €	Hakkepuit, €	€	€	aastates
2014	172520	19366	2500	34587,94	12722	13,56
2013	172520	2357	0	34587,94	32231	5,35
2012	172520	46835	1000	34587,94	-13247	puudub

Leitud näitajate abil on väljendatud põlevkiviõli maksumus keskmise niiskuse hulga eemaldamiseks.

Kulu põlevkiviõlile keskmise niiskuse hulga eemaldamiseks

$$= \frac{\text{Keskmine niiskuse kogus, [t]} \cdot \text{Keskmine soojushulk tonni niiskuse eemaldamiseks, [MWh/t]}}{\text{Põlevkiviõli energiasisaldus, [MWh/l]}}$$

· Põlevkiviõli hind [€/l]

Tasuvuse leidmiseks on kasutatud valemit [20]

$$T = \frac{I_0}{a}$$

Kus:

T - lihttasuvusaeg

$I_0$  - investeeringu suurus

a - igaaastane tulude ja kulude vahe

$I_0$  on võetud kogu investeeringu maht biokütuse katelseadme soetamisel

Igaaastane sääst leitakse valemiga

$$a = \text{Kulu põlevkiviõlile keskmise niiskushulga eraldamiseks [€]} \\ - \text{kulu põlevkiviõli soetamisele konkreetsel aastal [€]} \\ - \text{kulu hakkepuidu soetamisele konkreetsel aastal [€]}$$

Tasuvusarvestuses on võetud arvesse aastaid, mil katelseade kuivatamissoojust tootis.

#### **4.2.6 Võimalused tootmise arendamiseks**

Tulenevalt koristatud saagi niiskuse varieerumisest suures vahemikus pole biokütusel töötav katel suutnud kogu soojuskoormust rahuldada. Esialgseks plaaniks oli kasutada kütusena 100% ulatuses sorteerjäätmeh. Tänaeni pole see õnnestunud seda plaani täita, kuna sorteerjäätmeh niiskuse tõttu pole antud põletusseade katla tippvõimsust saavutada. Samuti oleks keeruline kuivatusprotsesse automaatselt käivituva põletita läbivoolukuivati puhul automatiseerida. Portsjonkuivati puhul toimub kuivatamine ühtlasel temperatuuril kogu tsükli vältel ning seetõttu on sellise seadme puhul biokütusel töötavat katelt lihtsam rakendada.

Tulevikus oleks mõistlik investeerida koristamisvõimekusse, et tagada nii saagi kui ka sorteerjäätmeh koristamine kuivemal perioodil suuremas koguses. See võimaldaks saagi kuivatamist madalamatel temperatuuridel pikema perioodi vältel, mis vähendaks vajadust kasutada põlevkiviõlil töötavat põletit. Lisaks tähendab väiksema niiskusega toormaterjal ka väiksemat niiskushulka sorteerjäätmehes. See võimaldaks sorteerjäätmehes rohkem soojust toota ning vähem hakkepuitu kasutada. Samuti võiks mõelda jäätmehes eelneva kuivatamise peale neid ventileerides.

## KOKKUVÕTE

Eesti maapinnast 47% moodustab mets, 29% on haritav maa ning looduslik rohumaa ja 24% on muu maa. Aastal 2001 oli Eestis põllumajanduslikke majapidamisi 55747. Aastaks 2007 oli see arv vähenenud 23336-eni. Kuigi majapidamiste arv on vähenenud tõuseb igal aastal haritava maa hulk. Aastal 2014 kasvatati Eestis põllukultuure 608,4 tuhandel hektaril. Peamisteks kasvatatavateks kultuurideks on oder, nisu raps, rüps, kaer, rukis ja tritikale.

Põllukultuuride suurtootmine nõuab tootjalt valmisolekut saak kiiresti töödelda ning anda sellele konditsioon, millisena seda võimalik säilitada oleks. See tähendab terade puhastamist lisanditest ning vajaliku koguse niiskuse eemaldamist viisil, et säiliksid tera omadused. Tera tähtsaimad osad on valkained. Niisketes oludes seovad need vett ja paisuvad. Seemnete madalatemperatuuriline kuumutamine võimaldab neist niiskuse eraldada ning anda neile esialgne kuju. Kõrgetemperatuuriline töötlemine paneb seemne valkaine kalgenduma ning seetõttu muutub see idanemiskõlbmatuks.

Seemnete veesisaldus määrab nende elutegevuse aktiivsuse - mida rohkem niiskust, seda enam terad hingavad. Aktiivse elutegevuse puhul eraldavad terad soojust ning seetõttu ei ole võimalik neid puistemassina säilitada kuna tekib isesoojenemine, mille tulemusena kaotavad seemned oma omadusi ja tekivad säilituskaod. Märja materjali puhul on võimalik ka isesüttimine.

Põllusaaduste koristamisel saadakse peale saagise ka muid lisandeid nagu aganad, sõklad, umbrohuseemned jne. Nende kogus sõltub viljelusviisist, ilmastikust kasvuperioodi vältel ning koristusprotsesside täiuslikkusest. Lisandite kogus jääb enamasti vahemikku 1...5% koristatud massist.

Põllusaaduste kuivatamisel on võimalik teramassile soojust üle kanda konvektsioonmeetodil, kontaktmeetodil, radiatsioonmeetodil, kõrgsagedusvooludega või sorptsioonmeetodil. Kuivatid võivad olla konstrueeritud kui liikumatu viljakihiga, šahtkuivatid, trummelkuivatid, keevkiht- ja pneumokuivatid ning viljaringlusega kuivatid. Tänapäevaseks enim kasutust on leidnud konvektsioonmeetodi kasutamine šahtkuivatites, mis võivad töötada nii tsükliliselt kui olla pidevatoimelised.

Sõõrikoja talu on aastast 1991 tänase päevani kasvanud haritava maa osas umbes 100 korda. Soov on hoida tootmiskulud võimalikult madalad, kuid tagada vähemalt sama või veelgi parem kvaliteet toodangule. Viimastel hooaegadel on kasutatud sorteerjätmeid koos hakkepuiduga biokütuse katlas põllusaaduste kuivatamiseks mõeldud soojusenergia



tootmiseks. Põlevkiviõlil töötav põleti on jäänud pigem tipukoormuste katmiseks. Seeläbi on saavutatud väiksem kulu energiatootmisele, mis aitab kulusid kuivatamisele alla viia. Investeering on paremini tasuv pikemate ning kuivemate koristusperioodide puhul, kui põlevkiviõli soetamiseks puudub vajadus.

## SUMMARY

Estonian territory is divided into 47% of forest, 29% arable land and natural grassland, and 24% of land used for other purposes. In 2001, there were 55748 agricultural households. By 2007 the number had fallen to 23336. Although the number of farms is dropping every year, the amount of arable land is increasing. In 2014 there were crops grown on 608,4 thousand hectares. The main cultivated crops are barley, wheat, rapeseed, polish canola, oats, rye and triticale.

Large-scale production of crops requires willingness from the manufacturer to quickly process the harvest and give it a condition, in which it would maintain. It requires grain to be cleaned from impurities and the necessary amount of moisture removed in a way to preserve the characteristics of the blade. The most important part of the blade is its protein substance. In humid conditions, they bind water and swell. By having the seeds treated in low-temperatures, the moisture content reduces, which the crop to recover its original condition. High temperature processing causes the seed protein content to coagulate, and therefore it becomes unable to germinate.

The water content of a seed determines its activity - the more moisture, the more it breaths and produces heat. The heat produced during the biological processes makes it impossible to maintain crop as heaps because self-heating occurs, resulting in reduced properties of seeds and storage losses. Heaps of crop with high moisture content may also self-ignite.

Harvesting crop results in a yield, which has other additives such as husks, chaff, weed seeds, etc. The amount of by-products depends on the cultivation, weather during crop growth period, and the perfection of harvesting processes. The amount of impurities is generally in the range of 1 ... 5% of harvest.

During the process of drying there are several ways to transfer heat to the crop: by using convection, contact method, radiation, high-frequency currents or sorption. Grain dryers may be designed for stationary grain layer, shaft dryers, drum dryers, fluidized bed dryers and pneumatic dryers and as circulated grain dryers. Nowadays, the grain dryers mainly used are based on convection and use shafts as drying chambers, which can be operated cyclically or as continuous flow dryers.

Sõõrikoja farm has been active in producing crops since 1991 and since then its arable land has increased about 100 times. The desire is to keep production costs as low as possible, but ensure at least the same or even better quality of crops produced. In recent seasons there have

been cereal and oil culture screening residues used as biofuel in the boiler to produce heat for drying. Oil burner using shale oil has remained rather for covering the peak loads. The cost of energy production has thereby been reduced, which will help bring down the cost of drying harvest. The investment is more cost effective at longer harvest periods and for crops with lower moisture content - there is no need for the acquisition of shale oil.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Maakasutuse struktuur Eestis [WWW] <http://www.agri.ee/sites/default/files/public/juurkataloog/TRUKISED/2013/trykis-faktileht-2013-est.pdf> (25.05.2015)
- [2] Haritav maa [WWW] [http://et.wikipedia.org/wiki/Haritav\\_maa](http://et.wikipedia.org/wiki/Haritav_maa) (25.05.2015)
- [3] Põllumajanduslike majapidamiste arv [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS401&ti=P%D5LLUMAJANDUSLIKE+MAJAPIDAMISTE+STRUKTUUR+MAAKONNA+J%C4RGI+%282001%2D2007%29&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike\\_majapidamiste\\_struktuur/10Uldandmed/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PMS401&ti=P%D5LLUMAJANDUSLIKE+MAJAPIDAMISTE+STRUKTUUR+MAAKONNA+J%C4RGI+%282001%2D2007%29&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/04Pellumajanduslike_majapidamiste_struktuur/10Uldandmed/&lang=2) (25.05.2015)
- [4] Põllukultuuride kasvupind [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM031&ti=P%D5LLUKULTUURIDE+KASVUPIND+MAAKONNA+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste\\_tootmine/06Taimakasvatussaaduste\\_tootmine/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PM031&ti=P%D5LLUKULTUURIDE+KASVUPIND+MAAKONNA+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/13Pellumajandus/06Pellumajandussaaduste_tootmine/06Taimakasvatussaaduste_tootmine/&lang=2) (25.05.2015)
- [5] Põllukultuuride iseloomustus [WWW] <http://www.pikk.ee/valdkonnad/taimekasvatus/teraviljakasvatus> (25.05.2015)
- [6] Linask. Ü., Taimekasvatuse mehhaniseerimine. Tallinn, 1970
- [7] Linask. Ü., Teravilja koristusjärgse töötlemise mehhaniseerimine. Tallinn, 1967
- [8] Kombaini tööpõhimõtte skeem [WWW] <http://img.findpatent.ru/1146/11465307.gif> (26.05.2015)
- [9] Põllumajandussektoris kasutatavad kütused [WWW] [http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE061&ti=K%DCTUSE+TARBIMINE+MAJANDUSHARU+JA+K%DCTUSE+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia\\_tarbimine\\_ja\\_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=KE061&ti=K%DCTUSE+TARBIMINE+MAJANDUSHARU+JA+K%DCTUSE+LIIGI+J%C4RGI&path=../Database/Majandus/02Energeetika/02Energia_tarbimine_ja_tootmine/01Aastastatistika/&lang=2) (1.06.2015)
- [10] Kütteõlid [WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Kütteõlid> (1.06.2015)
- [11] Teraviljakuivatite valik [WWW] <https://www.yumpu.com/et/document/view/28270282/10-teraviljakuivatite-valik> (26.05.2015)

- [12] Petkus WS25 infoleht [WWW] <http://www.petkus.com/products/-/info/drying/continuous-flow-dryer/continuous-flow-dryer-ws> (25.05.2015)
- [13] Tulimax katlad [WWW] <http://www.htenerco.fi/index.php/en/farming-industry-municipalities/boilers-30-1000-kw> (27.05.2015)
- [14] Säättötuuli kütusesüsteemid [WWW]  
<http://www.saatotuli.fi/product.asp?sua=2&lang=3&s=208&nav=10010011>  
(27.05.2015)
- [15] Põlevkiviõli omadused [WWW]  
[https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/6.\\_Polevkivioli.pdf](https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/6._Polevkivioli.pdf) (29.05.2015)
- [16] Hakkepuudu kütteväärtus [WWW]  
<https://www.ecn.nl/phyllis2/Biomass/View/3143> (29.05.2015)
- [17] Sorteerjäätmete kütteväärtus [WWW]  
<https://www.ecn.nl/phyllis2/Biomass/View/2805> (29.05.2015)
- [18] Tiheduse leidmine [WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Tihedus> (29.05.2015)
- [19] Aritmeetiline keskmine [WWW]  
[http://et.wikipedia.org/wiki/Aritmeetiline\\_keskmine](http://et.wikipedia.org/wiki/Aritmeetiline_keskmine) (29.05.2015)
- [20] Vares V., Kask Ü., Muiste P., Pihu T., Soosaar S., Biokütuse kasutaja käsiraamat. TTÜ kirjastus, 2005