Eesti Põllumajandusülikool

Tehnikateaduskond

Põllumajandusenergeetika instituut

Mart Hovi

MITMEAASTASED ROHTTAIMED ENERGEETILISE TOORMENA EESTI VABARIIGIS

Magistritöö

põllumajandusenergeetika erialal

teaduslik juhendaja tehn. mag. E. Kokin

Tartu 1995

SISUKORD

SISUKORD 2
SUMMARY 5
SISSEJUHATUS 6
1. TÖÖ EESMÄRK 7
2. TERMINOLOOGIAST 9
3. ENERGIATAIMEDE KASVATAMINE 11
3.1. Energiakooslused 11
3.1.1. Energiamets 11
3.1.2. Energiahein 13
3.2. Energiataimede kasvutingimused 16
3.2.1. Looduslikud kasvutingimused 16
3.2.2. Agrotehnilised kasvutingimused 17
3.3. Mullaharimine 18
3.3.1. Üldosa 18
3.3.2. Sügisene harimine 18
3.3.3. Külvieelne harimine 19
3.3.4. Külvikord 20
3.4. Umbrohutõrje 20
3.5. Väetamine 22
4. BIOENERGIA KASUTAMINE 24
4.1. Bioenergia enamuuritud kasutusvõimalused 24
4.1.1. Biodiisel 24
4.1.2. Etanool 24
4.1.3. Tahked kütused 25
4.1.4. Biogaas 26

4.2. Kütuste omadused 26
4.2.1. Kütuse füüsikalised omadused 26
4.2.2. Kütuse keemiline koostis 30
5. ENERGIAHEINA KASUTAMINE 31
5.1. Pressitud energiahein 31
5.1.1. Granuleerimine ja briketeerimne 31
5.1.2. Põhubriketi valmistamine Ungaris 34
5.2. Heinagaas 35
5.2.1. Üldist 35
5.2.2. Tööpõhimõte 35
5.2.3. Kasutatav kütus 35
5.2.4. Generaator 36
5.2.5. Mootorite kohaldamine 38
5.3. Heinapulbri põletamine. 39
5.3.1. Jahvatuskatsetused. 39
5.3.2. Põletuskatsed 39
5.4. Energiaheina pürolüüs 41
6. KATSEKIRJELDUSED 43
6.1. Energiaheina niiskusesisalduse määramine. 43
6.2. Energiaheina küttevääртuse määramine. 44
6.3. Ida-kitseherne tuhasisalduse määramine 44
6.4. Ida-kitseherne tuha sulamistemperatuuri määramine 46
7. PÄIDEROO PÕLEMISPROTSESSI TEOREETILINE ARVUTUS 47
7.1. Tarbimisaine koostis 47
7.2. Küttevääртuse määramine 48
7.3. Põlemisõhu vajadus 49
7.4. Tekkivad suitsugaasid 50
8. MAJANDUSLIK OSA 52

8.1. Üldosa 52
8.2. Bioenergia majanduslik efektiivsus talus 55
8.2.1. Arvutuse alused 55
8.2.2. Võrreldavad kütused 55
8.2.3. Põhk ja energiahein 56
8.2.4. Energiaheina tootmiskulude arvutus 56
9. ENERGIAHEINA EDASPIDISTE UURINGUTE PÕHJENDUS 58
10. KESKKONNAKAITSE. 58
KOKKUVÕTE 63
KASUTATUD KIRJANDUS 64

SUMMARY

Hovi, M. The perennial herbs as energetic source in Estonia. Magister paper. Speciality: agricultural energy engineering.-Tartu, 1995.-66 p. 14 drafts. In Estonian

ENERGY-GRASS, COMBUSTION, ENERGETICS, ENVIROMENT, FUEL, BIOENERGY, BIOMASS.

Introduction:

The purpose of this research paper is to analyse whether it were possible to use perennial herbs for fuel in Estonian Republic. The research paper tries to prepare ground for the application projects that will be following later. The author has treated different technologies for turning plant biomass into a form suitable for energetic use. The necessary conditions for making energy-grass have also been introduced. In the course of the research work the experiments for finding out qualities of plant mass harvested in spring were made.

Results and discussions:

The results show that the energy-grass could have an important place in Estonian energy balance. The low density and high humidity of the biomass harvested from a field pose a problem. A biomass that after processing has become technologically similar to other fuel materials, can be used as an energetic raw material. Economically the energy-grass can offer no competition yet to fossil fuels, because there are no noticeable enviromental taxes in the energetic industry of the Estonian Republic.

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida mitmeaastaste rohttaimede kasutamisvõimalusi kütusena Eesti Vabariigi tingimustes ja see on ettevalmistav uurimus edaspidisele rakendusliku iseloomuga projektile.

Biomassi energeetika on tuntud juba aastatuhandeid. Alates sellest kui inimene õppis tegema tuld ja saama soojust, on enamus energiat saadud biomassi põletamisest ning alles väga lähedases minevikus on hakatud kulutama maavaradena ladestunud energeetilisi tooraineid nagu kivisüsi, nafta, gaas, põlevkivi. Fossiilsete kütuste tarbimine on, lisaks väärtusliku tööstustooraine raiskamisele, viinud Maa suhteliselt ebastabiilsesse olukorda keskkonna saastamise tõttu.

Uueks suunaks energeetikas võiks olla põllumajandusenergeetika ja seda mitte tema klassikalises tähenduses energiakasutajana, vaid kui energiatootja. Seda võimaldavad ka suured sööti jäänud maa-alad, mida pole otstarbekas metsastada või jätta sööti, kuna tulevikus võib jälle tekkida vajadus kasutada neid toiduainete tootmiseks. Üheks võimaluseks kasutada toiduainete tootmisest vabanevat maad, oleks energiaheina kasvatamine. See aitab säilitada kultuurmaastikku ja oskuslikul majandamisel võib ka suurendada selle väärtust.

Nendest ja veel mitmest eeldusest lähtudes on valminud käesolev magistritöö põllumajandusenergeetika instituudis. Vast võib see olla ka suunanäitajaks mõiste "põllumajandusenergeetika" uueks lahtimõtestamiseks - põllumajandus mitte energia tarbijana vaid selle tootja.

Autor avaldab sügavat tänu oma juhendajale abi eest töö viimistlemisel, prof. Jaan Lepale tema järjekindlate nõuannete eest ja prof. Rein Viiraltile töö bioloogilise külje konsulteerimise eest.

2. TÖÖ EESMÄRK

Biomassi energeetika ei ole käesolevaks hetkeks saavutanud väärilist kohta sisseveetavate ja kohapeal kaevandatatavate kütuste kõrval. Sellest hoolimata omab ta mitmeid eeliseid: kohalik tootmine, CO_2-neutraalsus, põllumajanduse tootmispotentsiaali ärakasutamine. On ka probleeme, nagu kõrged tootmiskulud, keerukas tehnoloogia, ebatraditsioonilisus. Uuringud selles vallas on interdistsiplinaarsed, sest küsimus algab maaviljelusest, on seotud energeetikaga, omab kindlat kohta keskkonnakaitses ja jõuab välja sotsiaalprobleemideni meie maapiirkondades, kus saaks toimuma sedalaadi tootmine ja töötlemine.

Töö põhjuseks on vajadus tõhustada biomassi energiakasutuse uurimist Eestis. Eesmärgiks on selgitada, milliseid tulemusi on maailmas saadud viimaste aastakümnete vältel ja kuidas need on kohaldatatvad Eesti oludesse. Tungiv on vajadus ka biomassi energiakasutuse teadusliku populariseerimise järele.

Puugaasiseadmeid on arendatud Rootsis alates 1959. aastast ja ka Soomes katsetati neid VAKOLA instituudis 1980. aastal. Vahepeal on toimunud areng ja erilise rõhuasetuse on saanud keskkonnaprobleemid. Huvi pakuvad puidust erinevate omadustega biokütused, nagu näiteks mitmeaastased heintaimed ja põllukultuuride tootmisjäägid, sealhulgas põhk.

Energiaheina projekt hõlmab heintaimede tootmist ning seejärel nende kasutamist energeetilistel eesmärkidel. Energiahein on CO_2 -neutraalne, erinevalt fossiilsetest kütustest. Võrreldes energiaheina energiavõsaga võib energiaheina kasuks öelda seda, et energiaheina all olevaid põlde võib vajaduse korral koheselt uuesti kasutusele võtta teiste kultuuride tootmiseks. Rõhutada tuleks veel asjaolu, et küsimus ei lähtu otseselt energia saamise vajadusest vaid alternatiivse maakasutuse ja keskkonnaprobleemide tõsisest päevakordakerkimisest tänapäeva

Eestis ja mujal.

Energiaheina kasvatamine ja kasutamine on meil praktiliselt tundmatu valdkond. Planeeritav töö toetub paljuski Soomes, Rootsis ja Taanis tehtud vastavasisulistele uuringutele. Lisaks biomassi otsesele põletamisele kateldes on võimalik energiat toota ka teisi meetodeid kasutades. Kõne alla tuleb erineva tükisuurusega briketeeritud biomassi kasutamine gaasigeneraatoris ja selle tehnoloogia kasutusvõimalused maapiirkondades. Soovime saada laboratoorset rakenduskogemust.

Planeeritud on olemasoleva teaduslik-tehnilise informatsiooni siirdamine Taani, Rootsi ja Soome samasuunalistest teadusprojektidest vahetuse korras. Eelnimetatud andmetest lähtudes projekteerime ja ehitame katseseadme - statsionaarse gaasigeneraatori koos sisepõlemismootori ja elektrilise piduriga (sobiv mootor ja pidur on EPMÜ-s olemas). Komplekteerime kaasaegse personaalarvuti (on olemas) baasil toimiva mõõtmiskomplekti, mis hetkel EPMÜ Tehnikateaduskonnas puudub.

3. TERMINOLOOGIAST

Bioenergeetika (<*bio*-+kr *energetikos* "tegev") on klassikaliselt teadusharu, mis käitleb organismides toimuvat energiavahetust termodünaamika seadustest lähtudes. Eluks on vaja, et päikesevalgusest ja toidust saadav energia osaleks organismis toimuvais reaktsioonides ega ainult hajuks soojusena. ... [1, lk. 544].

Biomassi sihikindel kasvatamine kütuseks ehk energeetilisel otstarbel on kõne alla tulnud viimasel ajal. Biomassi kasutamine kütusena on inimkonnale tuntud juba ammustest aegadest. Inglise keelses teaduskirjanduses on laialt levinud termin *bioenergy*, eesti keelde tõlgituna "bioenergia". Probleemne on asjaolu, et see termin nii inglise kui eesti keeles on senini tähistanud protsesse, mis seotud energia muundamise ja kasutamisega elusorganismis. Võiks kasutada terminit "biomassienergeetika" ehk lühendina BME, kui see poleks liialt pikk ja kohmakas.

Teostades infootsinguid rahvusvahelistes bibliograafilistes andmebaasides CD-ROM ehk laserketta vahendusel või otsides kontakte teiste uurimisgruppidega samas valdkonnas *INTERNET*-i abil, annab häid ja oodatud tulemusi kütusteenergeetika vallast just termin *bioenergy*, kusjuures otsing ei too välja ühtegi elusorganismide energiavahetusse puutuvat artiklit. Seega tasub tulevikus kasutada siiski terminit "bioenergia".

Antud kontekstis nimetatakse bioenergiaks taastuvat energiat, mida saadakse taimemassi muundamisel kütuseks või selle otsesel põletamisel. Bioenergia-alaste uurimistööde maht on viimaseil aastail tunduvalt kasvanud, kuna üha süvenevad fossiilsete kütuste tarbimisega seotud keskkonnaprobleemid. Energiataimede kasvatamine on alternatiiviks ka toiduainete põllumajanduslikule ületootmisele, mis on probleemiks paljudes riikides. Näiteks 1980. aastal oli Euroopa Ühenduse maades toiduainete tootmise alt jäänud välja juba üle 6 miljoni hektari maad. 1993.

aastal küündis Soomes selliste endiste põldude pindala 53 000 hektarini [2, lk. 10]. Tagasihoidlike hinnangute kohaselt jäi Eestis 1994. aastal kasutamata 6...7% põllumaast [3]. Heintaimede kasvatamine energia eesmärgil säilitab maa haritavana, mida ei saa öelda energiavõsa kasvatamise kohta.

Põllukultuurid pakuvad mitmeid võimalusi energia tootmiseks. Näiteks diislikütust saab asendada taimeõli baasil toodetava kütusega. On võimalik kasutada päevalille, rapsi, rüpsi, kanepi ja soja seemneid. Alkohole bensiinile lisamiseks on võimalik toota tärklist või suhkrut sisaldavatest taimedest, näiteks suhkruroost, suhkrupeedist, kartulist, maisist ning meil traditsiooniliselt kasvatatavatest teraviljadest.

Levinuim moodus biomassi kasutamiseks on tahkel kujul põletamine, saamaks soojusenergiat. Selleks sobivad põhk, terad, hein ja õlitootmise kõrvalsaadusena tekkinud rapsikoogid. Biogaasi, mida kasutatakse sõidukite kütusena või soojatootmises, saab põhimõtteliselt kõigist orgaanilistest materjalidest. Bioenergia tootmiseks sobivad kõige paremini taimed, mille kuivainetoodang põllupinna ühiku kohta on võimalikult suur. Kuna meie klimaatilised olud ei võimalda kasvatada kaugeltki kõiki võimalikke kultuure, tuleks veel uurida neid kultuure, mida meil on juba varem kasvatatud, nagu teraviljad, raps, rüps, põldheinad, suhkrupeet ja kartul. Nimetatud kultuuride viljelemiseks on olemas ka kogemused ja tehnika.

Bioenergia suurim eelis on see, et biomassi on võimalik toota väga laial alal: kõikjal, kus saab tegelda põllu- või metsamajandusega.

4. ENERGIATAIMEDE KASVATAMINE

4.1. Energiakooslused

4.1.1. Energiamets

Energiametsa (joon. 1) võib metsaks nimetada ainult tinglikult, varem kasutatud nimetus "energiavõsa" kirjeldas asja olemust tegelikult autentsemalt, kuna selline kooslus meenutab väliselt tõesti pigem võsa või istandikku.

Joon. 1. Energiamets [4, lk. 29].

Põhiliselt kasvatatakse praegu energiametsas paju erinevaid liike (*Salix sp.*),

potentsiaalselt oleks mõeldavad ka sanglepp (*Alnus glutinosa*) ja hall lepp (*Alnus incana*). Paju suureks plussiks on kasvamaminek pistokstest, samuti suur liikide arv ja hea hübridiseerumisvõime. Paju ei anna tavaliselt juurevõsu, seega on hõlpsasti võimalik rakendada mehhaniseeritud töövõtteid.

Sanglepp on pajuga võrreldes põuakindlam, vajab vähem väetamist ning parandab mulla kvaliteeti. Näiteks võib tuua sajandi alguses tuiskliivale rajatud lepiku Hiiumaal, Luidjas. Lepik on liiva kinnistanud ja kujundanud viljaka liivmulla [5].

Hall lepp võiks kõne alla tulla eelkõige kehvematel kasvukohtadel kui pinnaseparandaja.

Energiamets ei ole looduslikult isereguleeruv ökosüsteem, pigem võib seda nimetada põllukultuuriks ning sellega on seotud ka mitmed tavalise metsaga võrreldes uued probleemid.

1. Energiametsa rajamine eeldab suuri kapitalimahutusi, ei anna aga hetkel veel tavakütustega võrreldes olulist tulu.

2. Energiamets on monokultuur, seega ähvardavad teda eriti teatud haigused ja kahjurid.

3. Puuduvad vajalikud harimis- ja koristusmasinad ning tehnoloogia (või on need sobimatud oma kalli hinna tõttu).

4. Tekivad raskused transpordi, ladustamise ja kütmisega.

5. Ootamatuid probleeme võivad tekitada kliima (n. kuivad suved) ja kasvukoht (n. mullastik).

6. Energiamets on vastuolus väljakujunenud tavade ja traditsiooniliste mõttemallidega [6].

Energiamets on suur biomassi produtseerija, kuna seal kasvatatavad puuliigid on suhteliselt kiire kasvuga. Kui võrrelda energiametsa saake tavalise metsa saagiga ühe põlvkonna jooksul, saab sealt kuni mitukümmend saaki
[7, lk. 755] ning ka toodang pindalaühiku kohta ajaühikus on energiametsal

tunduvalt suurem.

Biomassi juurdeksv energiametsas sõltub puude kõrgusest ja nende diameetrist, samuti on oluline ühest kännust võrsuvate võrsete arv, maht ja jõulisus ning kännu püsiv ja kõrge võrsumisvõime pika aja jooksul [8, lk. 235].

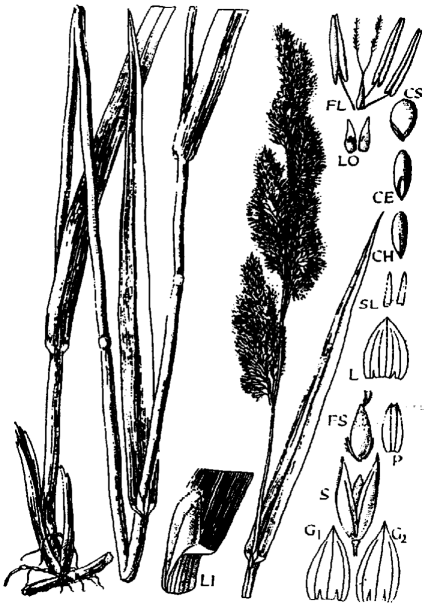
Soomes ja Rootsis on energiametsadest saadud kuivainet keskmiselt 12...15 t/ha aastas, aga lähitulevikus eeldatakse saaki parandada 20...25% võrra [9, lk. 5].

4.1.2. Energiahein

Energiaheina eelistatumad kultuurid on praegu päideroog (*Phalaris arundinacea*), roog-aruhein (*Festuca arundinacea*) ja ida-kitsehernes ehk galeega (*Galega orientalis*).

Päideroog (joon. 2) on tüüpiline niidutaim; 70...150 cm pikkuste jämedate kõrtega kõrrelehtederohke lühivõsundiline pealishein. Külvisenorm puhaskülvis on 15 kg/ha. Tema läbilöödavus segudes on esimestel aastatel keskmine.

Pärast tärkamist areneb päideroog võrdlemisi pikaldaselt. Kasutusaastatel algab kasv vara ja on kiire.



Joon. 2. Päideroog *(Phalaris arundinacea)* [10]

Päideroole sobivad hästi lagunenud turbamullad, eriti üleujutatud lammimullad, kus ta on püsiv ja kõrge saagikusega.

Kuivad põuakartlikud mullad päideroole ei sobi, samuti ei talu ta kõrget seisvat vett ja huumusvaest happelist mulda. Päideroog on väga vastupidav jäätumisele ja põuale, kuid sage ja liiga madalalt niitmine vähendab järgnevaid saake ning taimede püsivust.

Soovitatav sort on "Pedja" [11, lk. 26...28].

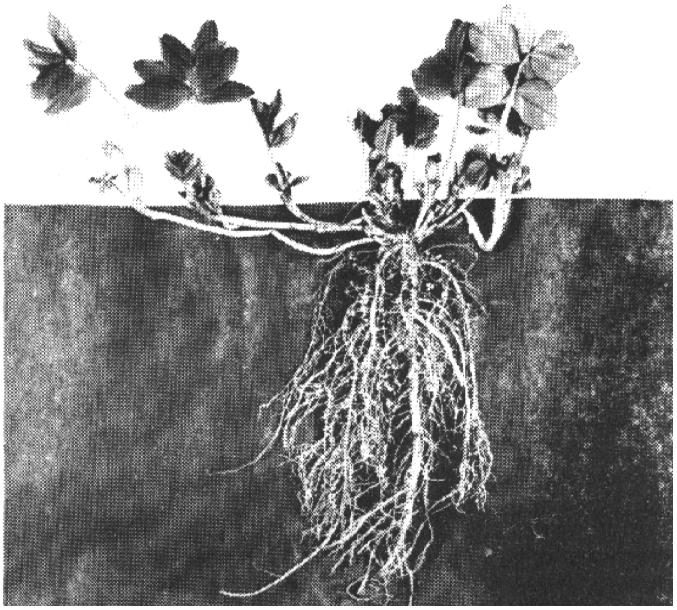
Roog-aruhein on rohkete juurmiste lehtedega, 50...150 cm pikkuste kõrtega, hõredapuhmikuline pealishein, mis moodustab harva lühikesi mullasiseseid võsundeid. Roog-aruhein on mitmeaastane kõrgesaagiline talitüüpi laia ökoloogilise amplituudiga taim. Ta ei anna generatiivvõsusid, seetõttu jääb saak esimesel aastal suhteliselt väikseks. Järgmistel kasutusaastatel on ta väga kiire kevadise kasvuga (võrsumisest loomiseni keskmiselt 2,4 cm ööpäevas). Külvisenorm puhaskülvis on 33 kg/ha. Mullastiku suhtes pole roog-aruhein nõudlik, kuid ei talu üleujutusi. Saagikuselt võrreldav päiderooga.

Roog-aruhein on heade tehnoloogiliste omadustega liik, mis ei lamandu ning

mille lehed ei kuhtu märgatavalt isegi hilissügisel. Suur lamandumiskindlus on tingitud suhteliselt jämedast kõrrest.

Roog-aruhein reageerib hästi lämmastikväetisele. Eestis võiks roogaruhein kujuneda kõikehõlmava kasutusega heintaimeks. Kasvatamiseks soovitatav sort on varase kasvualgusega "Zapadnaja" [11, lk. 28...31].

Ida-kitsehernes on liblikõieline sammasjuurne rohttaim, mis levib ja paljuneb ka vegetatiivselt maa-aluste võsundite abil. Maapealne osa moodustab rikkaliku võrsumise tõttu puhmaid. Puhmaste varred on püstised, nende pikkus sõltub kasvutingimustest, ulatudes kuni 2 meetrini. Külgharud asetsevad varre keskmises ja ülemises osas. Ida-kitsehernes on vormirikas ja hea lehistusega taim.



Joon. 3. Galega juurestik [12, lk. 7].

Külviaastal on ida-kitsehernes aeglase algarenguga. Külviaasta sügisel ei ületa taimede kõrgus isegi katteviljata külvides 40...50 cm. Maksimaalse produktiivsuse saavutavad taimed teisel ja kolmandal kasutusaastal. Ida-kitsehernes eelistab aluselisi saviliiv- ja kergeid liivsavimuldi, kuid ei ole mulla suhtes üldiselt eriti nõudlik. Talle ei sobi seisev pinna- ja kõrge põhjavesi. Põuda ja talvekülma talub hästi, kuigi õitsemisaegsed öökülmad vähendavad seemnesaaki.

Kuna ida-kitsehernes on liblikõieline, aitab selle kasvatamine tõsta mulla

viljakust. Muld rikastub orgaanilise aine ja lämmastikuga, paraneb puhastumine umbrohtudest, takistub tuule- ja vee-erosioon. Ida-kitsehernes jätab juurejäänustena mulda rohkem orgaanilist ainet kui teised põldheinaliigid. Aja jooksul tekib tal järjest rohkem noori juuri ja võsundeid, samas kui vanad hääbuvad (joon. 3). Nii suureneb juurejäänuste mass ja lämmastiku kogus mullas. Keskmiselt koguneb aastas mulda 7 t/ha juuremassi. Juurte arvel annab ida-kitsehernes 30 cm paksuses künnikihis aastas mulda lämmastikku 170...396 kg/ha, fosforit 45...80 kg/ha ja kaltsiumit 94...113 kg/ha olenevalt mullastiku tüübist [13, lk. 82]. Katsed näitavad, et ida-kitsehernes jätab väga lämmastikurikka mulla, mis rahuldab teraviljade vajadused täielikult. Samuti on ida-kitsehernes hea eelkultuur kartulile, mugulasaak hektarilt on kartulisordist sõltuvalt 49,8...85 ts võrra suurem kui teravilja järel.

Kasvatamiseks soovitatav sort on "Gale" [11, lk. 17...19].

4.2. Energiataimede kasvutingimused

4.2.1. Looduslikud kasvutingimused

Eesti klimaatilisi tingimusi mõjutab intensiivne tsüklonaalne tegevus Atlandi ookeani põhjaosas ja Läänemere vahetus läheduses. Üldine vegetatsiooniperiood, mil temperatuur on üle +5 °C, kestab meil 170...180 päeva. Aktiivse vegetatsiooni perioodil tuleb sademeid mandri-Eestis 275...330 mm, saartel ja lääneranniku 220...275 mm. Sademete summad kõiguvad suuresti. Sageli on väheste ja liigsademete perioode, mis halvendavad taimede kasvutingimusi ning raskendavad külvi- ja koristustöid.

Sageli võib esineda teraviljadel ja mitmeaastastel heintaimedel mitmesuguseid talvekahjustusi nagu vettimine, haudumine, külmumine jms. Taimede soojus- ja veerežiim sõltuvad suuresti mullast; selle tüübist, erimist, lõimisest reljeefist jt. omadustest.

Eesti mullastik on küllaltki mitmekesine. Haritava maa boniteet kõigub

10...95 hindepunkti piires. Kõrgema boniteediga on kultuuristatud, põhiliselt kamar-karbonaatmullad Kesk-Eestis [14].

4.2.2. Agrotehnilised kasvutingimused

Sageli on väikese saagi põhjuseks puudulik mullaharimine ja umbrohtunud põllud. Mullapinna tasandamist heintaimede külviaasta kevadel ja umbrohtude hävitamist soodustab hoolikas sügiskünd ja kõrrekoorimine. Eelkoorlite kasutamine sügiskünnil aitab parandada mullaharimise kvaliteeti, eriti juurumbrohtude hävitamist.

Mineraalmuldi küntakse huumushorisondi sügavuselt või 2...3 cm sellest allapoole. Turbamuldi küntakse 25...35 cm sügavuselt. Sellele järgneb 2...3 kordne randaalimine ja libistamine.

Mineraalmuldade kevadiseks harimiseks sobib kultivaator agregaadis äketega, kergetel muldadel võib kasutada ka üksnes libisteid ja äkkeid. Heinaseemnekülviks peab ettevalmistatud maal olema kobe ainult pindmine, 2...3 cm paksune mullakiht. Ülemäärane ja sügav kevadine mullaharimine põhjustab põllul taimede vahele tühikuid.

Külvieelse mullaharimise eripäraks on põllu tasandamine, mullapankade peenestamine, mulla õhukeselt kobestamine ning enne ja pärast külvi antud mullatüübile ja niiskusele sobiva raskusega rullimine. Rullimise vajadus on suurem kergetel muldadel ja turbamuldadel. Rasked mullad võivad pärast tugevaid vihmasadusid muutuda liiga tihedaks, sellisel juhul haritakse neid raskete pulkäketega või kultivaatoriga agregaadis äketega.

Enne külvi tuleb ka seemned ette valmistada. Liblikõieliste seemneid töödeldakse enne külvi liigispetsiifilise mügarbakterikultuuriga, st. inokuleeritakse.

Oluline on külviaegadest kinni pidada, seda eriti taimede puhul, mille algareng on aeglane, nagu päiderool ja ida-kitsehernel [11, lk. 88].

4.3. Mullaharimine

4.3.1. Üldosa

Mullaharimine on mulla tehniline töötlemine vastavate masinate ja riistadega soodsamate taimekasvutingimuste eesmärgil.

Kultuurtaimede normaalseks kasvuks on vaja valgust, soojust, soodsat vee-, õhu- ja toiterežiimi, umbrohupuhast põldu ning neid kõiki on võimalik mullaharimisega suuremal või vähemal määral reguleerida. Mullaharimine aitab tõrjuda ka taimehaigusi- ja kahjureid.

Mullaharimise konkreetsed ülesanded on:

1. künnikihi pööramine,
2. mulla-, vee- ja õhurežiimi reguleerimine mulla peenestamise ja kobestamise teel,
3. mulla puhastamine umbrohtudest,
4. väetiste muldaviimine,
5. mullapinna tasandamine ja tihendamine [15].

4.3.2. Sügisene harimine

Eelkõige sõltub sügisene mullaharimine kultuurist, mille alt põld vabaneb, samuti põllu kultuurseisundist ja umbrohtumisest.

Klassikaliselt koosneb sügisene harimine kahest võttest: koorimisest ja sügiskünnist.

Koorimise otsene ülesanne on umbrohtude maapealsete organite assimilatsiooniaparaadi hävitamine ja seda eriti vegetatiivselt paljunevate umbrohtude osas. Teiseks provotseerib koorimine umbrohuseemneid idanema. Viimase väljakurnamise printsiibil põhineb vegetatiivselt paljunevate umbrohtude tõrje.

Põldu peaks koorima kohe peale vilja alt vabanemist, sel juhul on tulemused parimad. Koorimine on oma ülesande täitnud juhul kui põld jääb pärast seda

mustaks, s.o. umbrohupuhtaks.

Kui muld on vajaliku niiskusega, tärkavad augustis kooritud põllulumbrohud tavaliselt 10...15 päevaga. Koorimine on efektiivne ainult koos sügavkünniga ühtses süsteemis. Assimilatsiooniaparaadi hävitamiseks on küllaldane kui kooritakse vaid 5...6 cm sügavuselt. Kuna põllu mikroreljeef ei ole alati tasane, tuleb soovitavaks pidada siiski 8...10 cm sügavust koorimist.

Koorimisriistadena kasutatakse hõlm- ja ketaskoorleid ning randaale. Suurima jõudlusvõimega on ketaskoorel, kuid kõvas ja kamardunud pinnases ei suuda see küllaldaselt mulda tungida ning jätab seepärast vahele harimata ribasid. Sellisel juhul teeb parema töö hõlmkoorel või randaal, eriti raskem tüüp [15].

4.3.3. Külvieelne harimine

Külvieelne harimine on sügisese mullaharimise loogiline järg. Seetõttu saab kevadisest süsteemipärasest mullaharimisest rääkida ainult juhul, kui sügisene harimine oli süsteemikohane.

Kevadisel külvieelsel mullaharimisel on täita konkreetsed ülesanded, mis tulenevad külvatavate kultuuride bioloogilistest nõudmistest, mulla omadustest ja ilmastiku iseärasustest, iseäranis aga põldude mulla füüsikalistest omadustest (kerged, keskmised või rasked mullad).

Mullaharimist alustatakse varakevadel kui põld on tahenenud sedavõrd, et kannab traktorit ja harimisriistu ning muld juba pudeneb. Harimist alustatakse kultivaatoriga, mis on agregaadis äketega.

Kui on tegemist väga erineva lõimisega põldudega, ei saa neid harida samal ajal. Vältimaks edasist suurt veekadu, peaks veel harimata põlde libistama, sellega välditakse ka mulla pankakuivamise ohtu. Libistamiseks saab kasutada väiksemaid ja kergemaid traktoreid. Edasi jätkub töö eelpoolkäsitletud agregaadiga, mis koosneb kultivaatorist ja äketest (vajaduse korral lattlibistist) [15].

4.3.4. Külvikord

Külvikord on pikemaks ajaks etteplaneeritud põllumajanduskultuuride paiknemise ja järgnevuse süsteem. Külvikord mõjutab taimede kasvutingimusi otseselt ning mulla viljakuse kaudu. Samuti mõjutab külvikord maaviljelustööde sisu ja mahtu ning nende organisatsioonilist külge.

Külvikord peab võimaldama maa tootmisvõime maksimaalset ärakasutamist antud looduslikes tingimustes. Samal ajal peab külvikord looma võimalused mulla viljakuse tõusuks. Õige külvikorra rakendamisel mulla füüsikalised, keemilised ja bioloogilised omadused ei halvene, pigem isegi paranevad [15].

4.4. Umbrohutõrje

Umbrohud on taimed, mida ei kultiveerita, kuid mis on kohanenud kultuurtaimede kasvutingimustega, kasvavad nendega koos ning vähendavad saaki. Umbrohud varjavad kultuurtaimi ja võtavad neilt kasvuruumi, juba taimede kasvu esimestel etappidel algab konkurents ruumi ja valguse pärast.

Umbrohi vähendab mulla niiskust, tema veetarve ühe ühiku kuivaine moodustamiseks on tihti suurem kui kultuurtaimedel, kuna enamasti umbrohtudel on tugev juurestik ja suur lehepind, seega ka suur aurumine. Et vee aurustamiseks tarvitatakse sooja, alandavad umbrohud mulla temperatuuri. Lehestik varjab ka mulla pinda, mistõttu päikesekiired soojendavad mulda nõrgemini.

Umbrohi raskendab mullaharimis- ja koristustöid. Näiteks hariliku orasheina risoomiga tugevasti läbipõimunud mulla künnil on veojõukulu 30% suurem kui muidu.

Põldudel sagedamini esinevad umbrohud kasutavad rohkesti fosforit, kaaliumi ja lämmastikku, vaesustades sellega mulda ning konkureerides kultuurtaimedega.

Paljudel juhtudel põhjustab umbrohi kultuurtaimede lamandumist, seega suurenevad saagikaod.

Umbrohutõrjena käsitletakse võtteid, mis on suunatud umbrohu otsesele hävitamisele või selle leviku tõkestamisele.

Umbrohtumist ärahoidvatest abinõudest on tähtsamad:

1. umbrohuseemnepuhas ja kvaliteetne külvis,
2. idanemisvõimeliste umbrohuseemnetega sõnniku ja komposti põllule sattumise vältimine,
3. väljaspool põlde kasvavate umbrohtude hävitamine ja tühikute kaotamine põllul.

Kõik abinõud, mis soodustavad kultuurtaimede kasvu, on ühtlasi umbrohtude tõrjeabinõud. Olulisim selles vallas on õige mullaharimine. Õige külviaeg, õige külvimäär ja -viis aitavad kujundad normaalse taimkattetiheduse, olles samuti survetõrjeks.

Kultuuride otstarbekohane järjestus külvikorras on võimas tõrjeabinõu, kuna erinevad umbrohuliigid kasvavad koos erinevate kultuurtaimedega. Seetõttu samade kultuuride korduv kasvatamine soodustab, vaheldus aga takistab umbrohtude levikut.

Mehhaanilise (ka agrotehniline) tõrje all mõistetakse peamiselt mullaharimisvõtteid, mis on suunatud umbrohtude hävitamisele. Mehhaaniline umbrohutõrje rajaneb kahel bioloogilisel põhimõttel:

1. seemnete idanema provotseerimine ja järgnev tärganud taimede hävitamine,
2. taimede väljakurnamine.

Mehhaanilise umbrohutõrje ülesandeks on takistada umbrohtudel varuainete kogumist ja takistada neid suve lõpul napiks jäänud varusid intensiivsemalt kulutama uute lehekodarike moodustamiseks. Selleks hävitatakse viljakoristuse järel umbrohu rohelised maapealsed osad kui mullas on veel küllalt niiskust ja soodne temperatuur bioloogilisteks protsessideks.

Energiataimede põldudel võiks umbrohtu korduvalt maha niita.

Energiataimed, eriti ida-kitsehernes on külviaastal aeglase kasvuga, seetõttu jõuab umbrohi neist kasvus tunduvalt ette. Niita tuleks kaks korda, selliselt kõrgustelt, et ei vigastataks oluliselt energiataimi. Suve lõpus on kultuurtaimed juba suuremad ja kiirema kasvuga ning võimelised ise umbrohtu lämmatama. Külvijärgsetel aastatel on energiaheina kasv kiire ja umbrohtudega enam probleeme ei teki [15].

4.5. Väetamine

Mida paremini on heintaimed toitainetega varustatud, seda vastupidavamad on nad ebasoodsatele tingimustele: talvekindlus on suurem, põua korral on saagilangus väiksem jms. Soodsa väetamise puhul on heintaimede kasutusiga tunduvalt pikem kui toitainete nappuse korral.

Väetiste vajadus sõltub rohukamara tüübist, mulla toitainetesisaldusest ja kasutuse intensiivsusest. Väetamise teeb keerukaks see, et erinevatel taimeliikidel on erinevad nõuded toiteelementide suhtes.

Külvi eel väetatakse põlde orgaaniliselt ja mineraalväetistega. Happelist mulda tuleks enne külvi lubjata, kõrreliste kamarate rajamise eel on soovitav anda ka lämmastikväetisi. Liblikõieliste taimiku rajamisel ei või külviaastal lämmastikväetisi kasutada.

Mineraalväetisi on õige kasutada väetistarbekaardi või maadelt võetud mullaproovide alusel, lähtudes orienteeruvatest mineraalväetiste normidest. Mikroväetiste kasutamisel lähtutakse samuti mullaanalüüside tulemustest [15].

5. BIOENERGIA KASUTAMINE

5.1. Bioenergia enamuuritud kasutusvõimalused

5.1.1. Biodiisel

Biodiislit valmistatakse taimeõli baasil. Taimeõlide füüsikalised ja keemilised omadused vastavad kütteõli ja diislikütuse omadustele [2, lk. 13]. Rapsi- ja rüpsiõli saab kasutada kahel moel: tavalise õlina, mis nõuab erikonstruktsiooniga, nn. Elsbett-mootorit või biodiislina, mis sobib tavalistele mootoritele. Viimane variant on soovitatavam, kuna töötlemata toorõli on diislikütusest viskoossem ja seega sobib mootorile halvemini.

Biodiislit toodetakse katalüsaatorite abil. Taimeõlides sisalduvad triglütseriidid muudetakse vähem viskoosseteks metüül- ja etüülestriteks. Võrreldes tavalise diislikütusega sisaldab biodiisli põlemisgaas vähem lämmastikoksiide, süsinikdioksiidi ja tahmaosakesi. Biodiisli põlemisgaasid sisaldavad 0,01% vähem vääveldioksiidi võrreldes diisliga.

5.1.2. Etanool

Alkohole saab toota kõrge tärklise- või suhkrusisaldusega taimedest. Suhkur pestakse kuuma veega välja ja fermenteeritakse etanooliks, tärklis enne fermenteerimist lagundatakse. Alkoholitootmise jääke saab kasutada biogaasi valmistamiseks.

Etanooli võib toota ka tselluloosi sisaldavast materjalist, nagu puit, heintaimed, põllu- ja metsamajanduse jäätmed. Puit ja heintaimed oleksid toorainena odavad, kuid nende kuivaine koosneb kolmest komponendist - tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist ning on raskesti töödeldav.

Puhta etanooli kasutamine mootorikütusena nõuab lisaseadmeid, seetõttu on praegu eesmärgiks kasutada alkoholi segus bensiiniga.

Alkoholide kasutamine bensiinilisandina on seotud probleemidega, kuna nad seovad vett ja võivad bensiinist separeeruda. Metanooli kasutamine on problemaatiline korrosiooni tekke ja mootoridetailide vastastikuse hõõrdumise seisukohalt. Plussiks on atmosfääri juhitavate põlemisjääkide vähenemine.

5.1.3. Tahked kütused

Tahke kütuse põletamine on levinuim moodus toota biomassist energiat. Tahke kütus koosneb põlevainest ja mittepõlevast osast. Mittepõleva osa moodustavad tuhk ja vesi. Põletatava materjali keemilised omadused määravad kütuse küttevääртuse s.o. kütuse massiühikust põletamisel saadava energiahulga. Põlemist mõjutavad ka kütuse tihedus, niiskus, kuju ja suurus. Väikesed ja kuivad osad põlevad kiiremini ning annavad kõrgemat temperatuuri kui suured ja niisked.

Põhk on tänapäeval täiesti arvestatav kütus, millega on siiski seotud mõningaid probleeme, näiteks selle suur maht, mis teeb ladustamise ja transpordi kalliks. Vahetult peale koristamist on põhk tihti niiske, tema küttevääртus on kuiva põhuga võrreldes madalam. Samuti on niiske põhu säilivus halvem. Neid puudusi saab vähendada kui töödelda põhk brikettideks või graanuliteks.

Viljaterade kuivaine küttevääртus on lähedane puidule või põhule. Teri võib põletada tervelt või jahvatatult. Terade vahetu kasutamine kütusena on aga küsitav, sest toiduainete põletamist peetakse ebaeetiliseks. Selliseid probleeme ei tekita teraviljast valmistatud etanooli kasutamine mootorikütusena.

Taimed, mida kasvatatakse kui energiaheina, sarnanevad omadustelt põhuga. Need on taimed, mille on suur kuivainesaak. Nad on tugeva varrega, vältimaks taimede lamandumist sademete toimel. Enimuuritud energiahein, mis ka Eestis kasvab, on päideroog. Käesolevas töös on kasutatud Soomes läbiviidud päideroo-alaseid uurimusi. Lääne-Euroopas kasvatatakse kohati *Miscanthus sinensis*'t, mille kasvatamisvõimalused Eestis on hetkel ebaselged.

5.1.4. Biogaas

Biogaasi toodetakse biomassist anaeroobsete mikroobide abil. Protsessis osalevad mitut liiki bakterid, selle tagajärjel moodustuvad mitmed orgaanilised happed, vesinik, süsinikdioksiid ja vesi. Neid aineid kasutavad edasi metanogeensed bakterid. Protsesi lõppsaaduseks on metaan, süsinikdioksiid ja vesi. CO_2 on jääkprodukt, mis alandab gaasi kütteväärtust.

Orgaanilise aine koostisest sõltub selle lagunemiskiirus, saadava gaasi kogus ja koostis. Süsinikhüdraatidest moodustub CH_4 ja CO_2 suhtes 1:1, rasvast 7:3 ja valgust 8:2. Saavutamaks protsessi optimaalset kiirust, peab keskkonna temperatuur olema üle 30 °C.

Taimse biomassi lagundamise tehnoloogiad on erinevad; eristatakse ühekordset ja jätkuvat lagundamist. Ühekordse protsessi korral täidetakse lagundamiskamber töödeldava materjaliga ning protsessi lõppedes tühjendatakse. Jätkuva protsessi puhul lisatakse algsele materjalile pidevalt uut.

Biogaasi on võimalik komprimeerida ja ühtlasi eraldada CO_2 ja H_2S. Gaasi kütteväärtus on madal (umbes 12% bensiini kütteväärtusest [2, lk. 18]), seega on otstarbekas põletada seda tootmiskoha lähedal.

5.2. Kütuste omadused

5.2.1. Kütuse füüsikalised omadused

Kütuse niiskus.

Heintaimedest energia saamiseks on praegu otstarbekaim neid koldes põletada, tootmaks soojusenergiat. Seoses sellega on energiaheina niiskusesisaldus oluliseks probleemiks. Energiaheina niiskus sõltub kasvukohast ja koristuspäeva ilmast. Ideaalsel luhul on koristatud hein sedavõrd kuiv, et ei vaja täiendavat kuivatamist.

Kütuse niiskus jaguneb väliseks ehk mehhaaniliseks ja sisemiseks ehk hügroskoopseks niiskuseks - see on niiskus, mis sisaldub kütuse analüütilises

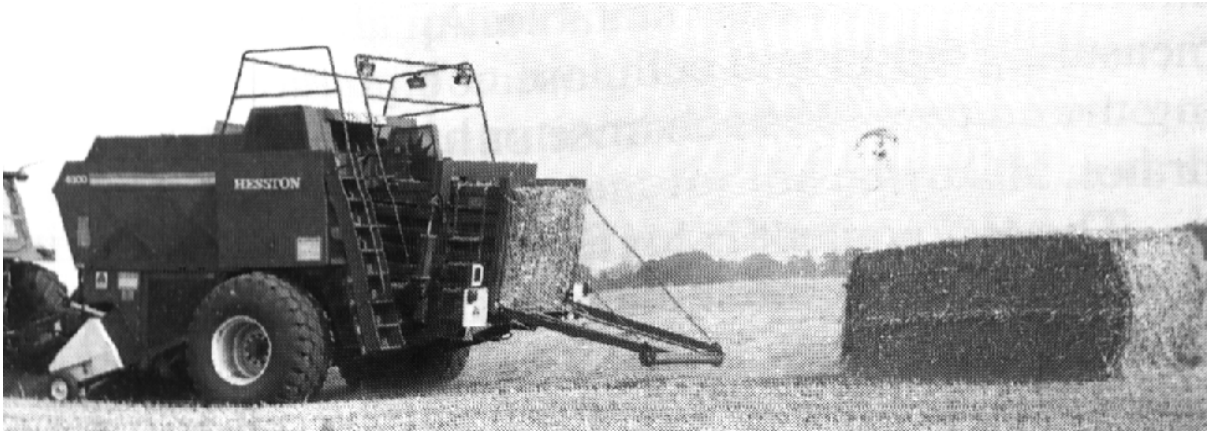
proovis temperatuuril 20 °C (±1 °C) õhu suhtelise niiskuse 65% (±5%) juures. Väline niiskus eemaldub loomulikul kuivatamisel õhus. Hügroskoopse niiskuse hulk sõltub kütuse sisemisest struktuurist ja eraldub täielikult kütuse kuumutamisel üle 100 °C.

Saagiks saadav kuivainekogus sõltub ka koristamise ajast. Näiteks päideroog saavutab täisküpsuse augusti esimesel poolel, niskusesisaldus on siis umbes 65%. Energiaheinaga sarnase põhu koristusaeg algab augusti keskel, kui põhu niiskus on 30...60%. Peale vihma on põhu niiskus 75...82%. Heades tingimustes kuivab põhk paari päevaga 25%-ni [2, lk. 52].

Kõrge niiskusesisaldus avaldab negatiivset mõju heina küttevääртusele, kuna osa energiat kulub kütuses oleva vee aurustamiseks samuti ka heina säilitamisele. Kuna heina koristatakse kevadel või sügisel, on säilitamisaeg vähemalt 6 kuud. Liiga niiske hein hakkab soojenema ja hallitama. Liiga niiske kütuse põlemisprotsess on aeglane, kuna soojussiire kütuse erinevate osade vahel on halb.

Kütuse kuju.

Kõrrelistega kütmisel tekivad probleemid, mis on tingitud kütuse suurest



Joon. 4. Suurkantpallide valmistamine [16, lk. 12].

mahust ja pudenevusest. Seetõttu kogutakse hein pallidena või hekseldatuna.

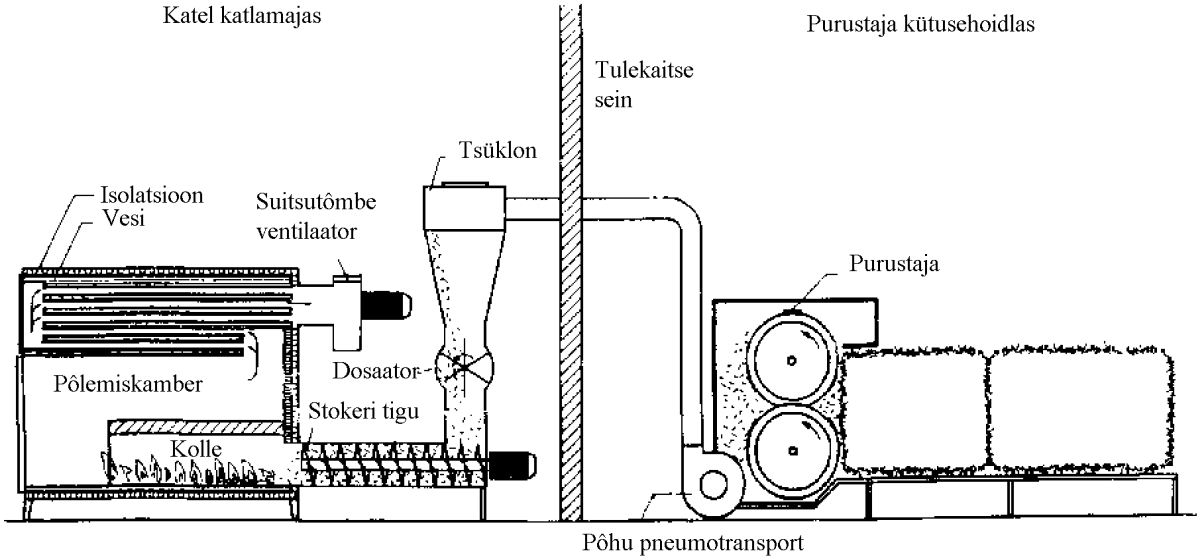
Enamtuntud palle on kolme liiki: suurkantpallid (joon. 4.), rullid (joon. 5.) ja väikepallid. Heina tihendamine nõuab küll energiat, kuid transpordi- ja

säilituskulude vähenemine ning võimalus mehhaniseerida kütuse etteandmist

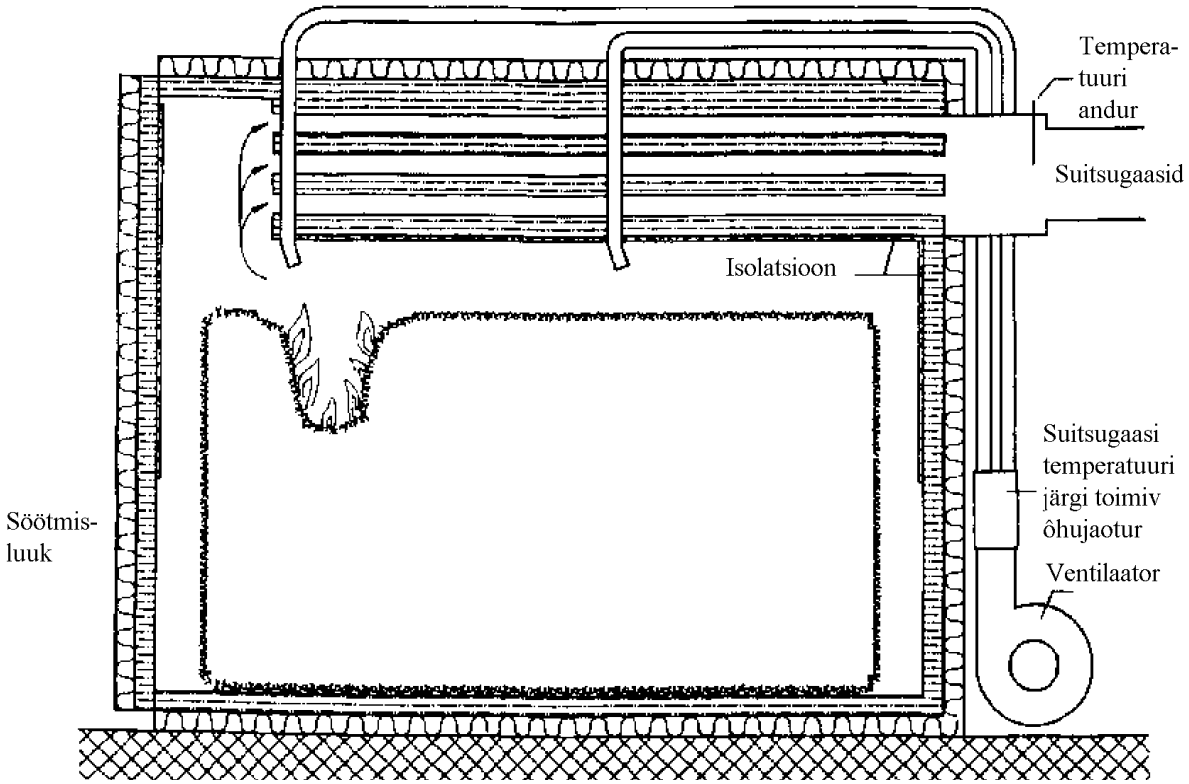
Joon. 5. Rullide valmistamine [16, lk. 12].

koldesse tasuvad ära.

Heina saab pressida brikettideks ja graanuliteks või jahvatada. Brikettide tihedus on 300...550 kg/m^3, graanulitel 450...750 kg/m^3 [2, lk. 55]. Jahvatamisel saadakse kütuse tiheduseks 220...240 kg/m^3, mis ei ole suur, kuid jahvatatud heina saab põletada samades kolletes, kus põletatakse jahvatatud puitu, sütt ja turvast, aga on konstrueeritud ka seadmed heksli ja tervete pallide põletamiseks (joon. 6 ja joon. 7).



Joon. 6. Katel hekseldatud energiaheina pôletamiseks [16, lk. 17].



Joon. 7. Tervete pallide pôletamise katel [16, lk. 16].

5.2.2. Kütuse keemiline koostis

Biomassi keemilise koostise määravad tema liik, kasvupinna toitainesisaldus

ja koristamise aeg. Kasvupinna toitainesisaldus sõltub omakorda väetamisest. Keemiline koostis ja niiskusesisaldus määravad biomassi küttevääртuse. Biomass koosneb põlevast ja mittepõlevast osast. Põlevosa jaguneb lenduvateks aineteks ja süsinikuks, mittepõleva osa moodustavad tuhk ja vesi. Lendosa on biomassis palju, põhus näiteks 70...80%.

Biomassi põletamisel osalevad põlemisprotsessis süsinik, vesinik, väävel ja hapnik. Hapnikusisaldus vähendab põlemisõhu tarvet. Ülejäänud komponendid on põlemise seisukohalt vähetähtsad või kahjulikud. Nii on näiteks väävel kütusele kahjulik komponent, kuna tema põlemisel eraldub umbes 3,5 korda vähem soojust kui süsiniku põlemisel. Pealegi ühineb peale põlemist osa väävlit veeauruga ning läheb suitsugaasidesse väävelhappe aurudena. Nende kondenseerumine madalatemperatuurilistele küttepindadele põhjustab viimaste intensiivset korrodeerumist.

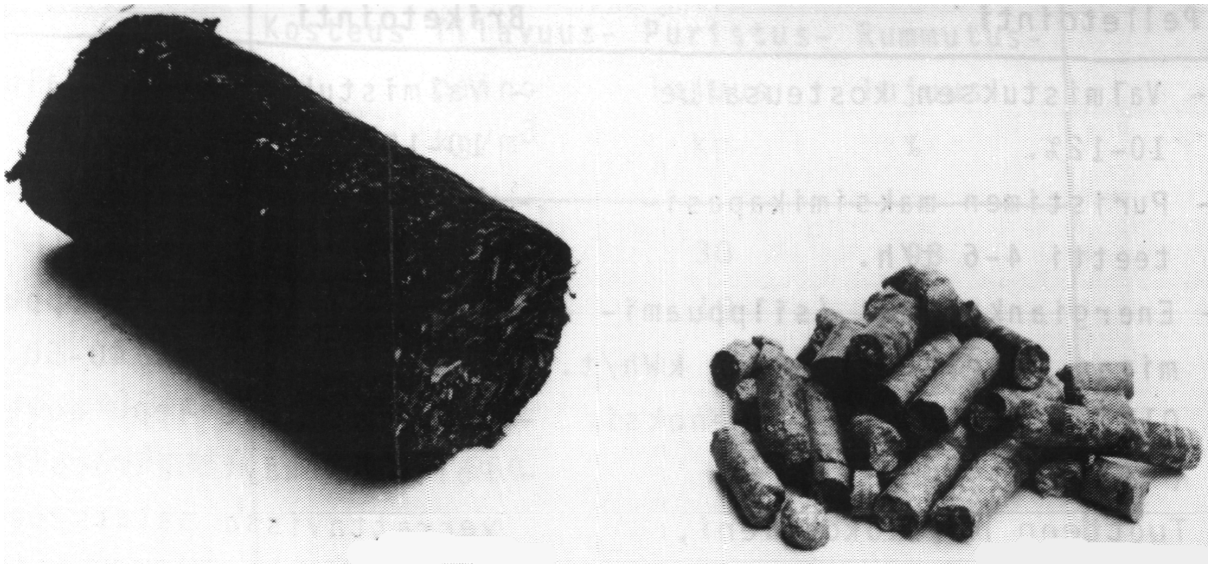
Veel sisaldab hein kloori, naatriumi ja kaaliumi, mis on samuti kahjulikud. Kloor põhjustab korrosiooni, põhus on selle sisaldus 0,14...0,97% [2, lk. 58]. Naatrium ja kaalium alandavad tuha sulamistemperatuuri. Põhu naatriumisisaldus on 0,01...0,6 ja kaaliumisisaldus 0,69...1,35% [2, lk. 58].

6. ENERGIAHEINA KASUTAMINE

6.1. Pressitud energiahein

6.1.1. Granuleerimine ja briketeerimne

Heina energiakasutust piirab odavate ja hästi töötavate väikekatelde puudus, kuna hein põleb teistes kohalikele kütustele mõeldud kateldes halvasti. See on põhjustatud heina märgatavalt väiksemast energiatihedusest, tuha suurest hulgast ja selle sulamisomadustest.

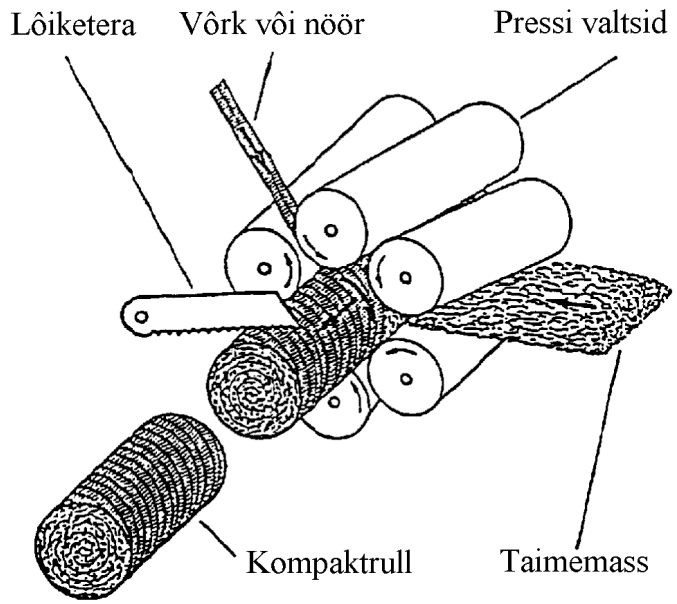


Joon. 8. Heinabrikett ja heinagraanulid [17, lk. 7].

Heinapallide edukas energiakasutus on mõeldav vaid selle jaoks ehitatud erikateldes. Sellised põhjalikult automatiseeritud ja ruuminõudvad põletusseadmed on aga nii kallid, et nende kasutamine on majanduslikult tasuv üksnes maaelamute ja talude normaalset soojustarvet ületavas tarbimises. Energiaheina edukam ja laialdasem energiakasutus eeldab heina töötlemist kütusegraanuliteks (joon. 8).

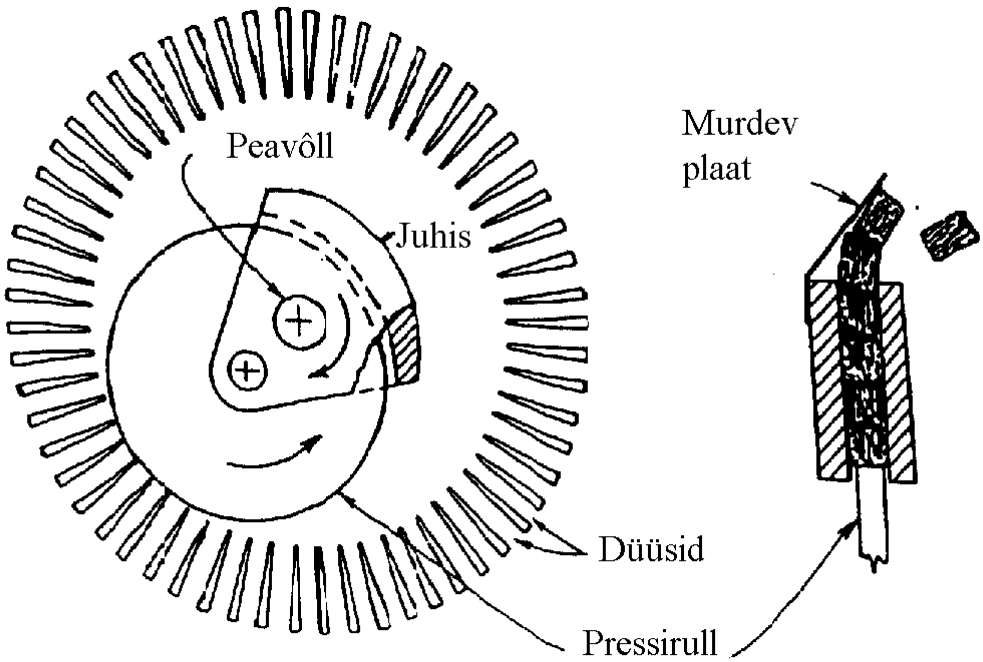
Heinagraanulite kasutamine vähendab kulutusi põletusseadmetele, katlaruumile, kütuselaole ja kütmistööle. Kasuteguri suurenemise tõttu väheneb kütusevajadus.

Heina energiakasutuse suurim takistus on heina väike mahumass. Seetõttu on heina transport ja käsitlemine tülikas ja kallis; vajalikud on suured laopinnad. Hekseldatud ja pallitud heina põletamiseks kasutatavate erikonstruktsiooniga katelde ja kütuse etteandeseadmete soetamiseks on vaja suuri investeeringuid. Heina energiakasutuse suurendamise ühe lahendusena võiks kõne alla tulla selle töötlemine pressimise teel (joon. 9 ja joon.10), misläbi mahumassi saaks suurendada 50...90 kg/m³ kuni 500...700 kg/m³ [17] . Võrdlev hinnang on antud tabelis 1.



Joon. 9. Heinabriketeerija põhimõtteline tehniline lahendus [18, lk. 89].

Eestis on palju väikesi heinajahuagregaate, mis söötade ebasoodsa hinnakujunduse tõttu on lõpetanud tegevuse. Energiaheinagraanulite valmistamine võiks olla üks võimalus lõpuni kasutamata seadmete resursi äratarvitamiseks, mis võiksid olla kasutuses kuni 6 kuud aastas ja seda kahevahetuselises töös.



Joon. 10. Düüsidega granulaator [19].

Tabel 1. Granuleerimise ja briketeerimise võrdlev hinnang [17].

Granuleerimine	Briketeerimine
Valmistamisniiskus 10...12%	Valmistamisniiskus 10...15%
Pressi maksimaaltootlikkus 4...6 t/h	Pressi maksimaaltootl. 1...1,5 t/h
Energiatarve (hekseldamine, pressimine) 60...80 kWÅh/t	Energiatarve (hekseldamine, pressimine) 40...50 kWÅh/t
Hein hekseldatakse (<20 mm).	Sobib pikem heinaheksel
Toodangu tükisuurus on väike, automatiseerimine sobib	Põletustehnoloogia on võrreldav turba põletamisega
Sama tehnika sobib sööda-graanulite valmistamiseks	

6.1.2. Põhubriketi valmistamine Ungaris

Ungari põllumajanduse iga-aastane põhu ületoodang on ca 400...500 tuhat tonni, seda saaks kasutada energeetilistel eesmärkidel. 1990. aastal rajati Jaszdozsas briketeerimisseade tootlikusega 1 t/h. Ettevõte kasutab mitmesuguse kujuga põhupalle, mille niiskusesisaldus on alla 15%. Avamaalt toodud pallidel eemaldatakse käsitsi pindmine niiskunud kiht, mis ei moodusta kogumassist üle 3...4%.

Briketeerimisliin koosneb rebijast, veskist, ventilaatorist ja peenestatud põhu laost, lisaks kolmele pressile, millest kaks valmistavad briketti läbimõõduga 50 mm ja üks läbimõõduga 60 mm. Briketi tihedus on 1,2...1,25 g/cm³. Tootmisliini lõpus seisab karuselltüüpi pakkimisliin koos kaalumissõlmega. 1991. aastal ehitati veel kaks analoogilist briketeerimisseadmestikku [20, lk 197].

6.2. Heinagaas

6.2.1. Üldist

Generaatorigaas on arvestatav asenduskütus kriisiolukordades. Eriolukorras ei ole kütuse hinnal nii suurt tähendust, kui naftal baseeruvate kütuste vaba turu olukorras. Seniajani on uuritud generaatorigaasi ehk puugaasi kasutamist mobiilsete energeetikaseadmete kütusena ja ka statsionaarsete protsesside puhul. Seoses mitmeaastaste rohttaimede energiakasutusega võiks vaatluse alla tulla ka energiaheinast pressitud kütuse kasutamine gaasigeneraatori toiteks. Arvestada tuleb protsessis tekkiva tuha tunduvalt suurema koguse ja madalama sulamistemperatuuriga, võrreldes puidu kasutamisega.

6.2.2. Tööpõhimõte

Generaatorigaas (CO) valmistatakse gaasistis, kust see juhitakse filtri ja jahuti kaudu karburaatorisse. Seal valmistatakse gaasist ja õhust põlev segu, mis juhitakse mootorisse. Seade käivitatakse elektriventilaatoriga, mille abil saavutatatkse vajalik tõmme seniks, kui gaas ei ole veel kõlbulik mootoris kasutamiseks.

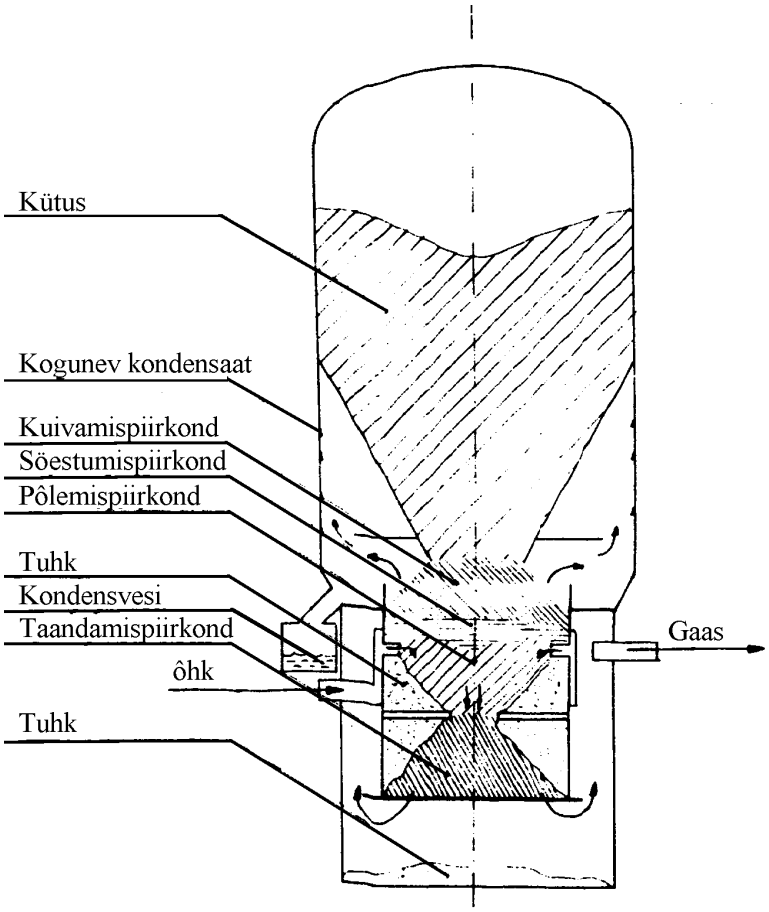
6.2.3. Kasutatav kütus

Gaasigeneraatoris kasutatakse kütusena sobiva tükisuurusega pressitud heina. Sobiv tükisuurus määratakse generaatori ehituse põhjal. Seade võib olla projekteeritud nii, et see toimiks ka hakkpuiduga. Kasutatav materjal olgu kuiv, niiskusesisaldusega 10...20%. Mida kuivem on kütus, seda paremini ta sobib

seadme toiteks.

6.2.4. Generaator

Gaas valmistatakse generaatoris (joon. 11) mittetäieliku põlemise tulemusena. Õhk juhitakse generaatori juurde põlemisõhu avade kaudu. Avade läheduses kütus põleb. Tekkiv soojus kuivatab ja paneb hõõguma põlemistsoonist kõrgemal asuva kütuse. Uus kütus laskub põlenu asemele kütusemahutist.



Joon. 11. Gaasigeneraatori tööpõhimõte.

Põlemistsoonis tekkinud gaas ja osa veeauru liigub koldest alla redutseerimistsooni, kus tekib hõõguv söekiht temperatuuriga 800...1000 °C.

Liikudes sellest piirkonnast läbi redutseeritakse süsihappegaas võrrandi:

$$C + CO_2 \quad 2CO \tag{4.1}$$

kohaselt vingugaasiks. Veeaur reageerib söega võrrandi:

$$C + H_2O \quad CO + H_2 \tag{4.2}$$

kohaselt vesinikuks ja vingugaasiks. Tekkiv gaas sisaldab seega vesinikku ja süsinikmonooksiidi ehk vingugaasi. Lisaks sisaldab gaas väiksemas koguses metaani ja raskemaid süsivesinikke, mis tekivad peamiselt tõrva lagunemissaadustest. Põlevatele komponentidele lisaks sisaldab gaas veel erinevaid mittepõlevaid komponente, nagu lämmastikku ja süsihappegaasi ja veeauru.

Tabel. 2. Heinast saadava gaasi koostis.

komponendi tähis	protsentuaalne sisaldus
CO	17...22 %
H_2	16...20 %
CH_4	2...3 %
C_nH_m	0.2...0.4 %
CO_2	10...15 %
N_2	45...50 %

Saadud gaasi kütteväärtuse saab määrata valemist [21, lk. 166] :

$$Q^{at}=358 \cdot CH_4+638 \cdot C_2H_6+108 \cdot H_2+126 \cdot CO+590 \cdot C_2H_4+234 \cdot H_2S, \tag{4.3}$$

$$Q^{at}=358 \cdot 2,5+638 \cdot 0,3+108 \cdot 18+126 \cdot 19=5,424 \text{ MJ/m}^3$$

Põlemise käigus tekkiv tuhk ja peenike söepuru varisevad läbi resti generaatori põhjale.

6.2.5. Mootorite kohaldamine

Otto- ja diiselmootorite ümberehitustööd erinevad omavahel teatud töömahu poolest, aga kui võrreldavastavaid mootoreid enne ja pärast rekonstrueerimist, on nende võimsuste muut erinev.

Ottomootorid.

Mootoris tehtavad muudatused on lihtsad ja kergesti sooritatavad. Mootori toitesüsteem varustatakse segistiga ning võimaluse korral ka abikarburaatoriga, mis võimaldab mootorit kasutada ka vedelkütusega.

Mootori eelsüütenurk seatakse varasemaks. Gaasisegu põlemiskiirus on väiksem kui bensiini-õhu segul. Kasutades mootorikütusena heinagaasi, saadakse mootori suurim võimsus 10...20° suurema eelsüütenurga abil. Kui mootori kompressiooniaste on madal, võib olla põhjust suurendada seda suhteni 1:9. Ottomootorist heinagaasiga saadav võimsus on vaid 50% vedelkütusega saadavast võimsusest.

Diiselmootorid.

Muutmaks diiselmootorit generaatorigaasiga töötavaks, on kaks võimalust:

- mootor muudetakse üksnes gaasiga töötavaks,
- mootor pannakse käima nn. diiselgaasipõhimõttel, mille puhul mootor tarvitab lisaks gaasile diislikütust 20...25% selle normaalsest kulust.

Erineva konstruktsioonitüübiga mootorid eeldavad erinevaid ümberehitusviise. Otsepritsega diisel on kergesti muudetav diiselgaasi mootoriks. Eel- ja pööriskambriga mootorid ei sobi hästi diiselgaasi kasutamiseks, vajalikud ümberehitustööd on liiga suured, otstarbekam on muuta mootor juba täielikult gaasil töötavaks. Turbodiislite ümberehitamisega seotud probleemid ei ole lõplikult lahendatud, vajaduse korral tuleb turbokompressor eemaldada [22].

6.3. Heinapulbri põletamine.

1993. aastal korraldati Rootsi Põllumajandusülikooli eestvedamisel päideroo põletuskatsed, kus taimemassi põletati pulbrilisel kujul. Peenestusseade valmistati puidupulbri veskist ja põletuskatsed viidi läbi reaalselt funktsioneerivas keskküttekatlamajas, mis oli algselt mõeldud vedelkütuse põletamiseks ja hiljem ümber ehitatud pulbristatud kütuste (süsi, turvas, oliiviseemned ja erinevate omadustega puidupulber) põletamiseks. Puidupulbri kasutamisel arendas katlamaja võimsust ca 30 MW, mis jagunes kahele katlale, kumbki ca 15 MW.

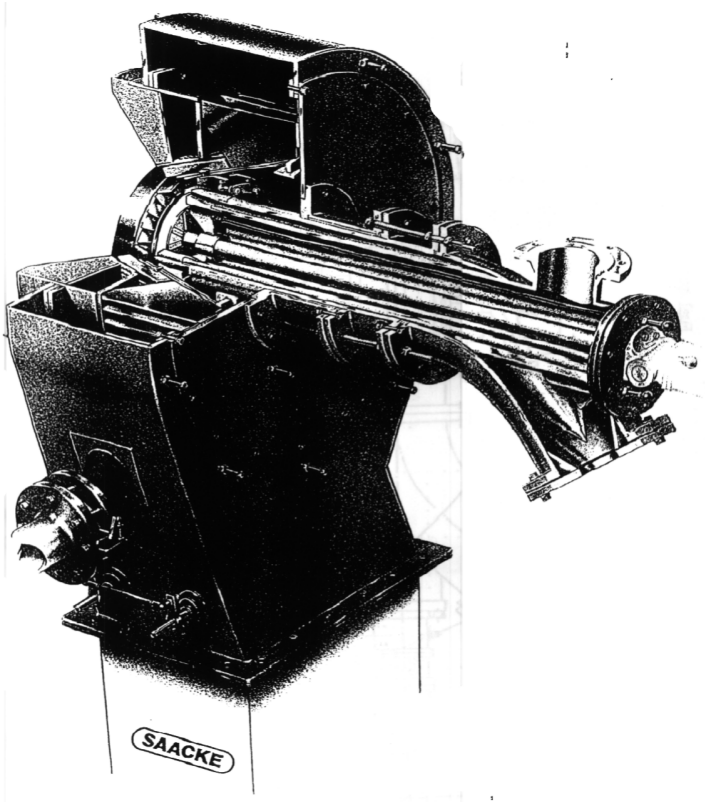
6.3.1. Jahvatuskatsetused.

Katsed näitasid, et kevadkoristatud ja põllul kuivatatud päideroogu saab jahvatada, käsitleda ja säilitada samal viisil kui puidupulbrit. Pulbri niiskuseks oli 8,4 % ja veski kuivatusefekt 1,4 %. Võrdluskütusena kasutatud puidupulberi niiskus oli 9 %, mis on normikohane katlas kasutamiseks.

Päideroo pulbris sisaldus peenmaterjali (väiksemad osad kui 0,25 mm) 42 %, mis oli ootamatult kõrge haamerveski 2 mm sõela kohta. Sama sõelaga töödeldud puidupulbris sisaldus 15 % peenmaterjali. Heinamaterjali purustamisel tekkisid käsitlusprobleemid, mis olid tingitud madalast tihedusest; tekkisid ummistused ja seetõttu muudeti pulbri jämedust.

6.3.2. Põletuskatsed

Päideroo pulber transporditi katlamajja paakautoga mööda maanteed ja säilitati lühiajaliselt enne edasist transporti põletite (joon. 12) juurde.



Joon. 12. Pulbrilise energiaheina põleti katlale [23].

Katseteks kulus 55 tonni päideroopulbrit, millest piisas umbes 9 tunniks tööks. Katla tööparameetrid olid sarnased puidupulbri põletamise parameetritega. Kuigi katse oli lühike, võib väita, et päideroo pulbrit saab põletada ilma katelt ümber häälestamata. See oli loodetust parem tulemus. CO-sisaldus põlemisgaasides oli suhteliselt stabiilne, keskväärtusega 0,15% 1,6% O_2 sisalduse juures. Seega on kasutegur suhteliselt kõrge, mis on ju positiivne näitaja.

Tulemused näitavad, et päideroog on põletamisomadustelt puiduga sarnane. Päideroo voolamisprobleeme on võimalik lahendada. Võib eeldada, et pulberkütuste süsteemid aksepteerivad kütusemuudatusi.

Tuha omadused.

Päideroopulber sisaldas kümme korda rohkem tuhka kui puidupulber. Heina tuhk oli suure ränisisaldusega, mis andis sademe katla mõningates piirkondades ja konvektiivpindadel. Tuhk ei avaldanud sulamise tendentsi, seega saab kasutatda

traditsioonilisi tahmaeemaldamisvõtteid. Tuha suure koguse tõttu oli probleeme selle eemaldamisega elektrifiltritest .

NO_x-heide.

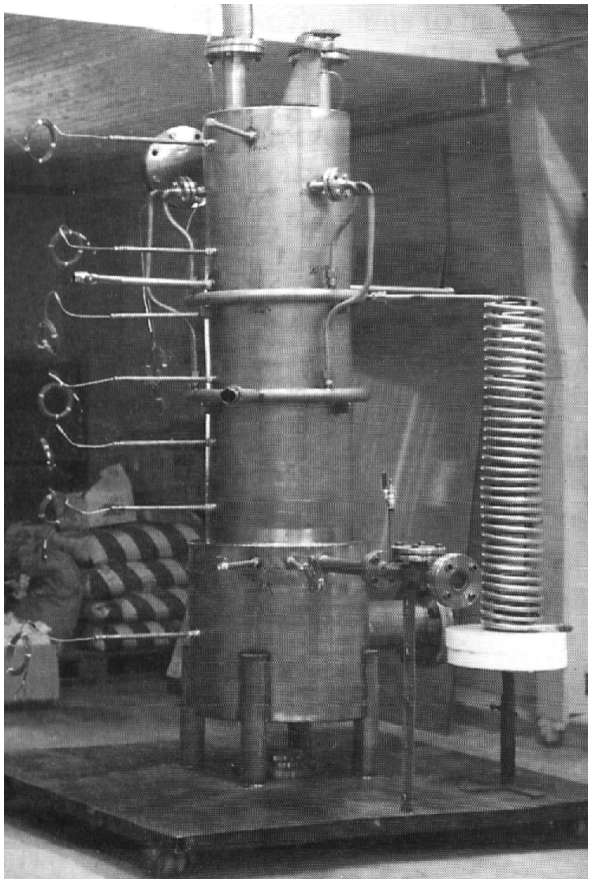
Päideroopulber andis eriti kõrge NO_x-heitme. 210...290 mg/MJ, kusjuures parimad puidupulbrid annavad 70...100 mg/MJ, mis on ilma katalüsaatorita pulberpõletuses väga madal näitaja. Päideroo lämmastikusisaldus on puiduga võrreldes suurem, kuid see pole ilmselt ainus seletus. Katla häälestatus vastava kütuse omadustele, konstruktsioon, kuju ja suurus ning põleti asukoht koldes avaldavad kõik mõju NO_x-heitele, samuti suurendab heidet peenkomponendi suur osatähtsus päideroopulbris. Põletuskatsed erineva struktuuriga puidupulbrite kasutamisel on andnud tulemusi mis kinnitavad viimatse väite paikapidavust. Peenmaterjal annab intensiivsema põlemisprotsessi ja seega põhjustab NO_x-i termilist moodustumist [23].

6.4. Energiaheina pürolüüs

Taani Tehnikaülikooli energeetikalaboratooriumis on juba alates 1980. aastast uuritud põhu gaasistamist ja pürolüüsi. Üheks selle laboratooriumi projektiks on olnud 50 kW soojusvõimsusega kombineeritud pürolüüs-gaasistus seade kus kasutatakse kaheastmelist protsessi.

Silindrikujulises pürolüüsireaktoris (joon. 11) kuumutatakse põhk 500...600°C kraadini ja muudetakse seeläbi koksiks, aurustunud tõrvaks ja põlevgaasiks. Kõik need komponendid on sobilikud teise astme reaktoris kasutamiseks. Laboratooriumis köetakse reaktorit elektriga, rakendustes saadakse soojust süsteemis töötava sisepõlemismootori heitgaasidelt. Reaktori ülaosast lisatakse ülekuumendatud auru ja õhku, millega süüdatakse teatud osa ebastabiilseid pürolüüsiprodukte. Tulemuseks saadakse energiat teise astme reaktorile. See kaheastmeline reaktor on tootnud 100 tunni vältel gaasi, milles pole tõrva ja mida

kasutati peale filtreerimist sisepõlemismootori toiteks [16].



Joon. 11. Laboratoorne pürolüüsireaktor [16, lk. 40].

7. KATSEKIRJELDUSED.

Katsed on korraldatud autori juhendamisel 1995. aastal diplomantide Toomas Tenno ja Valdur Vatmanni poolt, kes kasutasid saadud tulemusi ka oma diplomitöödes, millede teemaatikalt on tihedalt seotud käesoleva uurimusega.

7.1. Energiaheina niiskusesisalduse määramine.

Katse eesmärgiks oli määrata energiaheina kevadist niiskust Eesti tingimustes. Katseobjektiks oli ida-kitsehernes. Katse viidi läbi 11.04.1995.

Tabel 3. Ida-kitseherne niiskussisalduse määramise katse andmed ja töötlus.

	Proovi mass		Niiskuse määramine			
nr.	enne, g	pärast, g	Vahe, g	), g	Niiskus, %	), %
1.	655.70	581.47	74.23	19.23	11.32	0.99
2.	900.45	782.04	118.41	-24.96	13.15	-0.84
3.	456.75	407.19	49.56	43.90	10.85	1.46
4.	830.34	708.53	121.81	-28.36	14.67	-2.36
5.	678.53	602.33	76.20	17.25	11.23	1.08
6.	765.94	668.44	97.50	-4.05	12.73	-0.42
7.	857.33	739.88	117.45	-24.00	13.70	-1.39
8.	733.89	642.01	91.88	1.57	12.52	-0.21
9.	743.88	661.31	82.57	10.88	11.10	1.21
10.	889.11	784.20	104.91	-11.46	11.80	0.51
				keskmine	12.31	
				-ruutviga	1.20	

Kogumise päeval oli ilm päikesepaisteline ja kuiv. Taimed koguti EPMÜ Eerika katsepõllult lõuna ajal katselapi 10 erinevast osast ja pakiti eraldi hermeetiliselt. Järgnevalt materjal kaaluti, pärast kaalumist algas kuivatamine kuumutusahjus. Kuivatati 7 tunni vältel 110 °C juures, pärast mida materjal uuesti kaaluti.

Katseseadmed olid järgmised:

1. kaalud a) PH-10 13Y,
   b) B KT-500 -M.
2. kuumutusahi CHO -2,5.2,5.2,5./2M

Katse tulemused on esitatud tabelis 3.

Järeldus: Kuna antud katse tulemusena saadi heina niiskusesisalduseks 12,3%, võib väita, et Eesti oludes on võimalik koristada põletuskõlbulikku energiaheina otse põllult. Samuti sobib see näitaja Taani spetsialistide poolt pakutud põletamiskõlbuliku heina niiskusesisaldusega (10...25%) [24, lk. 9].

7.2. Energiaheina kütteväärtuse määramine.

Kütteväärtust määrati 1994. aastal EPMÜ Eerika katsepõllult kogutud ida-kitsehernel. Enne katset materjal kuivatati (vt. eelmise katse metoodika). Kütteväärtuse määras AS ELVI-Aqua.

Tulemused: ida-kitseherne alumine kütteväärtus oli Qa=16580kJ/kg.

Järeldus: Tulemus langeb samasse suurusjärku kirjanduses toodutega, on aga veidi väiksem. See võib olla tingitud ida-kitseherne bioloogilisest koostisest.

7.3. Ida-kitseherne tuhasisalduse määramine

Katse eesmärk oli selgitada milline kogus tuhka tekib ida-kitseherne

kasutamisel energeetilise toormena otsesel põletamisel. Katseks kasutati niiskussisalduse määramises kasutatdud materjali. Kevadel koristatud taimedel lehed olid talve jooksul varisenud ning taimne mass koosnes ainult tüüst. Katse viidi läbi aprillis, 1995. aastal.

Tabel. 4. Ida kitseherne tuhasisalduse määramine.

	proovi mass		Tuha määramine			
nr.	enne, g	pärast, g	vahe, g	), g	niiskus, %	), %
1.	581.47	534.49	46.98	5.93	8.08	-0.04
2.	782.04	715.10	66.94	-14.03	8.56	-0.52
3.	407.19	376.94	30.25	22.66	7.43	0.61
4.	708.53	661.77	46.76	6.15	6.60	1.44
5.	602.33	544.75	57.58	-4.67	9.56	-1.52
6.	668.44	614.16	54.28	-1.36	8.12	-0.08
7.	739.88	683.50	56.38	-3.46	7.62	0.42
8.	642.01	590.77	51.23	1.68	7.98	0.06
9.	661.31	606.16	55.15	-2.24	8.34	-0.30
10.	784.20	720.60	63.60	-10.68	8.11	-0.07
			52.92	keskmine	8.04	
				-ruutviga	0.73	

Katseseadmed:

elektriahi MA-2YM

kaalud PH-10 13Y, millega kaaluti taimi;

B KT-500 -M, millega määrati tuha mass.

Katse kirjeldus.

Taimne materjal põletati metallkastis. Kuna sellistes tingimustes ei toimu täielikku põlemist - kinnise põhjaga ruumis ei saa põletatav materjal piisavalt õhku

- jäi tahkete põlemisjääkide hulka ka palju põlemata orgaanilisi osakesi. Materjal tuhastati lõplikult elektrilises ahjus, mille võimsus on 2600 W ja maksimaalne temperatuur 1000 °C. Kuumutamise käigus orgaanilised ühendid lagunesid ja alles jäi mineraalsetest ühenditest tuhk.

Tulemused on toodud tabelis 4. Seega oli katses kasutatud materjali tuhasisalduseks 8,04%.

7.4. Ida-kitseherne tuha sulamistemperatuuri määramine

Tahke kütuse põletamisel on oluline teada tuha sulamistemperatuuri, kuna juhul, kui see on liiga madal, võib tuhk hakata sulama, sulanud tuhk omakorda kleepub kergesti müüritise külge ja pärast kivistumist on seda väga raske eemaldada.

Katseseadmed: elektriahi CYO -0,4.4/12,

plaatinaroodium-plaatinaroodium termopaarid P, mis oli ühendatud millivoltmeetriga.

Katse kirjeldus: tuha sulamistemperatuuri määramiseks kasutati eelmises katses saadud tuhka. Tuhk pressiti silindrikujuliseks briketiks mõõtudega 30x15 mm ja seda kuumutati elektriahjus, mille võimsus on 2500 W ning maksimaalne temperatuur 1250 °C. Temperatuuri teisendamisel kasutati tabeleid [25, tab. 15.2].

Katse tulemused:

1. temperatuuril 1150 °C algas briketi keskosa peenenemine,
2. 1170 °C algas briketi ülemiste servade ümardumine,
3. 1180 °C oli brikett omandanud ümara kuju,
4. 1190 °C valgus brikett laiali (sulamistemperatuur).

Seega võib tuha sulamistemperatuuriks lugeda 1190 °C. Temperatuuri 1150 °C ei saa täie kindlusega pehmenemistemperatuuriks lugeda, kuna pehmenemist ei saa visuaalselt kindlaks teha.

8. PÄIDEROO PÕLEMISPROTSESSI TEOREETILINE ARVUTUS

Kütuse põlemisprotsessi teoreetilises arvutuses jäetakse vaatluse alt kõrvale kütuses leiduvate ainete omavahelised seosed, põhitähelepanu on pööratud kvantitatiivsele koostisele. Arvutuse lähteandmed on toodud kuivaine protsentides vastavalt [2]

süsinik kuivaines, %	$C^k = 45.4$
vesinik kuivaines, %	$H^k = 5.8$
hapnik kuivaines, %	$O^k = 42.3$
väävel kuivaines, %	$S^k = 0.08$
lämmastik kuivaines, %	$N^k = 1$
kuivaine tuhasisaldus, %	$A^k = 5.4$
kuivaine kloorisisaldus, %	$Cl^k = 0.06$

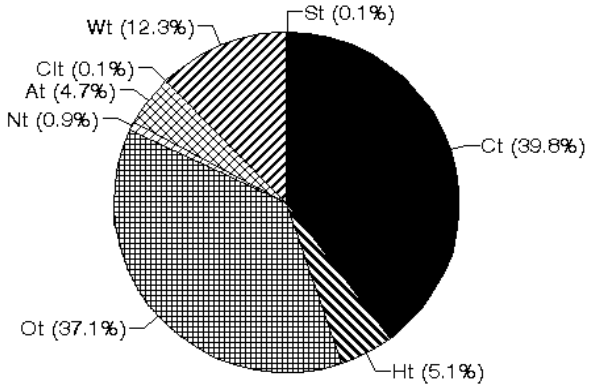
8.1. Tarbimisaine koostis

Lähtudes eeltoodud andmetest, arvutatakse teisendusteguri *n* abil kütuse tarbimisaine koostis (joon. 13) tarbimisaine niiskusele $W^t = 12{,}3\%$, mis on saadud käesoleva töö käigus kevadel koristatud taimemassi niiskuse määramisel (vt. osa 6).

$$n = (100-W^t)/100 \qquad n = 0{,}877 \qquad (8.1)$$

süsinik tarbimisaines, %	$C^t = C^k \cdot n; \quad C^t = 39{,}816$
vesinik tarbimisaines, %	$H^t = H^k \cdot n; \quad H^t = 5{,}087$

hapnik tarbimisaines, %	$O^t = O^k A n$;	$O^t = 37{,}097$
väävel tarbimisaines, %	$S^t = S^k A n$;	$S^t = 0{,}07$
lämmastik tarbimisaines, %	$N^t = N^k A n$;	$N^t = 0{,}877$
tarbimisaine tuhasisaldus, %	$A^t = A^k A n$;	$A^t = 4{,}736$
tarbimisaine kloorisisaldus, %	$Cl^t = Cl^k A n$;	$Cl^t = 0{,}053$



Joon. 13. Päideroo tarbimisaine koostis.

8.2. Küttevääртuse määramine

Eeltoodust lähtudes saab määrata analüütiliselt, kasutatdes Mendelejevi valemit [21], kevadkoristatud päideroo alumise küttevääртuse. Kütuse küttevääртuseks nimetatakse 1 kg kütuse täielikul põlemisel eralduvat soojushulka. Tehakse vahet ülemise ja alumise küttevääртuse vahel. Alumine küttevääртus on ülemisest küttevääртusest väiksem põlemisproduktides oleva veeauru kondenseerumissoojuse võrra [26]:

$$Q^t = 339\ C^t + 1030\ H^t - 109\ (O^t - S^t) - 25\ W^t \qquad (8.2)$$

$$Q^t = 339 A 39{,}8 + 1030 A 5{,}1 - 109(37{,}1 - 0{,}07) - 25 A 12{,}3 = 1{,}439 A 10^4 \text{MJ/kg};$$

Rootsi Põllumajandusülikoolis läbiviidud katsed on näidanud, et empiiriline valem põhu küttevääртuse määramiseks [26]:

$$Q^t=17,35-0,198 \cdot W^t$$

$$Q^t=17,35-0,198 \cdot 12,3=14,9 \text{ MJ/kg}$$

kõlbab tarvitatda ka päideroole ja isegi selle segule puiduga [28].

8.3. Põlemisõhu vajadus

Põlemiseks teoreetiliselt vajalikuks õhukoguseks nimetatakse õhukogust, mis on vajalik 1 kg kütuse täielikuks põlemiseks vastavalt keemiliste reaktsioonide stöhhiomeetrilistele vahekordadele. Teoreetiliselt tarviliku põlemisõhukoguse saab määrata vastavalt valemile [26]:

$$V_0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,265 \cdot H^t - 0,0333 \cdot O^t \quad (8.3)$$

$$V_0 = 3,655 \quad m^3/kg$$

Reaalsetes koldetingimustes ei ole teoreetilise õhukoguse juures kütuse täielikku põlemist võimalik saavutada. Seetõttu antakse kolletesse alati rohkem õhku, kui teoreetiliselt vaja on. Koldesse antava tegeliku õhukoguse suhet kütuse põlemiseks teoreetiliselt vajalikku õhukogusesse nimetatakse põlemisprotsessi liigõhuteguriks. Põlemisprotsess liigõhuteguri valik sõltub tervest reast suurustest, nagu kütuse liigist, põlemise moodusest, kolde konstruktsioonist jne. Seetõttu on siin valitud liigõhuteguri väärtuseks α=1,4. Seega saab määrata tegelikult tarviliku õhukoguse ühe kilogrammi tarbimiskütuse ärapõletamiseks [26]:

$$V = V_0 \cdot \alpha; \quad (8.4)$$

$$V = 5,116 \quad m^3/kg$$

8.4. Tekkivad suitsugaasid

Põlemisel tekkivate gaaside hulgad arvutatakse tahke ja vedelkütuse põletamisel 1 kg kütuse kohta normaaltingimustel. Süsihappegaasi kogus:

$$V(CO_2) = 0{,}01866 \cdot C^t; \qquad (8.5)$$

$$V(CO_2) = 0{,}743 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Vääveldioksiidi kogus:

$$V(SO_2) = 0{,}01866 \cdot S^t \qquad (8.6)$$

$$V(SO_2) = 0{,}001 \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

Suitsugaasis leiduva veeauru kogus leitakse:

$$V(H_2O) = 0{,}111 \cdot H^t + 0{,}0124 \cdot W^t + 0{,}0161 \cdot \alpha \cdot V_0 \qquad (8.7)$$

Valemi esimene liige määrab veeauru hulga, mis tekib vesiniku põlemisest, teine ja kolmas liige aga vastavalt veeauru koguse, mis läheb gaasidesse kütuse niiskuse aurustumisest ning koos põlemisõhuga (õhu keskmiseks niiskuseks on valitud d=10g/kg) [26].

$$V(H_2O) = 0{,}8 \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

Tegelik lämmastikuhulk põlemisgaasides:

$$V(N_2) = 0{,}79 \cdot V_0 + 0{,}008 \cdot N^t + 0{,}79(\alpha - 1)V_0 \qquad (8.8)$$

$$V(N_2) = 4{,}049 \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

Kütuse põlemisel liigõhuteguriga ">1 sisaldavad põlemisgaasid ka hapnikku, mis on määratav valemiga:

$$V(O_2) = 0{,}21(\text{"} - 1)V_0 \qquad (8.9)$$

$$V(O_2) = 0{,}307 \quad m^3/kg$$

Kuivade põlemisgaaside hulk:

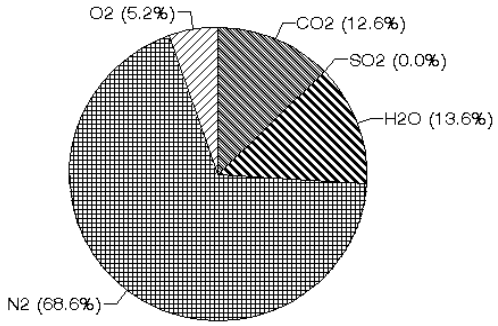
$$V_{kg} = V(CO_2) + V(SO_2) + V(N_2) + V(O_2) \qquad (8.10)$$

$$V_{kg} = 5{,}1 \quad m^3/kg$$

Põlemisgaaside summaarne hulk:

$$V_g = V_{kg} + V(H_2O) \qquad (8.11)$$

$$V_g = 5{,}9 \quad m^3/kg$$



Joon. 14. Päideroo põlemisel tekkivate suitsugaaside koostis.

9. MAJANDUSLIK OSA

9.1. Üldosa

Kütuste hinnad muutuvad pidevalt, siiski mitte väga suures ulatuses ja mitte väga kiiresti. Kütuste hinnad sõltuvad suuresti ka selle müüjast ja kvaliteedist. Seega saab teha orienteeruvaid kalkulatsioone erinevate kütuste baasil toodetud energia hinna kohta.

Kalkulatsioonides kasutatud kütuste hinnad on saadud 17. mail Tartu Küttekontorist ning kehtivad juriidilistele isikutele Tartu linna piires koos kohaletoomisega. Hinnad on järgmised:

turbabrikett - 526 krooni tonn,

kivisüsi - 751.70 krooni tonn,

halupuit, pikkusega 0,5 m - 102.70 krooni ruumimeeter.

Ühele halupuidu ruumimeetrile vastab 0,7 tihumeetrit. Keskmiselt on 25% niiskusesisaldusega puidu tihedus 550 kg/tm. Järelikult on ühe rm puidu mass 385 kg. 25% niiskusesisaldusega puidu keskmine alumine küttevääртus on 13,0 MJ/kg sõltuvalt puuliigist. Kui katla kasutegur on 0,8, saame soojusenergia omahinnaks 92.30 krooni MWÅh.

Turbabriketi tarbimisaine keskmine alumine küttevääртus on 17,5 MJ/kg [29, lk. 14]. Katla kasuteguri 0,8 puhul oleks soojuse omahinnaks 86.60 krooni MWÅh.

Kivisöe tarbimisaine keskmine alumine küttevääртus on 25,5 MJ/kg [29, lk. 14]. Katla kasuteguri 0,8 korral oleks soojusenergia omahinnaks 106.10 krooni MWÅh.

Elektrienergia hind öise tariifi alusel on 0.29 krooni MWÅh. Elektriliste kütteseadmete kasutegur on 1,0. Elektrienergia baasil toodetud soojusenergia omahinnaks öise tariifi alusel on seega 290 krooni MWÅh.

Masuudi hinnaks on 1500 krooni tonn. Masuudi keskmine alumine kütteväärtus on 40 MJ/kg. Soojusenergia omahinnaks katla kasuteguri 0,8 juures saame 168.75 krooni MWÅh.

Kõik eelpooltoodud soojusenergia hinnad on arvutatud arvestamata katlamaja amortisatsiooni, töötajate töötasu ning kütuse etteandmise ja käsitsemisega seotud kulutusi. Kuigi masuut on teistest kütustest kallim, on selle etteandmist lihtsam mehhaniseerida ning käsitsemine sellevõrra odavam. Tahkekütuste koldesse andmine on töömahukam. Alates 1. augustist1995 müüb "Tartu Soojus" soojust hinnaga 269...365 krooni MWÅh, mis on keskmiselt võrreldav öisest elektrist saadava soojusenergia hinnaga.

Arvutamaks soojusenergia tegelikku omahinda, tuleb arvestada mitmeid hinda mõjutavaud tegureid. Järgnevalt on toodud üks võimalik päideroo põletamisel saadava soojusenergia omahinna kujundamise võimalus. Vaatluse alla on võetud konteinerkatlamaja RU-2-600, võimsusega 600 kW. Kasutatavaks kütuseks on ruloonides päideroog, niiskusesisaldusega 20%, mis osteti kasvatajalt hinnaga 434 krooni tonn (112 krooni MWÅh) (tabel 5) .

Tartu Maakonnas on kütteperioodi pikkuseks 216 päeva. Kui katel töötab 0,8 nimikoormusel, saadakse maksimaalkoormusel töötunde kütteperioodi jooksul 4147,2 ja energiat 0,6Å 4147,2=2488,3. Firma AVAKS andmetel on põhukatelde müügihinnaks 1000...1200 katla võimsuse ühe kW eest. 600 kW võimsusega katlamaja hinnaks saame sellisel juhul 720 000 krooni. Konteinerkatlamajade hind on kõrgem, katlamajja paigutatavatel kateldel odavam. Katelde tööeaks on orienteeruvalt 20 aastat. Katla ekspluatatsiooniaja jooksul on vaja teenida summa, mis kulutati katla ostmiseks. Eeldades, et 20 aasta pärast maksab samasugune katel sama palju (inflatsiooni arvestamata), on vaja teenida veel sama suur summa, et oleksid olemas vahendid katla väljavahetamiseks. Seega tuleb aastas teeenida 1/20 kahe katla maksumusest, 72 000 krooni.

Päideroo kuivaine alumine kütteväärtus on 17,5 MJ/kg. Kui kütus sisaldab

20% niiskust, on selle kütteväärtuseks 14,0 MJ/kg. Järelikult 2488,3 MWAh ehk 8957880 MJ energia tootmiseks katla kasuteguri 0,7 korral vaja 8957880/(14,0A0,75)=853000 kg ehk 853 tonni heina. Kuna ühe rulooni mass on 210 kg, kulub kütteperioodi jooksul 853/0,21=4062 rulooni, päevas aga 18,8 rulooni. Antud katla koldesse saab korraga asetada kaks rulooni. Olgu traktoriks, millega rulooni tõstetakse MTZ. MTZ-i töötunni hinnaks arvestame 79.99 krooni traktori aastakoormusel 600 tundi. Arvestades ühe rulooni tõstmise ajaks 10 minutit, saame traktori tööajaks kütteperioodi jooksul 677 tundi. Traktori töö läheb siis kütteperioodi jooksul maksma 677A 79.99=54153.23 krooni.

Traktorist-katlakütja päevapalk olgu kütteperioodil 100 krooni. Katlamaja juhataja, kes tegeleb ka kõigi energia müüki ja kütuse hankimist puudutavate küsimustega, saagu aastaringselt 4000 krooni kuus. Kahe töötaja palkadeks kulub seega aastas 69600 krooni.Sotsiaalmaks ja ravikindlustus moodustavad kokku 33% töötajatele makstavast töötasust, seega 22968 krooni aastas.

Summeerides kõik loetletud kulutused, saame 218721.23 krooni, mis lisandub aastasele kütuse omahinnale. Ühe MWAh hinnale lisandub seega 87.90 krooni. Kokku tuleb energia hinnaks seega 199.98 krooni MWAh eest, lisades 18% käibemaksu, 236 krooni.

Tehtud arvutustes ei kajastu kõik katlamajas tehtavad kulutused. Näiteks ei arvestata elektrienergia kulu, samuti pole arvestatud vajadusega kütusehoidla järele. Reaalselt on selline hoidla vajalik paaripäevase kütusevaru hoidmiseks. Kui paigaldatava konteinerkatlamaja läheduses on mõni sobiv ehitis, tasub seda kindlasti ära kasutada. Uute hoonete ehitamine muudaks soojusenergia hinna liiga kõrgeks. Arvestades eespool toodud asjaolu, et "Tartu Soojuses" lisandub soojuse omahinnale ligikaudu 100% võib energiaheinast toodetud soojuse müügihinnaks kujuneda ligikaudu 500 krooni MWAh eest.

9.2. Bioenergia majanduslik efektiivsus talus

Praegu on toiduainete ja loomasööda ületootmise tõttu on Eestis sööti jäänud erinevail andmeteil kuni 30% põldu. Arvatakse, et nende pindala suureneb veelgi. Huvi selliste põldude edaspidise kasutamise vastu on siiski olemas.

Põldude metsastamine on kallis ja toodangu saamine võtab palju aastaid. Energia tootmine põldudelt oleks huvitav alternatiiv, kuna energiaturulvalitseb suur nõudlus. Hinnad on aga paraku nii madalad, et energiatooteid on raske muuta majanduslikult tasuvaks.

9.2.1. Arvutuse alused

Eesmärgiks on selgitada energiaheina tootmiskulusid. s.o. 1 kWAh energia hind. Lähtuda võib materjali kuivaine energiasisaldusest ehk küttevääritusest, mis nii põhu, energiaheina kui ka puidu puhul on 4,5 MWAh/t ehk 16,2 MJ/t. Arvutatakse ka otsesed tootmiskulud: töötasu (20 EEK/h), masinate kapitalikulud (amortisatsioon ja kasum) ning kasutuskulud (kütte- ja määrdeained, korrashoid). Tootmiskulude kalkuleerimisel on jäetud arvestamata seemnete ja väetiste hankimise, põlluharimise planeerimise jm. talus tehtavate töödega seotud kulutused. Põllumaa tootmisväärtuseks arvestatakse 0 EEK/ha, kuna kasutatakse söötis maad.

9.2.2. Võrreldavad kütused

Lääneriikidega võrreldes on Eestis kütus suhteliselt odav. Hindade erinevus on põhjustatud suures osas energia ja CO_2 maksustamisest, mida Eestis märgataval määral siiani ei ole rakendatud. Rootsis ja Taanis tõstavad keskkonnamaksud fosiilkütuste hinnad mitmekordseks, mis on ka biokütuse tugevama konkurentsivõime põhjuseks neis maades [2].

9.2.3. Põhk ja energiahein

Põhk on viljakasvatuse kõrvalsaadus, mida kindlasti tuleks kasutada energia saamiseks siis, kui energiaheinale tekib turg. Keskmine põhusaak võib olla 1,8 t/ha, rukkil ja nisul aga 2,3 t/ha.

Kevadel koristatud energiahein ei erine kütteväärtuselt põhust. Seevastu suvel koristatud energiaheinas on N-, S-, Cl- ja K- sisaldus tunduvalt suurem kui põhus. Kütuse koristamise seisukohalt täiendavad energiahein ja põhk teineteist hästi, sest heina koristamine toimub erineval ajal põhu koristamisest. Mullaharimis- ja külvimasinad on olemas nii teravilja- kui heinakasvatustaludes. Energiaheina võib koristada tavaliste heinakoristusmasinatega, hekseldatult või väikepallideks pressitult. Lahtise heina ja põhu koristamine tuleb kõne alla vaid väga väikeste veokauguste korral. Näiteks Taani katalamajades võetakse vastu vaid suuri kantpalle, mis käesoleval hetkel tundub olevat veo ja hoiustamise seisukohalt parim tehnoloogia. Kuna kantpallipressi hind on väga kõrge, eeldab see kasutamist aastaringselt. Niitmiseks on sooviatavad niidukmuljurid, sest hein kuivab kiiresti ja on rullideks paremini pressitav. Suvel koristatud hein vajab kunstlikku kuivatamist, kevadel koristatu kõlbab koheselt põletamiseks [2].

9.2.4. Energiaheina tootmiskulude arvutus

Tabelis 5 on võetud aluseks päideroo kasvatamise kogemused Soomes ja Rootsis. Päideroo kasutuskestuseks on arvestatud 12 aastat, millest esimesel aastal saaki ei koristata. Üldiselt koristatakse saak kevadel ja rullitakse. Saagist on maha arvestatud talvel tekkivad varisemiskaod, mille tõttu võib lämmastikväetiste kogust teatud määral vähendada.

Tabel. 5. Energiaheina universaalne kuluarvutustabel.

PÄIDEROOG				Suurpallid				
Intressimäär, %		8%		Kuivainesaak			5.5	t/ha
Töötasu, EEK/h		20		Tootmisaeg			12	aastat
Väetisekulu, kg N/ha		70		Palli mass			140	kg
Transpordikaugus, km		20		Palli tihedus			103	kg/m^3
Maamaks, EEK/ha		100		Palli mõõt			1.2	m
Kogu tootmisaja kohta				Aasta kohta			Töökulu	
Tegevus	kogus	a`EEK	EEK/ha	EEK/ha	EEK/t	osa	h/ha	h/t
Rajamine	1 kord							
Seemned, kg	15	15.00	225.0	18.8	3.4	1.4%		
Väetis, kg	70	5.00	350.0	29.2	5.3	2.2%		
Masinatöö, h	3.54	67.17	237.8	19.8	3.6	1.5%	3.54	0.64
Inimtöö, h	4.25	20.00	85.0	7.1	1.3	0.5%	4.25	0.77
Kokku			897.8	74.8	13.6	5.7%		
Hooldus	11 korda							
Väetis, kg	70	5.00	3850.0	320.8	58.3	24.5%		
Masinatöö, h	0.29	67.17	214.3	17.9	3.2	1.4%	3.19	0.58
Inimtöö, h	0.35	20.00	77.0	6.4	1.2	0.5%	3.85	0.70
Kokku			4141.3	345.1	62.7	26.4%		
Koristamine	12 korda							
Pallinöör, m	1833	0.10	2199.6	183.3	33.3	14.0%		
Masinatöö, h	2.52	67.17	2031.2	169.3	30.8	12.9%	30.24	5.50
Inimtöö, h	3.1	20.00	744.0	62.0	11.3	4.7%	37.20	6.76
Kokku			4974.8	414.6	75.4	31.7%		
Veokaugus	20 km							
Transp, tkm	5.5	2.50	3300.0	275.0	50.0	21.0%		
Maamaks			1200.0	100.0	18.2	7.6%		energia
Töövahendite pangaintress			1176.8	1176.8	214.0	7.5%		hind
			EEK/ha	EEK/ha	EEK/t			EEK/MWh
Kogukulud			15690.7	2386.3	**433.9**	100.0%		**111.82201**
Masinakulu kokku, h			30.24	2.52	0.46			
Inimtöö kulu kokku, h			45.30	3.78	0.69			

10. ENERGIAHEINA EDASPIDISTE UURINGUTE PÕHJENDUS.

Energiaheina kasvatamine ja kasutamine on Eestis praktiliselt tundmatu valdkond. Käesolev töö toetus suuresti Soomes, Rootsis ja eriti Taanis läbiviidud uurimustele. Siiski pole kaugeltki kõik küsimused lahendatavad kirjanduse abil, vajalik on praktiline uurimistöö Eesti tingimustes. Uurimistöö põhisuundadeks võiks olla energiaheina kasvatamine, põletamine ja muud võimalused heinast energiat saada.

Energiaheina kasvatamise osas oleks vajalik teha ida-kitseherne, päideroo ja roog-aruheinaga põldkatseid. Hetkel on andmeid ainult nende saagikuse kohta kasvatamisel loomasöödaks. Tuleb võrrelda nende kultuuride saagikust sügisese ja kevadise koristamise korral. Kui heina koristatakse kevadel, peaks uurima lume mõju taimedele. Energiaheina võimalikult odavamaks tootmiseks tuleks välja töötada optimaalne väetamisrežiim.

Põletamise valdkonnas tuleks katsetada erinevaid seadmeid. Katseseadmeks peaks olema spetsiaalselt sellise kütuse põletamiseks mõeldud katel. Jälgida tuleks kütuse niiskusesisalduse, kuju ja tiheduse mõju põlemisprotsessile, analüüsida põlemisgaase. Kaugemaks eesmärgiks võiks olla heina põletamiseks sobiva kolde konstrueerimine, kindlasti leiduks ka Eestis sellise tehnika tootjaid.

Katseid tuleks teha heinast generaatorigaasi tootmiseks. Eriti intrigeeriv on muidugi pürolüüsi võimalik kasutuselevõtt [30].

11. KESKKONNAKAITSE.

Eesti on ÜRO Berliini kliimamuutuste konverentsi andmeil süsihappegaasi toodangult ühe elaniku kohta maailmas esikümne hulgas. See tuleb fossiilsete kütuste, nagu põlevkivi ja kivisüsi, väga suurest osatähtsusest energiamajanduses.

Lähemail aastatil toetub Eesti energeetika veel kindlasti kodumaisele põlevkivile, perspektiivis on aga süsihappegaasi tootmist vähendada. Selleks tuleb leida uusi, keskkonnasõbralikumaid energiaallikaid. Energiahein sobib selleks hästi, kuna ta on CO_2 neutraalne, s.o. tema CO_2 ringlus on lühike. Fossiilsete kütuste CO_2 on kogutud pika aja jooksul kaua aega tagasi, nende põletamisel vabaneb seda suures koguses ja lühikese aja jooksul, mis soodustab kasvuhooneefekti süvenemist. Taastuvate energiaallikate kasutamine ei rikasta atmosfääri CO_2-ga, kuna taimede põletamisel vabaneb sama, lühikest aega tagasi seotud CO_2.

SO_2 on ohtlik keskkonnasaastaja, kuna ta on lähteaineks väävelhappe moodustumisel ja seega happevihmade potentsiaalne tekitaja. Väävelhapet ei saa eraldada filtritega, see on võimalik ainult kuiva või niiske desulfarisatsiooniprotsessi abil, mida tehnoloogiliselt kasutatakse ainult suurte saasteainekoguste korral. [24, lk. 26].

NO_X võib esineda NO, NO_2 või NO_3 kujul. NO_X tekib heina põletamisel peaaegu samas koguses kui teiste kütuste põletamisel, põhiliselt tänu põlemisõhu lämmastikusisaldusele. Tekkiva NO_X kogus sõltub suuresti kolde ehitusest. On näidatud, et selle teket mõjutavad leegi temperatuur, kolde temperatuur, liigõhutegur, põlemisgaaside põlemispiirkonnas olemise aeg jms. [24, lk. 26].

Kütuse mittetäielikul põlemisel väljub katlast ka vingugaasi (CO). CO on mürgine gaas, mis lisaks viib katla kasuteguri madalale, kuna jääb saamata energia, mis vabanenuks selle täielikul põlemisel.

Kütuste põlemisel tekib ka polüaromaatseid süsivesinikke, soolhapet ja dioksiine (üle 200 keemilise ühendi, mis sisaldavad peale süsiniku ja vesiniku veel hapnikku, kloori jm.). Mõned dioksiinid on mürgised, soolhappe toime on sarnane väävelhappele.

Energiaheina põletamisel tekkiv tuhk (1,5...8%) ei ole probleemiks, kuna on edukalt kasutatav kui mineraalväetis, kompenseerimaks heina koristamisega kaasnenud mineraalainete ärakandmist.

Mitmel pool maailmas kasutataks nn. biopuhasteid. Enamasti leiab kasutust energiavõsa, aga kasutatakse ka energiaheina. Siin tekivad lisaprobleemid, kuna taimed kasvades akumuleerivad raskemetalle. Põletamisel võivad need keskkonda pääseda, kui kateldel ei rakendata spetsiaalseid suitsugaaside puhasteid. Kõik see nõuab veel täiendavat uurimist ja katseid.

Raskemetalle sisaldavad mingil määral kõik kütused. Heina raskemetallisisaldus võib olla suurem ka juhul, kui see kasvab suurte teede vahetus läheduses, kus sõidukite heitgaasidest langeb maapinnale eriti rohkesti pliid.

Probleeme tekitavad veel suitsugaasid, mis energiaheina ja põhu põletamisel sisaldavad mittetäieliku põlemise tõttu põlemata gaase. Põlemata gaasid sisaldavad kõrgmolekulaarseid süsivesinikke, mis lagunevad väga aeglaselt ning süsinikmonooksiidi ja metaani. Põlemata gaasid on kõik mingil määral mürgised. Koos põlemisgaasidega väljuvad korstnast ka lendtuha osakesed. Lendtuha emissioon koosneb peamiselt vees lahustuvatest sooladest (peentolm). Taani andmetel varieeruvad nende suurused vahemikus 300...2000 mg/nm^3. Suur erinevus tuleneb kütuse erinevast kvaliteedist. Emissiooni saab piirata reguleeritud tööreziimi ja spetsiaalsete puhastusseadmete kasutamisega.
Kasutatakse mehhaanilisi ehk kuivi püüdeseadmeid, elektrifiltreid ja märgi püüdeseadmeid.

Mehhaanilistes püüdeseadmetes kasutatakse suitsugaaside puhastamiseks gaasis hõljuvadele osakestele mõjuvat mehhaanilist energiat. Seda tüüpi

püüdeseadmeist on enim levinud tsüklonid, kus gaasile antakse spiraalne liikumine. Nii eralduvad hõljuvad osakesed tsentrifugaaljõu mõjul. Tsüklonid on konstruktsioonilt lihtsad ja nende puhastusvõime on ainult 65...70%. Neid kasutatakse väiksemate seadmete juures, kus pole tegemist suure koguse saasteainetega. Tsüklonite puhastusvõime suureneb läbimõõdu vähenemisega, seepärast asendatakse tihti üks suur tsüklon mitme väiksega. Seda nimetatakse multitsükloniks.

Kuna lendtuhk sisaldab palju väga väikesi osakesi (läbimõõduga alla 0,01 mm), kasutatakse nende püüdmiseks näiteks Taanis edukalt kottfiltreid. Kottfilter on sünteetilisest materjalist toru, millest põlemisgaasid läbi juhitakse.

Elektrifiltri töötamine põhineb suitsugaasis olevate tahkete osakeste elektrilisel laadimisel. Laadimine toimub kõrgepinge all olevate erineva potentsiaaliga elektroodide abil. Laetud osakesed eralduvad gaasist elektriväljas mõjuvate tõuke- ja tõmbejõudude toimel. Elektrifiltreid kasutatakse suurte katelseadmete juures. Nende puuduseks on kõrge hind ja spetsiaalsete elektriseadmete vajadus. Plussideks on väga hea puhastusvõime - kuni 99%, automatiseerimise võimalus ja väike energiakulu.

Märgades püüdeseadmetes puhastatakse suitsugaase märgade pindade moodustamisega gaasivoolus. Üks seda tüüpi püüdeseade koosneb nõgusa välispinnaga malmtorudest, mis on paigutatud malekorras, et saavutada paremat kokkupuudet. Malmtorud on paigaldatud selliselt, et toimub nende välispindade märgamine. Suitsugaaside tahked osakesed kleepuvad märgade torude külge. Märgade püüdeseadmete kasutegur on võrreldes kuivadega parem, aga nad vajavad lisaseadmeid (pumpa ja vee jaotusseadet) ning gaasiosakesed eralduvad mudana.

Energiaheina tootmisel on keskkonnakaitse seisukohalt oluline, et taimede väetamine toimuks läbimõeldult ja keskkonda säästvalt. Väetamisel tuleb jälgida õiget aastaaega ning ilmastikutingimusi. Mingil juhul ei tohi väetisi kanda lumele või külmunud maale.

Kokkuvõtteks võib öelda, et heina ja põhu põletamise keskkonnakahjulik toime on lähedane puidu põletamisele. Keskkonna saastekoormus on igal juhul väiksem kui fosiilsete kütuste kasutamise korral.

KOKKUVÕTE

Käsitletud on erinevaid tehnoloogiaid muundamaks taimset biomassi kujule, mis oleks sobilik energeetiliseks kasutuseks. Esitatud on ka energiaheina tootmiseks vajalikud tingimused. Töö käigus on sooritatud katsed, saamaks informatsiooni kevadel koristatud taimemassi omaduste kohta.

Tulemused näitavad, et energiahein võiks omada märgatavat kohta Eesti energiabilansis. Probleemiks on põllult koristatud biomassi väike tihedus ja kõrge niiskusesisaldus. Biomass, mis on töödeldud teiste kütustega tehnoloogiliselt sarnasele kujule, on kasutatav energeetilise toormena. Energiahein ei ole täna veel fossiilsete kütustega majanduslikult konkurentsivõimeline, sest Eesti Vabariigis puuduvad märgatavad keskkonnamaksud energeetikas.

Vaadeldav teema on tänapäevane ja interdistsiplinaarne, sest just nüüd on viimane aeg asuda ettevalmistusi tegema meie energeetilise baasi ümberstruktureerimiseks, eeldades fosiilsete kütuste, eelkõige nafta, peatset hinnatõusu ja hilisemat otsalõppemist. Küsimuse interdistsiplinaarsus avaldub selles, et suuremahuline põllumajanduslik toodang kasutatakse ära energeetikas, selleks annavad esmase tõuke keskkonnaprobleemid. Tulemuseks on tootmise hajumine maapiirkonda, mis lahendab seal mitmeid sotsiaalmajanduslikke probleeme.

Töö on Eesti tingimustes uudne ja püüab leida eelkõige rakendust sööti jäänud aladele, sealjuures ka poldrialadele, mis oleksid ideaalsed just energiaheina viljelemiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. ENE 1. kd. Tallinn Valgus 1985

2. Järvenpää, M., Sankari, H., Tuunanen, L., Maunu, T. Biomass Energy Production on Seat-Aside Agricultural Land. - TTS Helsinki, 1994. - 109 s: ill.

3. Hovi, M., Hovi, K. Energiahein - ja miks ka mitte?// Maakodu 1995. - Nr. 5. - lk. 10-11.

4. Sennerby - Forsse, L., Johansson, H. Energiavõsa. Väike käsiraamat.- Eesti TA Zoloogia ja Botaanika Instituut, 1993.- 40 lk.: ill.

5. Pihelgas, E. Metsabioloogia. Tln., Valgus, 1983. -224 lk.

6. Hovi, M. Perspektiven von Energiegräsern in der republik Estland FAO-SREN workshop in Freising. ROME, 1994. p. 59...61

7. Koppel, A. Energiametsad: Rootsis juba kasvavad! Aga meil? // Eesti Loodus. 1990, Nr. 12. -lk. 755-761.

8. Stott, K. G. Improving the biomass potential of willow by selection and breeding. Rmt.: Ecology and management... . The Swedish Univ. Agr. Sci., Dept. Ecol. Env. Res., Rapport 15, 1984. p. 233...260.

9. Johansson, H. Energy forestry: opportunities, market, profitability, scale and enviromental considerations. Upsala, Swedish Univ. Agr. Sci. Res and inform. Cater, 1991. - 5 p

10. Hubbard, C. E. Gräser. Beschreibung, Verbreitung, Verwendung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1973. - 461 p.

11. Rohumaaviljelus talupidajale/ K. Annuk, S. Eilart, M. Kärner, H. Loid, J. Muru, H. Older, H. Rand, R.-J. Sarand, U. Tamm, R. Viiralt; Koost. H. Older - Saku-Tallinn-Tartu: AS Rebellis, 1992.- 163 lk. ill.

12. Fodder galeg (galega orientalis Lam.) research in Estonia. The Estonian

Research Institute of Agriculture Saku, 1994. - 64 p.

13. Raig, H. Söödagaleega kasvatamise kogemusi. - Tln.: Valgus, 1988.- 120 lk.:ill.

14. ENSV agrokliima resursid Tln. 1976. - lk. 142

15. Haller, E., Karmin, M. Maaviljelus.-Tln.:Valgus, 1984. - 280 lk. ill.

16. Stroh als Energieträger. Technik-Umwelt-Ökonomie/L.Nikolaisen, C.Nielsen, M.G.Larsen, P.Keller,L.K.Henriksen;Redakteur L.Nikolaisen - Århus:EH-Tryk, 1992.- 47 s. ill.

17. Ståhlberg, P., Wilen, C., Horvath, A. Straw pelletization and use of pellets as fuel VAKOLA Vihti 1985. - 137 s.

18. Hartmann, H. Systems for Harvesting and Compaction of Solid Herbacious Biofuels FAO-SREN workshop in Freising. ROME, 1994. - p. 86...93

19. Kepner, R., A., Bainer, R., Barger, E., L. Principles of Farm Machinery. Westpoint. 1982.

20. Janzso, J. Strohbrikettherstellung in Ungarn FAO-SREN workshop in Freising. ROME, 1994. - p. 197

21. . . .

.- .: , 1990.- 463 c.: .

22. Parmala, S-P. Polttomoottorien varustaminen kotimaisen polttoainen käyttöön soveltuvaksi. VAKOLA - Vihti 1980. - 106 lk.

23. Burvall, J. Tillverkning och proveldning av rörflenpulver - ett fullskaleförsök (Production and combustion of Reed Canary Grass powder - a full scale trial Sveriges lantbruksuniversitet Umeå 1993. 31 p.

24. Ahokas, J. Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. Tutkimusselostus No 33./ VAKOLA;- Vihti, 1983.-66 s.

25. Soojustehnika käsiraamat. Koost. Mikk, I.-Tln.: Valgus, 1977.-619 lk.

26. Kull,A., Mikk, I., Ots, A. Soojustehnika - Tln.: Valgus, 1966.- 493 lk.

27 Ivarsson, E., Nilsson, C. Smälttemperaturen hos halmaskor med respektive utan tillsatsmedel. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst för lantbrukets byggnadsteknik (LBT). Spec. med. nr 153. Lund.

28.Praks, O., Eldning med röflenspeller och spannmal i mindre förbränningsanläggnigar, Specialmeddelande 197. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Lund, 1992.

29. Ekman, E. Kiinteiden polttoaineiden koostumus ja muut ominaisuudet. Poltto- ja voiteluainelaboratorio, Tiedonanto 23./ Valtion Teknilinen Tutkimuskeskus;- Espoo, 1979.- 23 s.

30. IEA Bioenergy Annual Report 1994. NUTEK Stocholm 1995. - 46 p.