SISSEJUHATUS

Alates 1970-ndatest aastatest on pidevalt kasvanud mure energiaallikate kasutamise tõttu keskkonnale avaldavate mõjude pärast. Põlevkivi, kivisüsi ja naftasaaduste kasutamine energiaallikatena annavad keskkonda mitmesuguseid kahjulikke aineid ja suurendavad atmosfääris süsihappegaasi hulka. Mure globaalse soojenemise ja fossiilkütuste kasutamisest tingitud keskkonna saastamise pärast on andnud tõuke nende kütuste kasutamise stabiliseerimiseks ja vähendamiseks.

Üheks perspektiivsemaks suunaks tänapäeva energeetikas peetakse taastuvate energiaallikate kasutamist, milleks on ka biokütused. Eesti energiamajanduses kõige laialdasemat kasutamist leidnud biokütuse liigiks on puitkütused ja seda põhiliselt soojuse tootmises. Arvestades meie metsade praegust struktuuri, tuleks enam tähelepanu pöörata puiduhakke tootmisele ja kasutamisele. Selleks on kaks võimalust:

- vähemväärtusliku metsa, risu ning võsa tarvitamine;
- puiduhakke tootmine selleks spetsiaalselt rajatud energiavõsa istanduses.

Arvestades seda, et põllumajanduslikust tootmisest on viimasel aastakümnel kõrvale jäänud hulgaliselt vaba maad, saaks seda kasutada energiavõsa kasvatamiseks, mis oleks ka maaharimise üheks alternatiivseks vormiks.

Käesoleva töö eesmärgiks on anda ülevaade energiavõsa kasvatamisest ja selle kasutamise võimalustest küttena ning tuua välja selleks sobivaid põletusseadmeid. Lisaks sellele on kirjeldatud energiavõsa kasvatamist ja kasutamist Eestis ning analüüsitud energiamajanduse olukorda ja võimalusi biokütuste kasutamiseks.

Töö koosneb neljast osast: esimeses osas on välja toodud erinevad biokütuse liigid ja nende kasutamine Eesti energiamajanduses ning Euroopas. Töö teises osas on antud ülevaade energiavõsa kasvatamisest, hooldamisest, mahalõikusest ja kasutamisest biopuhastina ning Eestis tehtud sellealastest katsetest. Töö kolmas osa toob välja energiavõsa kasvatamise majanduslikud aspektid. Viimases osas antakse ülevaade energiavõsa kütteomadustest ja selle kasutamisest erinevates põletusseadmetes.

1. BIOKÜTUSED JA NENDE KASUTAMINE

Kasutades alternatiivseid energiakandjaid energeetikas, me kasutame vaid energiat, mis nagu nii maakeral looduslikes protsessides teiseneb ning sellega me vähendame energiasektori negatiivset mõju keskkonnale.

Üheks suuremaks taastuvenergia ressursiks Maal on biomass (tehniline potentsiaal – 6,5 Gt/a). Biomassi peetakse taastuvaks, kui seda kasutatakse mingil territooriumil, näiteks ühes riigis, juurdekasvust vähem või ligilähedaselt juurdekasvu piires. Taastuvuse määrab see, kumb on suurem – kas juurdekasv või tarbimine. Energeetika kontekstis kasutatakse biomassi asemel rohkem biokütuste mõistet.

Eesti energiamajanduses on soojuse tootmisel kõige laialdasemat kasutust leidnud taimse biokütuste liigid – **puitkütused.**

Võimalikud puitkütuste liigid on järgmised (Turvas, 1999):

- Metsajäätmed – hakitud oksad, laastud, kännud. Küttevääртus 50% niiskusesisalduse juures 8,4 MJ/kg, tuhasus 2…5%. Ligilähedaselt 15…17 m³ metsajäätmeid asendab 1 t kütteõli;
- Energiavõsast saadav hakkpuit – spetsiaalselt kütuseks kasvatatud kiirekasvulistest puittaimedest (paju, lepp, pappel) hakitud puit. Küttevääртus on 19,5 MJ/kg, keskmine niiskusesisaldus 20…50%, tuhasus 1%;
- Metsast saadav küttepuu – uuendus- või hooldusraie käigus spetsiaalselt kütuseks valmistatav ja teatavatele kvaliteeditingimustele vastav puitmaterjal (halud, hagu jne). Halud on saetud 0,25…1 m pikkused ja lõhutud puidutükid;
- Hakkpuit – vastavas hakkuris purustatud puit tüki pikkusega 25…40 mm. Küttevääртus 45% niiskusesisalduse juures 9,0 MJ/kg, niiskusesisaldus 30…50% tuhasus 1%. Ligilähedaselt 13…15 m³ hakkpuitu asendab 1 t kütteõli;
- Puukoor ja saepuru – saeveskijäätmed suurusega 10…100 mm. Küttevääртus 55% niiskusesisalduse juures 7,3 MJ/kg, niiskusesisaldus 45…60%, tuhasus 1…3%. Ligilähedaselt 20…23 m³ koore ja saepuru segu asendab 1 t kütteõli;
- Puidubrikett – peenestatud ja kuivatatud saepurust surve all ja õhu temperatuuril pressitud seapurutükid suurusega ~80 mm. Küttevääртus 6% niiskusesisalduse juures 16,2 MJ/kg, tuhasus kuni 0,3%. Ligilähedaselt 2 kg puidubriketti asendab 1 liitri kütteõli;

- Puidupelletid e. graanulid – kuivatatud saepurust surve all ja temperatuuril kuni 80ºC pressitud 6…12 mm läbimõõduga saepurupulgad- või kuubikud. Küttevääртus 8% niiskusesisalduse juures 17,3 MJ/kg, tuhasus kuni 1%. Ligilähedaselt 2 kg puidupelleteid asendab 1 liitri kütteõli;

1.1 Biokütused Eesti energiamajanduses

Eesti küttekatlamajades kasutatakse praegu märkimisväärselt selliseid kohalikke kütuseid, nagu hakkpuit, puukoor, saepuru, aga ka frees- ja tükkturvas. Eesti statistikaameti andmetel on märgatavalt tõusnud just puidu kui kütuse osatähtsus. Intensiivsem kodumaiste kütuste kasutamine suurendab Eesti sõltumatust importkütustest, vähendab tööpuudust ja parandab keskkonnaseisundit. (Eestis puitu ja turvast kasutatavad katlamajad 1997/1998.a. on välja toodud Lisas 1.)

Puidu ressursid: 1,9 mln. ha ehk 44,4% Eesti pindalast on kaetud metsaga, mille kasvav varu on umbes 280 mln. m³. Aastane prognoositud juurdekasv on 9,2…9,8 mln. m³ ja vastavalt Eesti Põllumajandusülikooli andmetele võiks raiemaht ulatuda 7,8 mln. m³-ni. Keskmine statistiline raiemaht on viimastelt aastatel olnud 3,8…4,0 mln. m³. Küttepuidu kogus (koos puidujäätmete ja hakkpuiduna) ulatus 3,7 mln. m³-ni 1997. aastal, millest puidujäätmed ja hakkpuit moodustasid 34%. Küttepuidu toodang on püsinud viimastel aastatel enam-vähem stabiilsena suunaga suurenemisele (Paist, 1999).

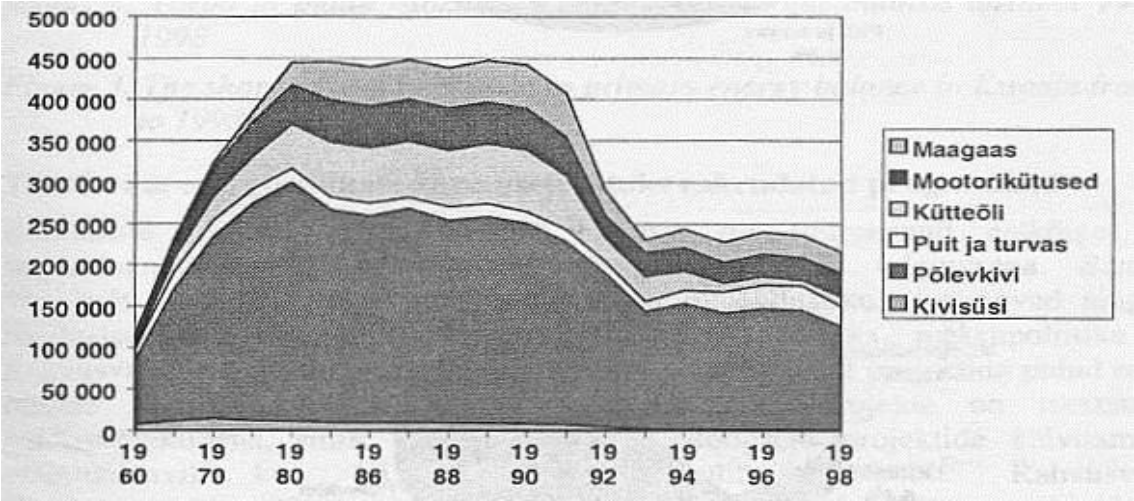
Biokütusena tuleb Eesti oludes ratsionaalselt kasutada eeskätt metsa- ja puidutööstuse jäätmeid, mis muidu kõdunedes saastavad atmosfääri samal määral kui põledes ja on aastaringi paremini kättesaadavad kui muud biokütused. Tuleb selgeks teha, kui suur on selle ressursi veel kasutamata kogus ja kvaliteet, kui kättesaadav see on, ja siis otsustada, kuidas kasutada märgalasid ja põlde energiavõsa tootmiseks (Öpik, 2000).

Praegusel hetkel on Eesti metsades lähema paarikümne aasta jaoks puiduhakke ressursid olemas raiejäätmete, väheväärtusliku puidu ja lepavõsa näol. Kui aga energiamajanduse rekonstrueerimine tuleb ulatuslik, siis on vaja üksikasjalikke hinnanguid loodulike bioenergia varude ja nende taastumise kohta. Võib arvata, et need ressursid vähenevad ja mõne aja pärast muutub aktuaalseks energiavõsa kasvatamine(Ross, 1994).

1.1.1 Riiklik energiasäästuprogramm

Alates taasiseseisvumisest on Eesti olnud edukas nii kohalike kütuste kasutusele võtmisel kui energiasäästuprogrammi elluviimisel. Põhisuunad kohalike kütuste (turvas ja puit) laialdasemaks kasutuselevõtmiseks sätestati 1992. a. riiklikus

energiasäästuprogrammis, mis seadis peamiseks eesmärgiks importkütuste osakaalu vähendamise energiabilansis energia kokkuhoiu ja kohalike kütuste kasutusele võtmisega. Puidu ja turba osakaal Eesti primaarenergiabilansis moodustas 1998. a. 11.3%. Sealjuures on turba ja puidu kogus primaarenergiabilansis tõusnud 14.8 PJ-lt (1991. aastal) 24,3 PJ-ni (1998. aastal), seega on peamine ülesanne täidetud. Biokütuste osakaal primaarenergia bilansis on suurenenud eelkõige riiklike sooduslaenudega finantseeritud investeerimisprogrammide tulemusena, mille käigus rajati uusi biokütustele töötavaid katlamaju ja rekonstrueeriti vanu gaas-masuut katlaid ümber puitkütustele töötavateks (Koppel, M. & Ots, 2000).



Joonis 1. Eesti primaarenergia bilanss (TJ) 1960-1998 (Koppel & Ots, 2000).

Et taastuvate energiaallikate kasutuselevõtmine ei ole energiasääst, vaid kuulub riigi energiastrateegia eesmärkide juurde, siis ei seadnud 2000. a. energiasäästuprogramm eesmärgiks kohalike kütuste laiemat kasutuselevõttu.

Tuleviku arengusuunad taastuvate energiaallikate kasutuselevõtul on sätestatud 18. veebruaril 1998. a. Riigikogu otsusega vastu võetud kütuse ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas, mis seab eesmärgiks saavutada aastaks 2010 primaarenergia bilansis taastuvate energiaallikate osakaaluks 13%. Energiaseadusega on kehtestatud alternatiivsetest energiaallikatest toodetud elektrienergia ostukohustus.

Kui biokütusest energiat ei toodeta, võib biokütuse aastane kasutamine Eestis tõusta tasemel napilt üle 30 PJ praeguse 22-27 PJ/a asemel. Biokütusest saadav energia moodustab siis kolmandiku põlevkivist saadava. Biokütuste massiivsem lülitamine Eesti kütusebilanssi tähendaks aga juba puitkütuse arvel elektrienergia tootmist (Kallaste & Roos, 2000).

1.1.2 Soojuse tootmine Eestis

Aastatel 1985-1990 kasvas soojuse tootmine ja jõudis haripunkti 1990. aastal, millest alates võib täheldada langusetendentsi kuni 1991. aastani ja seejärel järsku langust paari järgneva aasta jooksul, millal soojatarbimine jõudis oma tasakaalustatud mahtudeni. Vähenemistrend on omane ka aastatel 1993-1998, erandiks on vaid eriti külm 1996. aasta. 1998. a. toodeti 36% soojusest elektrijaamades ja 64% katlamajades (Kallaste & Roos, 2000).

Aastatel 1993-1998 on biokütuste osakaal katlakütustena pidevalt suurenenud. 1998. a. tootsid biokütustel (puit ja puidujäätmed) töötavad katlad 21% soojusest, mis on 16% rohkem kui 1993. a. Kodumaistest kütustest kasutati soojuse tootmiseks enim küttepuitu. Sisseveetavate kütuste osas vähenes enam raske kütteõli kasutamine. Kui 1993. a. saadi toodetud soojusest 50% raskest kütteõlist, siis 1998. a. vaid 26%. Maagaasist saadi 32% kogu toodetud soojusest.

Põhinedes "Kütuse ja energiamajanduse pikaajalises riiklikus arengukavas" (1998. a.) esitatud argumentidele muutub Eestis soojuse tootmiseks kasutatavate kütuste struktuur märgatavalt. Kui 1998. a. kasutati soojuse tootmiseks 36% rasket kütteõli (sh põlevkivi), 33% gaasi, 18% puitu (ülejäänud kaeti kerge kütteõli, söe, turba, ja ka elektri kasutamisega), siis järgnevaks viieteistkümneks aastaks prognoositakse kasutavate kütuste struktuuris olulisi muudatusi. Näiteks raske kütteõli ja põlevkiviõli osatähtsus kütuse struktuuris peaks prognooside kohaselt vähenema kuni 18%-ni aastaks 2015. Samas nähakse ette puidu (kuni 30%) ja gaasi (kuni 42%) kasutamise tunduvat suurenemist aastaks 2015.

1.2 Biokütused Euroopas

Biokütuste kasutusest Euroopas on põhjalikult kirjeldanud Ü. Mets (2000, lk. 103-111). Biokütuste turuosa kasvule Euroopas on takistuseks jaotussüsteemide puudumine ja terav konkurents fossiilkütuste pool. Granuleeritud puidupelletid on muutunud enamlevinud biokütuseks Austria ja Lõuna-Saksamaa eramajade kütmisel ning väikestes Taani ja Rootsi kaugkütte võrkudes.

Analüüsid näitavad, et neis riikides, kus biokütuste kasutamine on riiklikult toetatud ja subsideeritud (näiteks Rootsi, Taani, Soome), on biokütused enam levinud ning konkureerimas fossiilkütustega soojuse ja elektri turul. Riikides, kus selline toetus puudub, on biokütuste osakaal vähenemas. Arvestades, et Eesti soojuse hinnad on 1,5-2 korda odavamad kui EÜ tarbijahinnad, on kalli lääne tehnoloogiaga biokütuse põletusseadmete juurutamine meil märksa keerukam. See asjaolu rõhutab ka meil vajadust toetuste ja subsiidiumide järele. Veelgi otstarbekam oleks subsideerida

biokütuste põletustehnoloogia valmistamist Eestis, mille tulemusena poleks seadmete maksumus enam nii kõrge.

Taastuvenergia kasutamine viieteistkümnes EÜ riigis on 700 000 GWh/a, millest 400 000 GWh/a toodetakse biomassi abil ning sellest üle 90% soojusena ja 10% elektrina. 300 000 GWh/a elektrit toodetakse hüdroenergiast, millest suurem osa tuleb Norrast ja Šveitsist.

Maailmas pole palju suure metsavaruga riike. Puidujäätmeid energiaallikana kasutada on suuremad võimalused Venemaal, Baltikumis, Põhjamaades ja Kanadas. Põhjamaade suurimaks hakkpuidu tarbijaks on Rootsi, Soome tarbib rohkem turvast, Taani nii hakkpuitu kui põhku.

Soojuse ning eriti madalatemperatuurilise soojuse tootmine on praegu biokütuste suurimaks turunišiks EÜ riikides. See tähendab põhiliselt hoonete kütmist ja sooja vee varustamist.
Teatavasti moodsa automatiseeritud tootmise korral moodustab soojuse hind põhiliselt kütuse hinnast ja seadmete maksumusest. Kui EÜ riikides ollakse kindlad, et vaatamata nende kõrgemale soojuse hinnatasemel vajab biokütuste edukas evitamine siiski riiklikku toetust ja subsiidiume, peaksime seda veelgi enam vajama, kuna meie soojushind on madalam. Sest investeeringud on võrdsed – moodsa lääne põletustehnika evitamiseks on meil vaja teha täpselt samasuguseid kulutusi kui lääne tarbijal.

2. ENERGIAVÕSA KASVATAMINE

Säästvat arengut silmas pidades tuleks Eesti energiamajanduses kasutada rohkem kohalikke ja alternatiivseid kütuseid. Taastuvatest energiaressurssidest on üheks tähtsamaks biomass, ja üheks võimaluseks sealhulgas – energiavõsa. Energiavõsa on lühikese raieringiga (3…7 aastat) kütuse tootmiseks rajatud kiiresti kasvavate puuliikide (paju, hall lepp, pappel) istandused. Energiavõsa kasvatamine on ka üheks põllumajanduse alternatiivseks vormiks.

Energiavõsa kasvatamise, kasutamise ja majandusliku efektiivsuse uurimiseks on tehtud uurimistöid mitmes Euroopa riigis. Vahest kõige põhjalikumad ja laiaulatuslikumad on need olnud Rootsis, kus energiavõsa (põhiliselt paju) kasvatatakse riigi lõunaosas 17 000 hektaril. Rootsis on taolise kiirekasvulise võsa kasvatus populaarne, kuna sellega kaasneb ka riigipoolne toetus iga rajatud kasvanduse hektari kohta (10 000 EEK). Energiavõsa kasvandusi on rajatud ka Ameerika Ühendriikides, Hollandis, Suurbritannias, Saksamaal jm Euroopa maades. Eestis alustati koostöös Rootsi Põllumajandusülikooli teadlastega energiavõsa teadusliku uurimisprojektiga 1993. aastal, mille eesmärgiks oli uurida pajukasvanduse kasvatamise perspektiivid ja majanduslik efektiivsus Eestis. Programmi raames rajati kokku seitse pajuvõsa istandust, kogupindalaga kaks hektarit.

Antud peatükk energiavõsa kasvatamisest, hooldusest ja lõikusest on kirjutatud Rootsi asjatundjate poolt valmistatud käsiraamatu järgi (Sennerby & Johansson, 1993, lk 13-32) mistõttu pole kogu siin esitatud teave Eesti oludes kasutatav, aga üldjoontes on põhimõtted siiski samad.

2.1 Energiavõsa kasvatamiseks sobivad puuliigid

Energiavõsaks saab kasutada kõrge produktiivsusega kooslusi, millel on lühike kasvuperiood.
Energiavõsade kasvatamisel kasutatakse kõige enam erinevate pajuliikide kloone. Põhiliselt kasvatatakse vits ehk korvipaju ja pikalehist paju. Vitspaju (*Salix viminalis)* on kitsaste lehtedega põõsas, mis ajab pikki sirgeid võsusid, sageli kasutatakse seda punutiste valmistamisel. Pikalehine paju (*Salix dasyclados*) on samuti põõsaskujuline, kuid suuremate ja laiemate lehtedega. Mõlemad liigid on eriti esimestel kasvuaastatel väga kiire kasvuga. Vits ja pikalehise paju looduslikuks kasvukohaks on Euroopa.

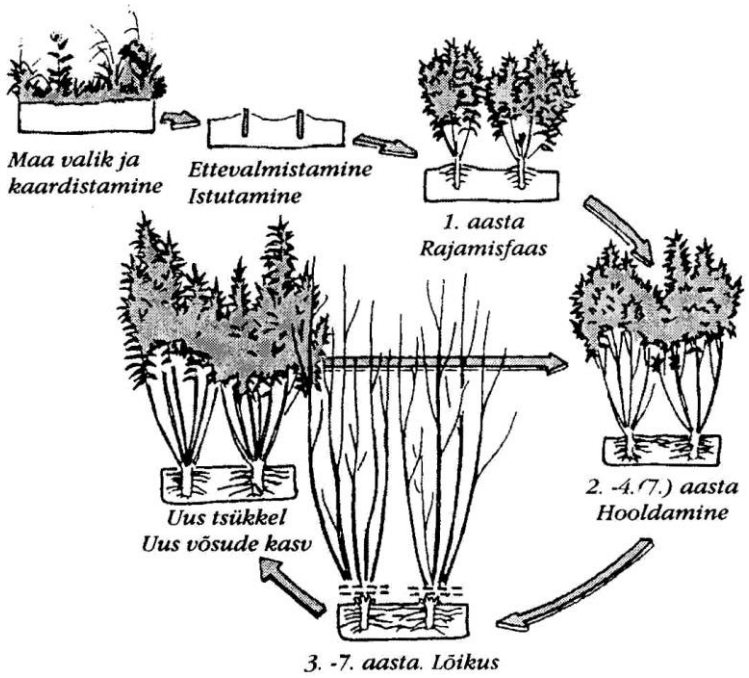
Huvi võivad pakkuda ka teised puuliigid, nagu näiteks hall-lepp, kask ja mitmed papli liigid. Need liigid vajavad pikemat kasvutsüklit kui põõsavormilised pajud. Lepp on

võimeline juurtel elavate mikroorganismide abil siduma õhulämmastikku ning ta talub pajust happelisemat mulda. Looduslikult on lepp Eestis väga levinud ning seetõttu kasutatakse teda palju biokütusena. Paplit võib kasutada kui tüvepuud, millel on toorainena teistsugused omadused kui pajul.

2.1.1 Pajukasvatuse üldised põhimõtted

Kasvandus rajatakse valitud pajukloonide umbes 20 cm pikkuste juurdumata pistokstega. Pistoksad istutatakse kevadel. Suve jooksul arenevad neil juured ja võsud. Esimesel suvel kasvab ühest pistoksast 1-4 võsu. Võsude arvu taime kohta suurendab esimese aasta võsude talvine tagasilõikamine.

Järgmisel kevadel algab nn. istanduse produktsioonifaas ning juurdekasv hoogustub. Kolme kuni seitsme aasta pärast peetakse kasvandust lõikusküpseks. Lõikusküpseks saab istandus siis, kui aastane juurdekasv enam ei suurene vaid stabiliseerub. Küpses istanduses lõigatakse tüved maha taimede puhkeperioodil (st. talvel) umbes 5-10 cm kõrguselt. Järgmisel kevadel kasvavad kändudest uued võsud ja tsükkel kordub. Hästi hooldatud istanduses on võsude kasvutsükleid neli kuni viis (Heinsoo *et al.* 2001). Järgnev joonis iseloomustab hästi energiavõsa kasvutsükleid.



Joonis 2. Energiavõsa kasvutsükkel (Sennerby & Johansson, 1994).

2.2 Pajuistanduse rajamine (esimene aasta)

2.2.1 Kasvukoha valik

Istanduse rajamisel tuleb arvestada mitmete asjaoludega, eeskätt mulla vastavust paju kasvunõudlustele, põllu ligipääsetavus transpordile, istanduse mõju maastiku väljanägemisele jne.

Kõige enam sobivad pajuistanduse rajamiseks niiskemapoolsed, suhteliselt lagedal asuvad põllumajanduskäibes olnud maad. Suhteliselt kerge on korda seada ka sööti jäetud maad. Enne istanduse rajamist on oluline mitmeaastane umbrohtude tõrje. Et taimed saaksid kasutada mulla toitaineid, peab see olema piisavalt niiske. Paju kasvab nii kergematel liivsavi-, savi- kui ka turvastunud ja turvasmuldadel.

Mõnedes piirkondades võivad pajude kasvu pärssida öökülmad, seda eriti orgudes. Kui on kindlaks tehtud kasvukoht, siis võetakse sellelt alalt mullaproove, et kindlaks määrata hilisem lupjamis- ja väetamistarve.

2.2.2 Maa ettevalmistamine

Enne istutamist tuleb ülesküntud maa korralikult ette valmistada. Selleks kultiveeritakse maa kevadel või sügisel. Mineraalmuldi küntakse reeglina sügisel enne istutamist, kevadel (või juba sügisel) äestatakse põld siledaks. Põllumaa korral, mis ei vaja lupjamist ega väetamist, võib istutada kohe eelmise aasta hilissuvel või sügisel herbitsiididega töödeldud söödile või endisele põllumaale. Savikale mullale ja varasuvel kiiresti kuivavatele maadele on istutamine ilma kevadiste ettevalmistustöödeta riskantsem. Varane istutamine pärsib kevadist seemneumbrohtude arenemist ja vähendab rajamiskulusid.

2.2.3 Istutamine

Istutamine on kogu energiavõsa tsüklis üks töömahukamaid etappe. Et ära kasutada mulla veevaru, istutatakse varem ettevalmistatud maale võimalikult vara-kevadel. Pistoksad istutatakse pikkadesse paralleelsetesse ridadesse, ühele hektarile kulub neid umbes 18 000 tükki. Võib ka hõredamalt istutada, kuid siis tuleb suuremat tähelepanu pöörata umbrohutõrjele. Istutamine toimub käsitsi või spetsiaalmasinatega.

Selleks, et hooldus- ja koristustöödel saaks istandustes kasutada masinaid, istutatakse pistoksad paarisridadesse, millede vahekaugus on 75 cm ning kahe paarisrea vahe on omakorda 125 cm. Laiem reavahe võib olla ka teistsugune, olenevalt kasutada olevate masinate rataste vahekaugusest. Pistokste vahekaugus reas on 50 cm.

Kaherealine istutusmasin istutab 8 tunniga umbes 1 – 1,5 ha. Käsitsi istutades kulub ühe hektari istutamiseks 7 inimtööpäeva. Käsitsi istutamisel surutakse pistoksad mulda otse, nii et tipust jääb maapinnale vaid 1-2 cm.

Kolm nädalat peale istutamist, kui võsud on arenema hakanud, kontrollitakse istandust ning suuremad tühikud täidetakse uute pistokstega. Juurdeistutamist tehakse käsitsi.

2.2.4 Umbrohutõrje

Istanduse hooldamine algab umbrohutõrjega kohe peale istutamist ning enne võsude arenemist, milleks on kaks meetodit.

Keemiline tõrje: Selle korral kasutatakse umbrohutõrjeks herbitsiide, mis aga võivad kahjustada pajutaimi, eriti suur on risk liivmuldadel.

Mehhaaniline tõrje: Kui keemilised vahendid on ebaefektiivsed, tuleb umbrohud mehhaaniliselt hävitada. Mehhaanilist tõrjet tehakse ridafreesi või ridakultivaatoriga. Nende puuduseks on see, et kitsamas reavahes jääb umbrohi pajude vahel kasvama. Vahelthariminе peab toimuma varakult, enne kui umbrohi liiga tugevalt juurduda jõuab. Umbrohutõrjet tuleb kasvuperioodil teha korduvalt.

2.2.5 Väetamine

Istutamise aastal on pajukasvanduses toitainevajadus üsna väike. Sageli piisab mullas olemasolevatest toiteainetest. Huumusvaesetele mineraalmuldadele antakse vähesel hulgal lämmastikku (30-60 kg/ha). Väetatakse siis, kui põld on umbrohust puhas ja üldjuhul tehakse seda juuli esimesel-kolmandal nädalal.

Alternatiivse variandina saaks energiavõsa väetamiseks kasutada mineraalväetiste asemel reovett, reovee puhastamisel tekkinud muda, mudakomposti (reovee puhastamisel tekkinud muda + hakkpuit) või reovee puhastamisel tekkinud muda ja tuha segu. Nende kasutamine aitab kokku hoida väetamiskulusid, mis on 80% kõikidest istutusjärgsetel aastatel tehtavatest kulutustest. (Alternatiivsed väetised ja nende kasutamise efektiivsus on välja toodud peatükis 1.8).

2.2.6 Kastmine

Kui juuni ja juulikuu on väga kuivad, tuleb istandust kasta. Äsjaistutatud pistoksad on kuiva suhtes eriti tundlikud, veepuudusel võib nende kasv pidurduda. Dekaadi kohta on vajalik 30 mm vett.

2.2.7 Lõikamine

Esimese istanduse rajamise järgsel talvel lõigatakse aastased võsud 5-10 cm kõrguselt maha. Esimene lõikus suurendab võrsete arvu põõsal. See on oluline siis, kui istandus

on rajatud pistokste tootmiseks. Selle abil saab järgmisel lõikusel istandusest rohkem pistikuid. Ka energiavõsaks rajatud istanduses tuleb tiheda istanduse saamiseks esimesel aastal põõsad tagasi lõigata.

2.3 Hooldamine kasvuperioodil

2.3.1 Väetamine

Pajuistandusele toitainete juurdeandmine on vajalik tüvedega äraveetavate mineraalainete kompenseerimiseks mullas. Lehtedesse kogunenud ained vabanevad nende kõdunemisel ja lülituvad uuesti aineringesse.

Lämmastikväetisi antakse ammooniumnitraadi kujul. Nitraadid liiguvad mullapoorides kergesti ja ammooniumlämmastik seotakse mulla osakestega. Nii jagunevad toitained mullas ühtlaselt, moodustades seal juurtele kogu kasvuperioodil soodsalt kättesaadavad toitainete varud.

Tabelis 1. on toodud keskmise fosfori ja kaaliumi sisaldusega mineraal- ja soomuldade väetamisvajadused (Sennerby & Johannson, 1994).

Aeg	Toitelement	Mineraal-muld, kg/ha	Turvas-muld, kg/ha
Aasta pärast istanduse rajamist, kevadel	N	60	-
	P	15	15
	K	40	40
suvel	N	20-50	-
Aasta pärast lõikust (iga neljas aasta)	N	80	60 *
	P	35	40
	K	110	130
Vahepealsed aastad	N	80	60 *

* Orgaanilise aine mineraliseerumisel vabanevat lämmastikku hulka on turvasmullas raske hinnata. Kogemused näitavad, et lämmastikväetised mõjuvad siiski kasvu soodustavalt.

2.3.2 Produktsiooniaasta (teine aasta pärast istutamist)

Et vähendada umbrohu kasvu, jagatakse lämmastiku andmine teisel aastal kahte ossa. Fosforit (P) ja kaaliumi (K) antakse kevadel (vt. tabel 4). Sobivad standardkogused on kergetele muldadele kokku 330 kg/ha NPK-d (toiteelemente vastavalt 18-6-12), savisematele muldadele 300 kg/ha (toiteelemente vastavalt 20-5-9). Kui aga atsetaatlahustuva fosfori ja kaaliumi sisaldus mullas on suur, siis võib väetisekoguseid vähendada või hoopis ära jätta.

Ülejäänud lämmastik antakse kesksuvel. Sobiv kogus on 20-50 kg N/ha ning seda võib anda kaltsiumsalpeetrina (150-300 kg/ha).

Esimesel produktsiooniaastal saab väetamiseks kasutada sama tehnikat, mida kasutatakse teraviljade jaoks. Edaspidi kui pajud kasvavad suuremaks, tuleb rakendada eritehnikat (vt. peatükk 1.6).

2.3.3 Järgnevad aastad

Igal lõikusjärgsel aastal antakse P- ja K väetisi. Sobivad kogused on 35-40 kg fosforit ja 110-130 kg kaaliumit hektarile (vt. tabel 4). Selleks tuleks anda 700-800 kg P- ja K väetisi, mille toimeaine sisaldus on vastavalt 5 ja 16 %. Lämmastikku antakse 80 kg/ha (ehk 285 kg 28 protsendilise toimeainega väetist). Turvasmuldade puhul antakse vähem lämmastikku kui mineraalmuldadele. Vahepealsetel produktsiooniaastatel antakse ainult lämmastikväetisi.

2.4 Pajuistanduse saagikus ja seda mõjutavad tegurid

Pajuistanduse esimese aasta juurdekasv on võrreldes järgnevate produktsiooniaastatega suhteliselt väike. Istanduse rajamisel on kõige kriitilisemaks perioodiks juuresüsteemi arenemise algus. Küllaldane mullaniiskus ja hoolikas umbrohutõrje tagavad pistikute korraliku juurdumise (Heinsoo *et al.* 2001).

2.4.1 Energiavõsa tootmistsükkel

Tsükli all mõeldakse aega kahe lõikuse vahel. Tavaliselt on selle pikkuseks 3-7 aastat. Esimeseks tõeliselt produktsiooni andvaks aastaks loetakse istutamise aastale järgnevat aastat. Esimese produktsiooniaasta toodang on 4-8 tonni kuivainet hektarilt. Juurdekasvu mõjutab eelkõige vee ja toiteainete kättesaadavus. Olulised on ka teised mulla omadused, mis olenevad mulla liigist ja lõimisest, samuti kasutatavast kloonist, aasta ilmastiku iseärasusest ning kasvukoha mikrokliimast.

Teisel produktsiooniaastal suureneb toodang eelmisega võrreldes umbes 40% võrra. Juurdekasvu kiirenemine tuleb nii lehestiku kui juurestiku pidevast kasvust. Kolmandal aastal kasvab produktsiooni suurus ligikaudu sama palju kui teisel aastal.

Istandus loetakse lõikusküpseks, kui maapealne biomass (ilma lehtedeta) hektari kohta tõuseb 35–60 tonnini. Sõltuvalt mulla viljakusest ja ilmastikust saavutatakse selline biomassi kogus 3-7 aasta jooksul. Esimene tsükkel on teistest tsüklitest istutamiseaasta võrra pikem, järgnevad tsüklid koosnevad aga ainult produktsiooniaastatest.

Järgmine tsükkel algab lõikusjärgsel kevadel. Tänu tugevasti arenenud juurestikule hakkab taim lõikamise järel jälle hoogsalt edasi kasvama ja juba lõikusjärgsel aastal

saadakse juurdekasv, mis ületab esimese tsükli teise produktsiooniaasta. Kui istandusi lõigatakse õigesti ning taimed saavad neile vajalikke toitaineid piisavalt, saavutatakse teises tsüklis keskmiseks aastatoodanguks 12-15 tonni kuivainet hektarilt. Sama produktiivsus püsib vähemalt järgneva 20-30 aasta vältel.

2.4.2 Produktsiooni kahandavad tegurid

Nii nagu teistegi kultuuride kasvatamisel, tuleb ka pajuistandustes ette kahjurite ja ebasoodsate kliimatingimuste tekitatud kahjustusi või produktsiooni kahandatavat stressi. Kliimateguritest on kõige tavalisemaks produktsiooni alandavaks teguriks külmakahjustused. Juurdekasvu vähendab ka kuivus. Eriti tundlikud on kuivuse suhtes vastistutatud pistoksad. Lisaks külmale ja põuale võivad pajusid kahjustada mitmed roosteseened ja lehtedest toituvad putukad.

Eesti katsealadel kasvatatavate pajuliikide– ja kloonide külmatundlikkus ning haiguskindlus on erinev. Kõige kiirema kasvuga on olnud laialehine paju *S.dasyclados* (kloon 81090), kuid Tõravere istanduses osutus see kloon väga vastuvõtlikuks leheroostele, mille tagajärjel istandus hävis. Saare istanduses kahjustasid laialehist paju kevadised öökülmad, tuues kaasa taimede suremuse (Heinsoo *et al.* 2001).

Taolisi haigusi ja kahjustusi on võimalik vähendada, kui tööstuslikult rajatav pajuistandus sisaldaks segu (näiteks ridade kaupa) erinevatest pajuliikidest/kloonidest. See aitaks takistada võimalikke haiguste levikut ja teisi ühekordseid kahjustusi istanduses.

2.5 Pajuistanduse lõikus

2.5.1 Lõikuste sagedus

Pärast 3-7 kasvuaastat on pajukasvandus koristusküps. Põõsad on selleks ajaks 5-7 m kõrgused ja tüved on rinnakõrgusel 3-5 cm jämedad. Võsud lõigatakse maapinnalt 5-10 cm kõrguselt. Lõigatakse nii, et võsude alumised osad jääksid kännu külge, sest nendelt kasvavad järgmisel aastal uued võsud. Koristuse ajal põõsastele tehtud mehhaanilised vigastused võivad luua soodsad tingimused kahjurite arenguks, samuti on sel juhul pärsitud uute võsude kasv. Pärast lõikust kasvavad kändudest uued võsud ning 3-7 aasta pärast võib koristada uue saagi. Mõnikord võib lõikuse aeg, olenevalt juurdekasvust, kahjustuste ulatusest, nõudlusest toodangu järele, koristusvõimalustest või muudest põhjustest nihkuda mõnevõrra kas varasemale või hilisemale ajale. Pikem kasvuaeg võimaldab saada jämedamaid võsusid, juurdekasvu kiirus on maksimaalne esimese 3-7 aasta jooksul.

2.5.2 Lõikamise aeg

Pajuistandusi lõigatakse talvel pärast lehtede langemist, sest siis on tüvede veesisaldus kõige madalam ning lehtedesse talletatud mineraalained lähevad taas aineringesse. Kõige sobivam lõikuseaeg on detsembrist märtsini. Hilisem lõikamine võib pärssida edasist kasvu, sest toiteained hakkavad tüves juba liikuma. Kõige otstarbekam on lõigata siis, kui maa on külmunud ja lumi pole liiga sügav.

2.5.3 Lõikus ja materjali säilitamine

Lõikamise ajal on võsude niiskusesisaldus umbes 50%-line. Hektarilt võib saada 70-100 tonni toormassi. Pajuistandusest saadav netotulu sõltub oluliselt tehnilisest varustusest ja töö organiseeritusest.

Tervelt lõigatud võsud hakitakse enne põletamist. Ühelt hektarilt saab keskmiselt 250-300 m³ hakkepuitu. Joonis 3 annab skemaatilise ülevaate paju koristamisest ja hilisemast töötlemisest. Et istandus end majanduslikult hästi tasuks, on vaja põhjalikult läbi mõelda kogu tootmisahel, sealhulgas ka saagikoristus ja selle kasutamine.

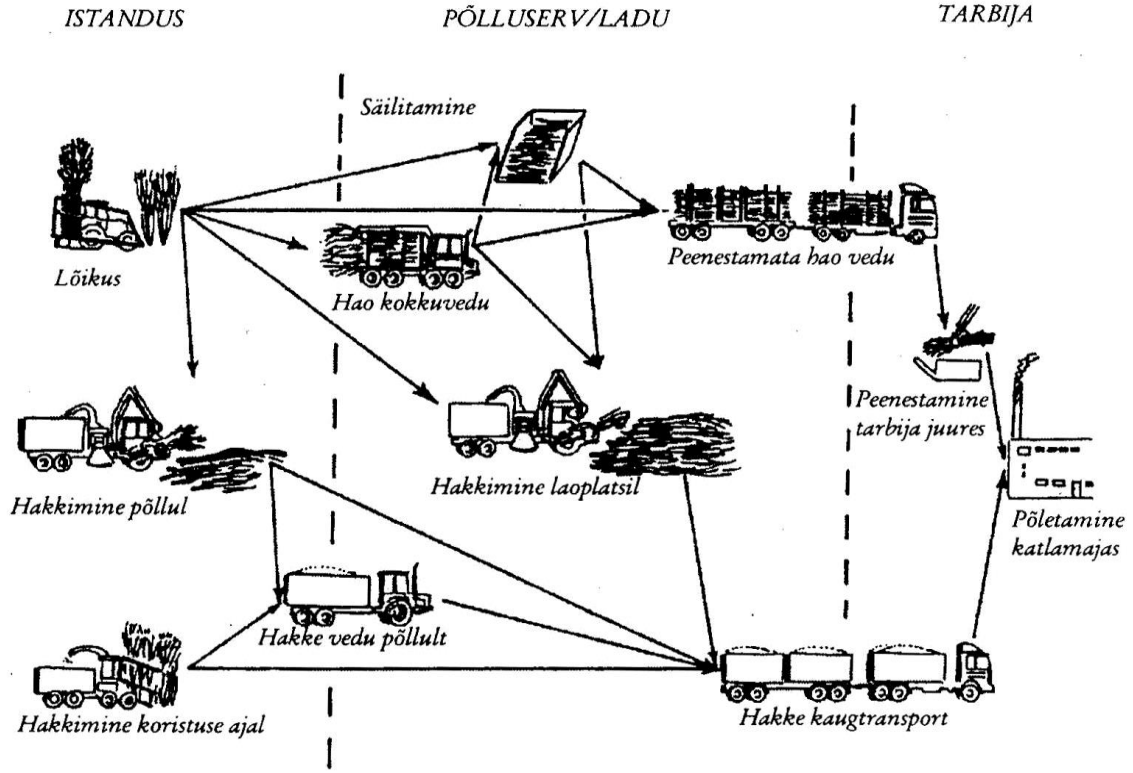
Koristatud materjali säilitakse nii, et energiakaod on võimalikult väikesed ning hoidlas ei hakkaks arenema mikroseened. Õige hoiustamise korral on lagunemine, isesüttimine ja mikroseente arenemise oht minimaalne. Kõige lihtsam on koristatud materjali hoida haona virnas.

Talvel raiutud pajupuit sisaldab umbes 50% niiskust. Suvi läbi haona virnas hoitud materjali niiskus väheneb järgmise aasta oktoobriks-novembriks 20-30%-ni. Orgaanilise aine kadu virnas on väike (ca 7%).

Toore hakke säilitamine kuhjas põhjustab suurt orgaanilist aine kadu, ja on väga suur allergeensete mikroseente masspaljunemise oht, lisaks ei vähene hakitud materjali niiskusesisaldus vajalikul määral. Seetõttu on soovitatav enne hakkimist lasta pajuvõsudel kuivada ja siis hakkida. Või siis kuivatada hakkmaterjali (kuni 25% niiskusesisalduseni), mis parandab olukorda tunduvalt (Lepa *et al.* 1997).

Transport katlamajja toimub autode- või traktoritega. On arvestatud, et üle 50 km kaugusele ei ole majanduslikult mõttekas hakkepuitu transportida (Ross & Koppel, 1996).

Hakkepuitu saab hoida ka ladudes. Lao mahuks hinnatakse orienteeruvalt 110 m³/MW·h katla võimsuse kohta. Laos võib külmumise vältimiseks, eriti niiske hakke korral, olla vajalik ventileerimine või põhja soojendamine (Lepa *et al.* 1997).



Joonis 3. Võsa koristamise ja edasise töötlemise võimalused (Sennerby & Johansson, 1994).

2.6 Energiavõsa kasvatamisel kasutatavad masinad ja seadmed

Kõige enam on energiavõsa kasvatamiseks vajalikke masinaid valmistatud ja arendatud Rootsis. Lisaks toimub ka arendustöö Suurbritannias ja mujal Euroopa riikides. Järgnevalt on välja toodud valik Rootsis kasutatavast tehnikast, millest on kirjutanud Danfors *et al*. 1998, lk. 25-36 ja Elowson, S. 1994, lk. 33-37.

Enne istutamist peab valitud maatükki ette valmistama. Esmalt tuleb hävitada umbrohi, seda tehakse suvel enne istutamist, kasutades kemikaale. Lisaks valmistatakse maapind mehhaaniliselt ette - kündes ja kultiveerides. Selliseid töid tehakse tavapärase põllumajandustehnikaga, mis on ühendatud traktori taha.

Istutamiseks on Rootsis kasutusel kaks kuni kuus rida korraga istutavad masinad. Sellise istutamistehnika jaoks on pistoksad juba eelnevalt ette valmistatud. Kaherealise poolautomaatse istutusmasina võimsus on 0,3 ha/h. Pistokste kaugus üksteisest on 610 mm ja tihedus 16 400 taime/ha.

Järgmisel suvel peale istutamist tuleb teha järjekordset umbrohutõrjet. Seda tehakse nii mehhaaniliselt kui keemiliselt. Mehhaanilist tõrjet saab teha tavalise

põllumajandustehnika, freesi ja kultivaatoriga. Keemilise tõrje jaoks on valmistatud spetsiaalsed masinad, mida saab ühendada traktoriga. Ühe variandina on kasutusel raudplekist *(sheet metal)* silindrid, mis veerevad mööda maad. Sellise kaherealise tehnika *võimsus* on 0,9 ha/h.

Esimese produktsiooniaastal saab istanduse väetamiseks kasutada tavalist põllumajandustehnikat. Teisel- ja kolmandal produktsiooniaastal, kui puud on kasvanud 3 m kõrguseks, peab kasutama metsade väetamiseks kasutatavat tehnikat. See on traktoriga kokkumonteeritud seade (MB-trac 900), mille väetiste laotuse raadius on 40 m. Seadme võimsus väetisehulgaga 350 kg/ha on 5 ha/h.

Võsade lõikuseks on kas varianti:

- võsa lõikus ja hakkimine toimub korraga, seda meetodit kasutatakse Rootsis põhiliselt. Selle meetodi kasutamisel tuleb hakke suhteliselt kiiresti ära tarvitada, st et katlamaja, kuhu materjal transporditakse, peab olema suhteliselt lähedal;
- võsa lõigatakse maha, jäetakse suveks haona virna kuivama ja sügisel hakitakse, selle variandi eeliseks on madalam niiskusesisaldus.

Claas Jaguar – see esialgselt maisi korjamiseks mõeldud masin on ümberehitatud pajuvõsa lõikuseks ja hakkimiseks. Seda lõikurit kasutatakse Rootsis ka kõige rohkem. Paaris-ketassaed lõikavad ühe rea korraga ning materjal hakitakse järelkärusse (vt. joonist 4).

Empire 2000 – antud masin on ehitatud tervete võsude lõikamiseks. Võsud lõigatakse kahe ketas-sae poolt ja kogutakse platvormile, mille kandevõime on 2,5 tonni. Võsusid saab maha laadida virnadesse või auto kasti transportööriga (vt. joonist 4).

Joonis 4. Claas Jaguar ja Empire 2000 (Danfors, 1998).

2.7 Pajuistanduse likvideerimine

Enneaegne istanduse likvideerimine võib ette tulla siis, kui see mingil põhjusel hukkub või jääb kiratsema, näiteks väga tugeva põua või kahjurite rüüste järel. Noorte pajude väljajuurimine on tavalise põllutehnika abil suhteliselt lihtne.

Vana istandust likvideeritakse siis, kui juurdekasv hakkab vähenema, so. umbes 20-30 aasta pärast. Selle ajaga võivad muutuda tootmissuunad ning võib tekkida soov kasutada maad mingi teise kultuuri kasvatamiseks.

Likvideerimisel on kõige olulisem kändude väljajuurimine. Kände juuritakse viimasele lõikusele järgneval suvel. Kasvama hakanud umbrohi ja võsud hävitatakse herbitsiididega. Kännud juuritakse uudismaa-adraga ja korjatakse põlluservale. Hiljem veetakse need ära või põletatakse.

Pärast äestamist ja koristamist saab põllule külvata juba samal sügisel või järgmisel aastal. Samale põllule võib rajada ka uue pajuistanduse.

Kivideta huumusmullale kasutatakse juurte purustamiseks kerget freesi, millega saab koheselt ka ette valmistada külvimaa. Sobilikud on taolised freesid, mida kasutatakse turbatööstuses turba võtmiseks maa ettevalmistamisel.

2.8 Alternatiivsed väetised energiavõsa kasvatamisel

Pajuistanduse tulususe suurendamiseks tuleks mineraalväetiste asemel kasutada alternatiivse variandina reovett, reovee puhastamisel tekkinud muda, mudakomposti (reovee puhastamisel tekkinud muda + hakkpuit) või reovee puhastamisel tekkinud muda ja puidu tuha segu.

Eesti Metsainstituudi poolt tehti energiavõsaga 1993. aastal katseid (Tälli, 1994, lk. 73-77), et hinnata reovee puhastusseadmete muda ja sellest valmistatud komposti efektiivsust mulla parandajana ja toodangu tõstjana energiavõsa kasvatamisel. Uurimuse käigus tehti võrdlus ka teiste orgaaniliste väetistega - kõdusõnniku ja mineraalväetistega (NPK). Lisaks uuriti mudaväeiste korduva kasutamise mõju mullale ja energiavõsa varise keemilisele koostisele (ökotoksiliste metallide sisaldusele).

Katse viidi läbi gleistunud kergel liivsavimullal, mille iga variandi katselapi suurus oli 6 m², kuhu istutati 14 pistoksa. Istutusmaterjaliks oli Rootsi päriolu *Salix viminalis* kloon nr. 78021. Katses väetisena kasutatud toormuda toodi Rakvere reoveepuhastusjaamast, mudakompost oli valmistatud Pärnu puhastusjaama mudast hakkpuidu lisamise teel.

Väetised kaevati mulda enne pistokste istutamist järgmise skeemi kohaselt:

1. Väetamata põllumuld (kontroll)
2. Täismineraalväetis N80 P80 K80 (ammooniumnitraati 250, superfosfaati 400 ja kaaliumkloriidi 160 kg/ha)
3. Kõdusõnnik 40 t/ha
4. Mudakompost 40 t/ha
5. Toormuda 40 t/ha

Kasutatud väetiste toiteelementide sisaldust uurides selgus, et nii muda kui mudakompost sisaldavad rohkesti lämmastikku ja fosforit, isegi enam kui kõdusõnnik, samas jääb nende kaaliumisisaldus kõdusõnniku omast madalamaks. Kõik katses olnud orgaanilised väetised sisaldavad rohkesti kaltsiumi ja magneesiumi.

Võimalike ökotoksiliste elementide sisaldust uuritavates väetistes analüüsides selgus, et keskkonnale ohtlike elementide sisaldused on lubatud piirväärtustest tunduvalt madalamad. Nendest vask, tsink ja molübdeen kuuluvad taimede vajalike mikroelementide hulka ning nende kõrgem sisaldus kõdusõnnikus, mudakompostis ja toormudas suurendab viimaste väetusefektiivsust.

Esimese katseaasta tulemused (vt. Tabel 2.) näitasid, et vitspaju kuivmass kõikidel väetatud lappidel oli oluliselt suurem kui väetamata kontroll-lapil. Suurem oli ka väetatud istikute võrsete pikkus ja juurekaela diameeter. Kasutatud väetistest osutus kõige efektiivsemaks täismineraalväetis. Kontrollist olulisemalt suuremad kasvunäitajad olid ka mudakompostiga väetatud istikutel. Tähelepanu väärib istikute suurem võrsete arv toormuda kasutamisel väetisena, mis on oluline põõsa kujunemisel. Seega näitasid katsete tulemused, et reovee muda ja mudakomposti viimine mulda tõstab oluliselt mulla viljakust, mille tulemusena suureneb energiavõsa tootlikkus juba rajamise aastal.

Tabel 2. Väetamise mõju Vitspaju kasvule nõrgalt gleistunud kergel liivsavimullal (Tälli, 1994).

Katse variant		Pistokste arv	Võrsete arv	Võrset keskmine pikkus		Võrsete keskmine läbimõõt 10 cm maapinnast		Võrsete kuivkaal kogu lapilt (6 m²)	
				cm	% kontrollist	mm	% kontrollist	g	% kontrollist
Väetamata põllumuld		14	26	97.1	100	6.9	100	260	100
N80 P80 K80		14	26	128.4	132	8.7	126	450	173
Kõdusõnnik	40 t/ha	14	24	113.3	117	8.3	120	307	118
Mudakompost	40 t/ha	14	25	124.6	128	8.3	120	350	135
Heitveepuhasti muda	40 t/ha	14	33	113.8	117	8.1	117	430	165

Rootsi Põllumajandusülikooli uurimuste kohaselt sisaldab puhastusjaamade muda liiga palju fosforit. Seetõttu soovitatakse väetisena kasutada toormuda ja puidu tuha segu, sest puidu tuhas on palju kaaliumit ja vähe lämmastikku (Perttu, 1994).

2.8.1 Pajuvõsa kasutamine puhastusfiltrina

Pajuvõsa väetamisel reoveega saab lisaks kokkuhoiule väetiste pealt puhastada ka reovett, mis omakorda säästab vajadust kallite puhastussüsteemide järele. Taolisi puhastusfiltreid nimetatakse ka pajulodu puhastiteks või vegetatsioonifiltriteks, üldjuhul rajatakse neid järelpuhastuseks, mille eesmärgiks on puhastada reovett looduslähedaselt.

Transpordikulude vähendamiseks tuleb istandus rajada reoveeallikale võimalikult lähedale. Reovee jaotamiseks vegetatsioonifiltris on mitmeid võimalusi: isevooluline; kraavides; vihmutitega või torude abil (Heinsoo *et al.* 2001).

Võrreldes seni Eestis kasutatud looduslike biofiltritega on istutatud pajuvõsal mitmeid eeliseid. Neist olulisem on puhastusfiltri pikk tööiga – iga 3…4 aasta järel viiakse filtrist hakkpuiduna ära suur kogus biomassi. Seetõttu väheneb oht, et puhastusfilter küllastuks mõne mineraalainega ning filtri edasine puhastusvõime väheneks.

Puhastusfiltrina kasutatavas pajuistanduses on taimede produktsioon oluliselt suurem, sest a) töötlemata kommunaalvees sisalduvad üldjuhul kõik põhilised mineraalained taimedele sobivas vahekorra, ning seetõttu ei teki taimede kasvu limiteerivat mineraalainete defitsiiti; b) paraneb taimede veega varustatus. Veedefitsiiti peetakse viljakatel muldadel kasvavate või väetatud pajude puhul põhiliseks kasvu limiteerivaks faktoriks (Kirt, 1994).

Aarikese pajuistanduses Tartumaal juhitakse pajulodupuhastisse 5 m³ reovett päevas kõrvalasuvast hooldekodust, aastane lisatav lämmastiku kogus on umbes 5300 kg/ha. Katsed antud proovialal näitasid, et taimede juurdekasv oli kahel esimesel aastal rohkem kui 13 tonni kuiva puitu hektari kohta aastas. Vegetatsiooniperioodil võib reoveega lisada vähemalt 200 kg N istanduse ühe hektari kohta. Arvutuste kohaselt on ühe hektari pajuvõsa abil võimalik puhastada 50 inimekvivalendi poolt aasta jooksul tekitatud reovesi.

Tabel 3. Aarikese pajuistanduse puhastusvõime juuni-november 1999. a. (istanduse pindala 192 m²).

Reostuskoormuse indikaator	Kontsentratsioon sissevoolus	Kontsentratsioon väljavoolus
BHT_7	154,8 mgO_2/l	18,3 mgO_2/l
üldlämmastik	58,8 mg/l	28,3 mg/l
üldfosfor	10,7 mg/l	9,2 mg/l

Pajulodu võimaldab heitvee reoaineid utiliseerida sekundaarse toorainena kas kütteks või käsitöönduses. Kasvatatavast pajust saadud tulu võimaldaks kas või osaliseltki katta reovee puhastamiseks tehtud kulutusi.

Eestis on 0,5 ha suurune pajulodupuhasti rajatud 1993. aastal Väike-Maarja reovee järelpuhastiks ja Aarikesele vanadekodu reovee järelpuhastamiseks, mille kasvu ja reovee puhastuse efektiivsust on uurinud ka antud töö autor.

2.9 Energiavõsa kasvatamise katsed Eestis

Pajude kasvatamisega on tegeldud Eestis eelmise sajandi lõpust alates, kuid siis rajati istutusi punutiste tarbeks. 1992. a. pöördus Uppsalas asuv Rootsi Põllumajandusülikool Eesti teadlaste poole ettepanekuga alustada ühiseid kompleksuuringuid energiavõsa kasvatamise ja kasutamise alal. Edukalt kulgenud läbirääkimiste tulemusena sõlmiti 1993. a. Eesti-Rootsi energiavõsa uurimise koostööprogramm aastateks 1993-1999, mille eesmärgiks oli:

- pajuvõsa kui hakkpuidu tooraine kasvatamise perspektiivid ja majanduslik efektiivsus;
- Eesti keskkonnatingimuste sobivus paju kasvatuseks;
- valida Rootsist saadud kloonidest Eesti olude jaoks kõige produktiivsemad ja vastupidavamad;
- uurida pajukasvatuse kasutamise võimalusi reovee puhastamiseks;

Eesti poolt uurisid energiavõsa kasvatamist teadlased Tõravere Observatooriumist, Zooloogia ja Botaanika Instituudist ja Põllumajandusülikoolist koostöös Rootsi Põllumajandusülikooli teadlastega.

Programmi raames rajati Rootsist saadud 36 000 pistoksaga seitse pajuistandust, mille kogupindala oli ligi kolm hektarit: Tõraveres (0,2 ha), Kambjas (0,3 ha), Saarel (0,6 ha), Väike-Maarjas (0,2 ha), Nõos (1,3 ha), Aarikesel (180 m²) ja Valgas (0,3 ha), Väike-Maarja ja Aarikese kasvatus rajati spetsiaalselt reovee järelpuhastuseks. Istandused läksid korralikult kasvama ja saavutasid 1996. a. lõpuks 5-6 meetri kõrguse ja puidutagavara 17-38 tonni hektari kohta. Eesti prooviistandustes kasvab kaks pajuliiki: vitspaju (*S. viminalis*) ja pikalehine paju (S. dasyclados). Istanduste taimed pärinevad Rootsi põllumajandusülikoolist, kus need valiti välja oma eriti kiire kasvu, haiguskindluse ja kliimasobivuse pärast (Ross *et al.* 1996).

Analüüside ja järelduste põhjal on kindlaks tehtud, et Eestis sobib pajuvõsade kasvatamiseks turvastunud gleimullad ja madalsoomullad, sest nende muldade lämmastikuvaru on suur. Eestis on taolisi muldi ligi 230 000 hektarit ning nad on põllukultuuride kasvatamiseks liiga madala viljakusega ning saagid on ebastabiilsed. Energiavõsa kasvatamiseks on sellised mullad parimad ning hakkepuidu hektarisaak koos väetamisega võib kalkulatsioonide kohaselt ulatuda 16-20 tonnini hektarilt. Oluline on paju kasvu seisukohalt, et mullad ei oleks happelised (pH_{KCl}<5,5).

Viimasel aastakümnel on põllumajandusliku tootmise langusest tulenevalt põllumaa kasutus vähenenud ja seda peamiselt väheviljakatel muldadel. Kui võrrelda

põllukultuuride külvipindasid 1992. ja 1995. aastal, siis selgub, et põllumajanduslik maakasutus on vähenenud 181 200 hektarit ja seda peamiselt teravilja külvipinna vähenemise tõttu. Prognoositakse, et teravilja ja kartuli külvipind moodustab edaspidi vastavalt 300 000 ja 400 000 hektarit. Seega tuleb otsustada, kuidas kasutada maad, mis põllumajanduslikust tootmisest välja jääb. Selleks, et äratada energiavõsa vastu praktilist huvi, peaks pajuistandus andma enam kasumit kui traditsiooniline taimekasvatus (Ross *et al.* 1996).

3. ENERGIAVÕSA KASVATAMISE MAJANDUSLIKUD ASPEKTID

3.1 Nõudlus puiduhakke järele

Taastuvatest energiaallikatest on Eestis kõige pikemat aega ning enam kasutatud puitu. Majanduse intensiivistumine on puidu kasutamist kütusena vähendanud, kuna küttepuude kasvatamine, varumine ning põletamine on olnud seotud suuremate kuludega kui fossiilsete kütuste kasutamine. Arvestades fossiilkütuste varu vähenemist ning sellest tulenevat hinnatõusu, on puidu kasutamine kütusena jälle aktuaalne. Eestis on juba praegu võrdlemisi palju tahkeküttel töötavaid katlamaju (Tartu, Otepää, Haapsalu, Kambja jne.), milledes saab põletada ka pajuhaket, ning mis suudavad soojust toota odavamalt kui gaasi- või masuudikütusel töötavad katlamajad. Väga oluline on biokütuste (sh. ka pajuhakke) majandusnäitajate kujunemisel **maksupoliitika** – eriti see, kui kõrged on fossiilkütustele kehtestatud maksud. Saastamise vähendamiseks kehtestatavad maksud fossiilkütustele võivad biokütuste konkurentsivõimet suuresti tõsta.

Praegu katlamajades kasutatav puit koosneb põhiliselt puidutööstuse- või raiejäätmetest. Kui puidu kasutamine kütusena veelgi laieneb, tekib peagi raskusi toorme hankimisega. Loota praegu võsastuvate teeservade ning mahajäetud põllumaa peale on lühinägelik. Viljakamad põllud leiavad üsna kiiresti otstarbekohase rakenduse, teeservadel või jäätmaal hajusalt ja ebatasasel pinnal kasvava võsa koristamine on liiga töömahukas ja kallis. Puude kasvatamine selleks spetsiaalselt rajatud pajuistandustes on üheks väljapääsuks võimalikule küttepuidu defitsiidile (Heinsoo *et al.* 2001).

Majanduslikel kaalutlustel peab selline istandus :

- asuma katlamajale võimalikult lähedal;
- olema võimalikult produktiivne;
- võimaldama kiiret, mehhaniseeritud koristamist.

Eestis kasvab tänapäeval pidevalt huvi taastuvate biokütuste kasutamise vastu kohalikus energiamajanduses.

3.2 Pajuvõsa tootmiskulud

Tootmiskulud summeeruvad järgmistest kulutustest, millised on seotud (Sennerby & Johansson, 1993):

1. istanduse rajamisega
2. hooldamisega
3. koristamise ja hakkimisega

1. Pajuistanduse rajamine tähendab investeerimist mitmekümneks aastaks. Rajamiskuludena on arvestatud projekteerimise, maa ettevalmistamise, istutamise ja umbrohutõrjega seotud kulutused. Istanduse rajamisel on suurimad väljaminekud seotud istutusmaterjali muretsemisega, mida uute istanduste rajamisel saab kokku hoida, kui toota oma istanduses pistoksi.
2. Rajatud pajuistanduse hooldus seisneb peamiselt järelvalves ja väetamises, vajadusel tuleb teha ka umbrohutõrjet.
3. Saagi koristamise ja hakkimisega seotud kulud on suhteliselt suured. Väga palju sõltuvad need kulud olemasolevast tehnikast ja töö organiseerimisest.

Enne kui hakitud materjal jõuab katlamajja, lisanduvad veel transpordi ja müügikulud. Kalkulatsioonid näitavad, et hakke transportimist üle 50 km kaugusele ei ole majanduslikult tasuv.

Tootmiskulude vähendamiseks eraldatakse näiteks Rootsis talupidajatele iga rajatud pajuistanduse hektari kohta 10 000 krooni toetust.

3.3 Pajuistanduse majanduslik väärtus

Eestis rajatud Saare prooviala väetatud ruutudel oli pajuvõsa keskmine saagikus istanduse esimesel 4 aastat kestnud rotatsiooniperioodil 44 tonni puidu kuivmassi hektarilt. Arvestades, et katlamajades kasutatava hakkpuidu veesisaldus on ligikaudu 40%, võiks tööstusliku pajuistanduse igalt hektarilt saada 73 tonni hakkpuitu iga nelja aasta tagant. Praegult makstakse Tartu katlamajas 1 tonni hakkpuidu eest ligikaudu 330 krooni. Seega oleks ühe hektari pajuistanduse nelja-aastane toodang praeguste hindadega väärt ligi 24 000 krooni. Seetõttu aga, et võsa koristamise ja hakkpuidu transpordi kulud moodustavad ligikaudu ühe kolmandiku puidu lõppmaksumusest (Ross *et al.*1996), on tootjapoolne tulu ühelt istanduse hektarilt umbes 16 000 krooni. Siia pole aga lisatud tehnika soetamiseks tehtud- ja istanduse kaitsega seotud kulutusi. Need muutused võivad aga olla määravaks pajuistanduse tasuvuses.

Siiani tehtud majanduslikud arvestused energiavõsa rajamis- ja hooldamiskulude kohta Eestis (Ross, 1996) on vananenud, kuna kulud nii väetistele, kütusele kui tööjõule on vahepealsete aastate jooksul tunduvalt suurenenud. Ligikaudsed arvutused näitavad, et ka sel juhul, kui kulutused töötasule, kütusele ja väetistele oleksid poole suuremad nimetatud artiklis esitatust, oleks võsaistanduse rajaja ikka veel kasumis. Siinjuures tuleb arvestada, et järgmiste rotatsiooniperioodide jooksul kulutused vähenevad.

Pajuvõsa annab tasuva hakkepuidu toodangu korraliku väetamise puhul. Sama väetamise puhul ei ole odrakasvatamine pajuvõsale sobivatel muldadel majanduslikult tasuv. Seega väheviljakatel gleimuldadel on pajuvõsa kasvatamine hakkepuiduks tasuv ja võib olla üheks alternatiivseks maakasutuse vormiks (Ross & Koppel, 1996).

Energiavõsast saadavat kasumit on võimalik suurendada tehtavaid kulutusi vähendades. Üheks suuremaks kuluartiklis istanduses on mineraalväetised. Sõltuvalt istanduse mullatüübist ja viljakusest moodustab väetise hind teatud andmetel ligikaudu 80% kõikidest istutusjärgsetel aastatel tehtavatest kulutustest. Seda kulu on võimalik vältida, kui kasutada mineraalväetiste asemel reovett, reovee puhastamisel tekkinud muda, mudakomposti (reovee puhastamisel tekkinud muda + hakkpuit) või reovee puhastamisel tekkinud muda ja tuha segu.

Taastuva energiaallikana rajatud pajuvõsa kasutamine reovee puhastajana toob endaga küll suuremaid kulutusi istanduse rajamisel, kuid saadav tulu nii produktsiooni tõusust (kuni 22 t kuivmassi hektarilt aastas) kui reostuse vähenemisest peaks nimetatud kulutusi kompenseerima. Reovee kasutamisel saab lisaks väetiste pealt kokkuhoitud kuludele puhastada reovett, mis omakorda säästab vajadust kallite puhastussüsteemide ja kemikaalide järele (Heinsoo et al. 2001).

Praegusel momendil ei ole pajukasvatus Eestis tõenäoliselt tasuv, sest tehnika soetamise kulud on väga suured. Puudub ka riigipoolne dotatsioon ja toetamine maksusoodustustega. Lisaks leidub praegu küllalt võsastunud alasid, mille puitu saab lähiajal kasutada kütteks. Aga pikemas perspektiivis kui kergelt kättesaadav puit on otsas, on mõttekas rajada pajukasvandusi küttepuidu saamiseks. Seetõttu oleks vaja jätkata riiklikke uurimis- ja arendustöid sellel alal, et muuta pajukasvandust ja selle hooldamist konkurentsivõimelisemaks võrreldes teiste kütuse liikidega. Väga perspektiivne on tulevikus pajulodupuhastite kasutamine väikeasulate reoveepuhastuseks.

4. ENERGIAVÕSA KASUTAMINE KÜTTEKS

Pajuistanduse toodanguks on tüvepuit, mille hulka väljendatakse tavaliselt kuivaine tonnides. Metsanduses kasutatakse sageli ruumalaühikuid nagu tihumeeter või ruumimeeter. (vt. tabel 4.). Kõige enam leiab selline kütus kasutamist peenestatult (hakitult) vahetult kolletes, kuid on võimalik ka selle briketeerimine, söestamine, gaasistamine, või töötlemine vedelkütteks (Lepa *et al*. 1997).

Tabel 4. Pajupuidu massi ja ruumala suhe ning energiasisaldus (MW·h). Andmed käivad kolmeaastase toodangu kohta (Sennerby & Johansson, 1994).

	tonni kuivainet	maht tihumeetrites	maht ruumimeetrites	MW·h
tonni kuivainet	1	2,7	6,7	4,5
maht, tm	0,38	1	2,5	1,7
maht, rm	0,15	0,4	1	0,67
MW·h	0,22	0,6	1,5	1

4.1 Hakkpuidu omadused

- Hakkpuit on võsast, laasitud tüvedest või puidutöötlemis-ja raiejäätmetest saadud ja vastavas hakkuris purustatud puit tüki pikkusega 25…40 mm.
- Hakkpuidu põlevaine koostis on ligikaudu järgmine C =51%, H =6,1%, O = 42,3% ja N =0,6%.
- Hakitud paju kalorimeetriline soojusväärtus on 19,5 MJ/kg kuivaine kohta. Tuginedes Põhjamaade kogemustele võib energiavõsa potentsiaali kütusena hinnata 5 korda kõrgemaks kui raiejäätmetel.
- Tuha ja väävli sisaldus on madal, vastavalt 1% ja 0,03%.
- **Pajupuidust valmistatud hakke põletamisomadused ei erine oluliselt teistest puuliikidest valmistatud hakkest**. Tihiti kasutatakse katlamajades kütuseks segu erinevatest hakkpuitudest.
- Niiskus vähendab puidu kütteväärtust, sest osa puidus sisalduvast energiast kulub vee aurustamiseks. Õige koristamise ja toormaterjali kuivatamisega on võimalik puidu niiskusesisaldust tunduvalt vähendada.
- Paju puidu tihedus on 430 kg/m³.

- Puit on energeetikas üks loodussõbralikumaid materjale. Ta ei lisa keskkonda täiendavat süsihappegaasi (CO_2), sisaldab väävlit ja enamasti ka tuhka vähem, kui fossiilsed kütused (põlevkivi, kivisüsi,). Kasvav pajuvõsa võtab keskkonnast pidevalt tagasi selle süsihappegaasi, mis vabaneb puidu põletamisel.

Tartu Aardla katlamajas kasutatud kütuste (sh. ka hakkpuidu) kvaliteedi näitajad aastal 2000 on välja toodud Lisas 2.

Tabel 5. Mõnede energiakandjate kütteväärtused ja neis sisalduva energia maksumus 1999. a. seisuga. (Statistikaamet, 2000).

Nimetus	Ühik	Kütteväärtus MW·h/t	Hind kr/t	Energia maksumus kr/MW·h
Küttepuud	kg/t	3,6	700	194
Hakkpuit (W =25%)	kg/t	3,5	330	95
Hakkpuit (paju)	kg/t,	4,5	330	73
Turbabrikett	kg/t	4,0	700	175
Tükkturvas	kg/t	3,5	241	69
Kivisüsi	kg/t	7,0	784	112
Põlevkivi	kg/t	3,3	142	43
Saepurupelletid	kg/t	5,9	1300	220
Raske kütteõli	kg/t	11,1	926	83
Vedelgaas	kg/t	12,5	6423	513
Kerge kütteõli	kg/t	11,4	2800	245

Puidu kütteväärtus on energia hulk, mis saadakse 1 kg puidu täielikul põletamisel.

Erinevate pajuliikide puit erineb oma füüsikaliste omaduste poolest mõnevõrra. Üldiselt tõuseb kvaliteet koos vanusega. Pikema kasvutsükli korral saab jämedamaid, tihedama puidu ja madalama niiskusesisaldusega tüvesid. Võrdlemisi peenikestest pajude okstest ja tüvedest moodustab suure osa koor, mille osatähtsus vanuse suurenedes väheneb. Küttematerjalina kasutamisel pole puidu füüsikalistel omadustel suurt tähtsust (Sennerby & Johansson, 1994).

Ligikaudsed kalkulatsioonid näitavad, et Eestis oleks ilma suurema kahjuta põllumajanduslikule tootmisele energiavõsa rajamiseks kasutada 0,2 mln. hektarit maad. Rootsi kogemustel võib kolmeaastase tootmistsükli korral saada keskmiseks toodanguks aastas 12-15 tonni kuiva puitu hektarilt. Energeetiliselt väärtuselt vastab biomassi kuivaine tonn 0,5-0,6 tonnile vedelkütusele või 2 tonnile põlevkivile. See tähendab, et 200 000 ha aastaseks kütteaine ekvivalendiks oleks 1,5-1,8 miljonit tonni kütteõli (Hallemaa, 1994).

4.2 Hakkpuidu põletamiseks sobivad katlad

Kodumaiste kütuste põletamise tehnoloogiatest on kasutusel põhilised suundumused – gaasi - masuutkatelde üleviimine kohalikele kütustele; uute spetsiaalselt hakkpuidu põletamiseks ettenähtud katelde ülesseadmine. Need muutused on ajendatud eelkõige rahalistest kaalutlustest, sest importkütused on kodumaistest kallimad. Hakkpuit sobib kasutamiseks nii tööstus- kui ka väikekateldes.

Hakkpuidu põletamiseks on erinevaid põletusseadmeid(Lepa *et al.* 1997):

- stookerpõleti ehk nn. tahkekütuse põleti kasutamine;
- eelkolde kasutamine;
- eelkoldega koos töötav vee-ja aurukate.

Stooker ehk tahkekütuspõleti

Tahkekütuspõletit ehk stookerit kasutades on võimalik kütta tahke kütusega ilma soojussalvestita. Seadmestikku kuulub kütusemahuti, etteandeseadmed ja põletipea. Põleti lükatakse katlasse spetsiaalavause või teenindusluugi kaudu. Ekspluatatsiooni seisukohalt on parem, kui katlas on spetsiaalne põletiluuk. Siis on põleti süütamine, järelvalve ja tuha eemaldamine lihtsamalt korraldatavad.

Põleti on põlemisviisi poolest alt- või pealtpõlemisega. Kütust lisatakse juurde vähehaaval. Üldjuhul söödetakse kütust teoga mahutist põletisse. Ettekannet reguleerides võib muuta seadme maksimaalvõimsust. Põleti töötab katla termostaadi poolt juhituna reguleeritud võimsusel kui katlast võetakse soojust. Katlavee temperatuuri piisava tõusu korral läheb süsteem ootetuleasendisse ja valmisolekuolukorda, kuni soojust jälle vajatakse. Kütuseks sobib hakkpuit, saepuru, põletus- ja freesturvas. Tahkekütuspõleti on välja toodud joonisel 4.

Eelkolle

Eelkolde juurde kuulub kütusepunker, kust kütus valgub restile või juhitakse sinna automaatselt. Restile juhitakse primaarõhku, mille abil kütus gaasistub. See mittetäielikult põlenud gaas juhitakse leegitoru kaudu katlasse, kus gaasid põlevad lõpuni. Vajalik sekundaarõhk juhitakse leegitorru. Eelkoldel ei ole veesärki, mistõttu see peab olema soojuslikult hästi isoleeritud. Hea põlemine ja katla püsimine puhtana on eeldused, mis annavad eelkoldega katlaga eelised võrreldes traditsioonilise pealtpõlemiskatlaga. Eelkolde puhul saab vanu õlikatlaid kasutada soojus-vahetina. Eelkolle on välja toodud joonisel 4.

Vedelkütuskatla võib ehitada ümber tahkekütuskatlaks, paigaldades talle eelkolde. Eestis on levinud katla “Kiviõli 80“ tootmine, mis sobib hakkpuidu põletamiseks eelkoldega variandis. Ka pealtpõlemisega puidukatlale sobib eelkolle, mille kaudu

ühekordne kütusekogus suureneb ja põlemine katlas paraneb. Katelt võib sellisel juhul kasutada otsesel küttel ilma soojussalvestita. Kütuse suhtes ei ole eelkolle väga nõudlik – sobib ka suhteliselt niiske hakkpuit.

Joonis 4. Stookeri- ja eelkoldega põletusseadme ehitus (Strehler, 2000).

4.3 Biokütuste põletamise seadmete kompleks

Alljärgnevalt on välja toodud Eesti firma AS Tamult-i (Taal, 2000) poolt ehitatavate ja monteeritavate biokütuste põletamise seadmete kompleksi iseloomustus.

Automaatne mehhaniseeritud biokütuse hoidla

Automaatselt vastavalt etteantud programmi järgi töötavad mehhaniseeritud kütuse hoidlad on ette nähtud hakkpuidu, saepuru, frees- ja tükkturba ladustamiseks ja katlamajja edasiviivatele kütusetransportööridele pealeandmiseks. Kütuse ladustamine võib toimuda otse autolt ja traktorikärult või frontaallaaduriga. Võimalik on ehitada maa-aluseid, maapealseid ja maapinnast kõrgemal asuvaid punkerladusid. Soovitavalt ehitatakse vähemalt kolme ööpäeva varu suuruseid ladusid. Mehhaniseeritud laoosa põrandal toimub kütuse liigutamine "redel tüüpi" kütusekraapide abil. Kütuselao teises otsas asub biokütuse kraap- või tigutransportöör kütuse viimiseks kalamajja. Kütuse ühtlaseks pealeandmiseks transportöörile on paigaldatud tasandusrull. Liikuvate "redelite" ja tasandusrulli töösse lülitamine toimub katlamaja juhtpuldist käsitsi või automaatselt vastavalt põletamisseadme kütusešahtis olevale nivoole. Antud tüüpi lao konstruktsiooni on välja töötanud Rootsi firma Saxlund AB.

Biokütuse transportöörid

Biokütuste transportööride ülesandeks on biokütuse lao liikuvatelt "redelitelt" saabuva kütuse edasikandmine katlamajja põletamisseadme ees asuvasse kütusešahti.

Sõltuvalt biokütuse iseloomust ja osakeste suurustest on põhiliselt kasutusel kütuse kraaptransportöörid või tigutransportöörid. Kraaptransportööre kasutatakse suuremamõõduliste biokütuste osakeste korral või kui lao ja katlamaja vahemaa on suur. Kütusetransportööride töösse lülitamine toimub katlamaja juhtpuldist käsitsi või automaatselt vastavalt põletamisseadme kütusešahtis olevale nivoole.

Kütuse šaht

Biokütuse transportöörilt saabuv kütus puistatakse põletamisseadme esiosas olevasse kütusešahti. Kütusešaht on alt laienev, laiemal küljel asuva vaateaknaga kütuse nivoo jälgimiseks ning kitsamal küljel nivoo anduriga. Kütusešaht on varustatud automaatselt sulguva hüdraulilise siibriga, mis sulgub, kui šahti temperatuur tõuseb üle 100°C. Kütuse nivood šahtis reguleeritakse mehhaanilise anduriga.

Hüdrauliline kütuse sissetõukur

Kütuse šahti all asub kütuse põlemiskambrisse sissesöötmise seade, mille ülesandeks on kütuse perioodiline suunamine kolderestidele. Kütus tõugatakse koldesse hüdraulilise tõukuri abil (Saxlund AB). Sissetõuke ava suurus on tavaliselt kolde laiusega võrdne ning kütus lükatakse koldesse kogu kolde laiuselt. Tõukur on ühendatud kolde restiga vesijahutusega raami abil.

Põletamisseadmed (eelkolded, põlemiskambrid)

Biokütuseid on võimalik kolde restil põletada olemasoleva katla põlemiskambris või katelde ette paigaldatud eraldi asetsevas eelkoldes. Niiskemate kütuste (W = 50-60%) põletamiseks on sobivam kasutada eelkoldeid, kuivemaid kütuseid saab eraldi põletada aga katla enda põlemiskambrisse asetatud restil. Mõlemal juhul paigaldatakse koldeisse õhkjahutusega malmist restid, mille liigutamine üksteise suhtes perioodiliselt toimub hüdrosilindritega ühendatud raamistiku abil, mis liigub rullide peal. AS Tamult-i poolt paigaldatakse nii Eestis valatud ilma kroomita malmreste (eluiga 2-3 aastat) kui ka Saxlund AB poolt tarnitud 26% kroomsisaldusega malmreste (eluiga 5-8 aastat).

Tuhk eraldatakse 4. sektsioonis (1.-3. sektsioonis läbi resti varisenud tuhk ning 4. sektsioonis resti otsalt maha vajunud tuhk). 1.-3. sektsioonis eraldunud tuhk eemaldatakse resti alt perioodiliselt käsitsi küljel asuvate luukide kaudu, 4. sektsiooni tuhk eemaldatakse mehhaaniliselt tuhateo abil.

Õhku antakse primaarõhu ventilaatoritega resti alla 3. sektsioonis ning sekundaarõhu ventilaatoriga kolde külgedelt ning tertsiaalõhuna tulekanali ja katla ühenduskäiku. Sekundaarõhk imetakse kolde külgseinte vaheliste kanalite kaudu, mille tagajärjel toimub ka kolde seinte jahutamine. Kui on tegemist küllalt märgade kütustega (W>55%) saab paigaldada ka primaarõhu eelsoojendamiseks lahkuvate suitsugaaside jääksoojusega toru-tüüpi soojusvaheti. Eelsoojendatud õhu temperatuuri reguleerimine toimub automaatselt, vastavalt anduritelt saadava signaali järgi.

Eelkolde on konstrueerinud AS Tamult koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika Instituudi ning Rootsi firma Saxlund AB-ga. Põlemise kasutegur on 97%, resti koormus tavaliselt 550-600 kW/m², kolde välispinna temperatuur on ~45°C.

Tuhaärastus

Tuhatigu, mis asub resti taga koldes, toob tuha ja šlaki välja liigutatavasse tuhakonteineritesse, mis asuvad neljal rattal ja on hermeetiliselt ühendatud koldega siibri abil, eraldi paigaldatavatele tuha transportööritigudele, mis viivad tuha väljasasuvasse konteinerisse. Tuhatigusid valmistab AS Tamult.

Biokütuse põletamiskambriga koos töötav vee-ja aurukatel

Biokütuse põlemiskambriga on võimalik ühendada nii horisontaalseid kui ka vertikaalseid auru-ja veekatlaid. Võimalik on kasutada leek-suitsutorukatlaid (Kiviõli, Vapour jt.) kui ka kambripõlemisega auru- ja veekatlaid (DKVR, KVGM jt.). Selle tõttu, et Eestis sobivaid katlaid ei valmistata, on viimasel ajal AS Tamult kasutanud Läti Vabariigis Rootsi jooniste järgi valmistatud vertikaalseid leek-suitsutorukatlaid. Sellised on paigaldatud Võru haigla katlamajja võimsusega 2 MW ja Otepää Veevärgi katlamajja 2,5 MW.

- katelde lubatud maksimaalne töörõhk on 6 bar;
- maksimaalne vee temperatuur on 120°C;
- katlasse siseneva vee temperatuur on 70°C;
- kasutegur biokütuse põletamisel ulatub 85-88%-ni.

Multitsüklon

Katlast väljuvates suitsugaasides olevate tahkete lendosade püüdmiseks on vajalik paigaldada multitsüklon. Kasutusel on multitsüklonid, kus samasse korpusesse on vertikaalselt ning paralleelselt paigutatud mitu tsentrifugaalset tsüklonit. Suitsugaaside tolmusisaldus peale tsüklonit on < 300mgNm³.

Suitsuventilaatorid

Suitsuventilaatoritena on kasutusel Rootsi firma ABB poolt valmistatud tsentrifugaalventilaatorid.

Kontroll- ja automaatjuhtimissüsteem

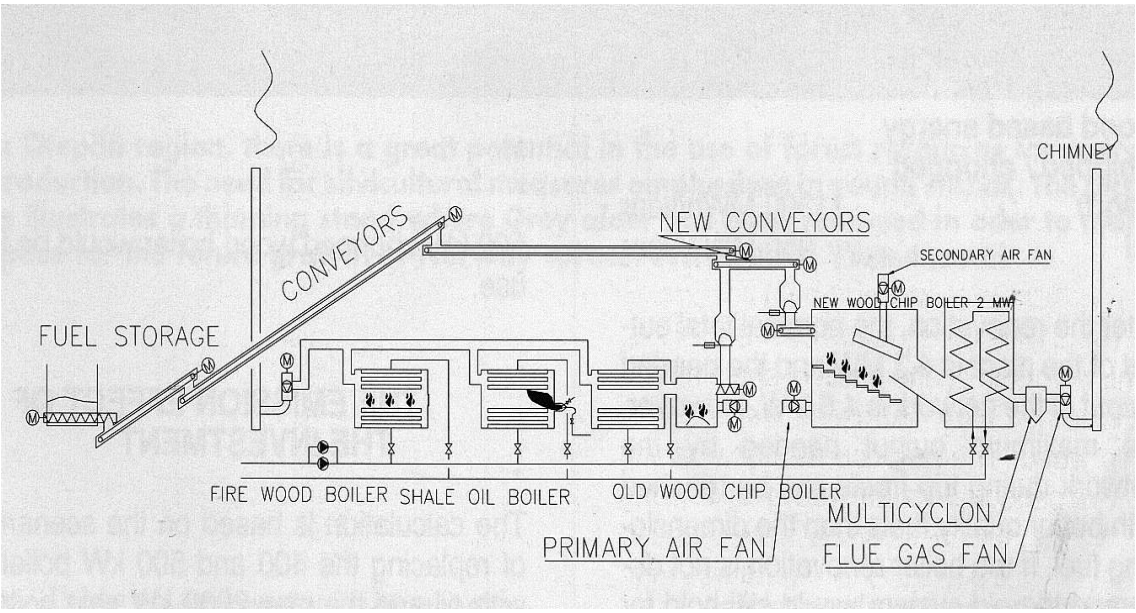
Kütuse etteandmise ja põlemise protsessi koldes juhitakse Siemens või analoogsete mikrokontrolleritega. Operaatori paneelil on protsessi diagramm, mis näitab kogu protsessi tööd. Automaatika ja juhtkilbi uksel olevate lülititega saab käivitada ja seisatada mootoreid ning muuta regulaatorite väljundsuurusi. Kontrollerid on programmeeritud nii, et saades signaalid kõikidelt tööprotsessi jälgivatelt anduritelt, teostavad nad vastavate käskluste abil protsessi juhtimist automaatselt.

Põlemisprotsessi efektiivsuse tõstmiseks on võimalus paigaldada O_2 mõõtja ja regulaator. Kogu protsessi töö on blokeeritud, kui kolde hõrendus kaob, vee ja kütusešahti temperatuur või auru rõhk ületavad lubatud etteantud suurused ning kui vee nivoo langeb alla lubatu.

1999. aastal laiendati AS Tamulti poolt Otepää katlamaja, vana õlipõleti ning kaks väiksemat puukatelt asendati majanduslikult konkurentsivõimelisema ning keskkonnasäästlikuma 2,5 MW-se maksimaalse võimsusega hakkepuidul töötava katlaga. Lisaks kasutatakse vajaduse korral vanu õli- ja halupuidukatlaid. Katlamaja

kogu maksimaalne toodetav energia pärast rekonstrueerimist on 4,6 MW, mida on vaja ainult suurte koormuste korral Otepää linnas (Ernits, 1999).

Otepää Veevärgi katlamaja tehniline lahendus on põhijoontes sama eespool toodud biokütuste põletamise seadmete kompleksi iseloomustusega. Katlamaja tehniline lahendus on välja toodud joonisel 5. Antud projekti finantseerisid EL, Soome kaubandus- ja tööstusministeerium, põllu- ja metsamajandusministeerium, välisministeerium, Eesti riik, Otepää linn ja TTS. Käesolevaks ajaks on investeering ennast majanduslikult- ja ökoloogiliselt õigustanud. Sooja toodetakse väiksemate kulutustega ja efektiivsemalt kui kütteõli kasutades.



Joonis 5. Otepää Veevärgi uue katlamaja tehniline lahendus (Ernits, 2001).

4.4 Majanduslikud aspektid sooja tootmisel hakkpuidust

Soojuse hinna kujunemisel on määravaks:

- nõudlus turul;
- hakkpuidu maksumus võrreldes teiste kütustega;
- seadmete amortisatsioon ehk kapitaalmahutuste osa toodetud soojuse hinnas, töötasu, ekspluatatsioonilised kulutused jne;
- riigi maksusüsteem.

Kohalike kütuste kasutamisel osutuvad seadmete hankimiseks tehtavad kulutused soojuse hinna kujundamisel määravaks – selle osatähtsus on suurem kütuse omast.

Amortisatsioonikulud on seda väiksemad, mida enam seadmeid koormata. Seadmete hankimiseks tehtavad kulutused koos võimalike laenuprotsentidega annavad soojuse maksumusse seda väiksema osa, mida rohkem antud seadmetega soojust toodetakse. Mida väiksem on katla või eelkolde võimsus, seda tundlikum on ta kütuse kvaliteedi, eriti niiskusesisalduse suhtes (Vares, 1994).

Hakkpuit on konkurentsivõimeline, kui hakke baasil toodetud (soojus-) energia hind ei ole kõrgem kui teiste kütuste baasil toodetul. Selleks, et saavutada minimaalsed amortisatsioonikulud ja tagada hakkpuidust toodetava soojuse konkurentsivõime, peaksime tagama hakkpuidukatla täiskoormusega töö kogu kütteperioodi jooksul. Eesti küttekatlamajades on hea planeerimisekorral võimalik hakkpuidukatlaid koormata aastas umbes 4000 h ulatuses (Vares, 1994).

Paljud Euroopa arenenud riigid (Taani, Rootsi , Soome jt.) on fossiilsetele kütustele kehtestanud saaste- ja energiamaksudega suurendanud keskkonnasõbralike biokütuste konkurentsivõimet. Nende maksude rakendamine annaks võimaluse kasutusele võtta kaasaegsemaid tehnoloogiaid ja sellist toorainet, mida hetkel pole majanduslikult tasuv kasutada, nagu näiteks energiavõsast saadavat puitu (Mets, 2000).

5. ENERGIAVÕSA KASVATAMISE JA KASUTAMISE POSITIIVSED JA NEGATIIVSED ASPEKTID

Positiivsed aspektid

- Energiavõsast saadava puidu põletamine on efektiivne vahend CO_2 emissiooni vähendamiseks. Võsa kasvatamine ja sellele järgnev kasutamine energeetilisel otstarbel paneb atmosfääris sisalduva süsiniku ringlusse ja süsiniku eraldus atmosfääri ei suurene;
- Taimekaitsevahendeid kasutatakse energiavõsa kasvatamisel vähem võrreldes traditsioonilise taimekasvatusega;
- Energiavõsa kasvatamisel suureneb mulla viljakus, väheneb pinna erosioon ja seob maapinnast seotakse raskemetalle;
- Energiavõsa kasvatamisega kaasneb suurem biodiversiteet võrreldes traditsioonilise taimekasvatusega;
- Võimalus kasutada energiavõsa biopuhastina heitvete järelpuhastuseks, samuti on võimalik heitvete jääkmuda kasutada energiavõsa väetamiseks;
- Energiavõsa saab kasutada veekogude kaitsetsoonides või spetsiaalsete puhastusribadena hajureostuse vähendamiseks;
- Energiavõsa kasvatamisel on väiksem toitainete väljauhtumine pinnasest kui traditsioonilise taimekasvatuse puhul;
- Energiavõsa on taastuv energiaallikas;
- Võrreldes fossiilsete kütustega puudub väävli reostus;
- Energiavõsa kasutamine kohaliku kütusena vähendab fossiilsete kütuste osa energiamajanduses ja säästab Eesti põlevkivi;
- Võrreldes fossiilsete kütustega on biomass ökoloogiliselt praktiliselt “puhas” energiaallikas. Jääkaineks on tuhk, mis läheb mineraalväetisena taas ringlusse.
- Taastuva energiaallikana vähendaks see Eesti majandussõltuvust välisriikidest;
- Uute töökohtade loomisega võivad energiavõsa kasvatused leevendada tööpuudust maal, sest energiavõsa kasvatamine on üks alternatiivne maaviljeluse vorm.

Negatiivsed aspektid

- Psühholoogiline barjäär võsa kasvatamise vastu põllul;
- Tehnoloogia on küllaltki töömahukas ja kallis, eriti kui puuduvad spetsiaalmasinad (istutamiseks, koristamiseks);
- Majandamine on küllalt töömahukas, kuid peale istanduse rajamist langeb põhiline töömaht – koristamine – kevad-talvisele ajale;
- Fossiilkütuste põletamisel tekkivate heitmete maksustamine Eestis EL-il kehtestatud normide järgi võib järsult tõsta energia hinda, mis suurendab elanikkonna väljaminekuid ja suurendab ettevõtete tootmiskulusid;
- Puiduhakke seadmed on kallimad kui fossiilsete kütuste põletamise omad;
- Puiduhakke põletamisega kaasneb suur tolmu emissioon, seetõttu on vajalikud filtreid või multitsüklonid, mis vähendavad tolmureostust;
- Puidu põletamisel on õhus paratamatuks nähtuseks lämmastikühendite (NOx) teke, mis on küllalt toksilised.

KOKKUVÕTE

Euroopa kogemus näitab, et energiavõsa kasvatamine küttematerjali saamiseks on perspektiivne. Ulatuslikult praktiseeritakse energiavõsa kasvatust Rootsis, kus tegeletakse ka palju selle valdkonna arendamisega. Sellist suurejoonelist kasvatamist soodustab ka sealne riigipoolne suur toetus erinevate subsiidiumite näol.

Antud momendil pole Eestis pajukasvatus veel majanduslikult tasuv, sest hetkel on metsades lähema paarikümne aasta jaoks puiduhakke ressursid olemas raiejäätmete, väheväärtusliku puidu ja lepavõsa näol. Lisaks on väetistele ning spetsiaalsete masinate soetamiseks tehtavad kulutused liialt suured ja puudub ka riigipoolne toetus.

Pikemas perspektiivis kui kergelt kättesaadav puit on otsas, võib tulla kõne alla pajuistanduste rajamine küttematerjali saamise eesmärgil. Seda toetab ka riigipoolne pikaajaline energiamajanduse arengukava, mis soovitab energiavõsa ja muu energeetilise biomassi tootmise võimalikku alustamise ja kasutuselevõtu analüüsimist nende majandusliku otstarbekuse, regionaalarengu ja põllumajanduspoliitika seisukohalt ning EL direktiive ja põhimõtteid silmas pidada.

Arvestades energiavõsa ja muude biokütuste väikest keskkonnaohtlikkust ning positiivset mõju regionaalarengule ja tööhõivele, on riigipoolselt kavandatud nende kütuseliikide osatähtsuse tõusu kütusebilansis. Seejuures energiavõsa ja teised biokütused on taastuv loodusvara ja nende põletamisel atmosfääri paisatavaid CO_2 heitmeid ei arvestata kasvuhoonegaaside hulka, kuna see ei mõjuta süsiniku ringkäiku looduses.

Potentsiaali energiavõsa kasvatamisel on, sest uurimuste põhjal on kindlaks tehtud, et Eestis saaks ilma suurema kahjuta energiavõsa rajamiseks kasutada 220 000 ha maad, kus teravilja kasvatus ei oleks võimalik. Energiavõsa kasvatuse tulusust saab tõsta kui kasutada mineraalväetiste asemel alternatiivseid väetisi (nt. reovee puhastamisel tekkinud muda). Seega võiks energiavõsa kasvatus olla üheks maakasutuse vormiks, mis vähendaks maapiirkondade tööpuudust. Lisaks on Eestis ehitatud või rekonstrueeritud hulgaliselt väikekatlaid puitkütusel töötavateks, kus saab põletata ka energiavõsa hakkpuitu.

Tulevikus on vaja jätkata riiklikke uurimis- ja arendustöid, et muuta pajukasvandust ja selle hooldamist ning selleks vajalik tehnoloogia konkurentsivõimelisemaks võrreldes teiste kütuse liikidega. Perspektiivne on ka pajulodupuhastite kasutamine väikeasulate reoveepuhastuseks, mis lisaks kokkuhoiule väetiste pealt puhastab ka reovett ja annab küttepuitu.

Kasutatud kirjandus:

Christersson, L. Sustainable cultivation of broadleaved trees in a recycling community – Short Rotation Willow Coppice for Renewable Energy and Improved Environment. Tartu, 1995. lk 7-13.

Danfors, B., Ledin, S., Rosenqvist H. Short-Rotation Willow Coppice - Growers Manual. Sweden: Swedish Institute of Agricultural Engineering, 1998. 39 pp.

Danfors, B. Machinery for short rotation forestry – Handbook on How to Grow Short Rotation Forests. Sweden, 1992. Pp 5.5.1-5.5.12.

Elowson, S. Mashinery for planting, management, harvesting and chipping – Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 33-37.

Ernits, N. Bioenergia (energiapuidu) pilootprojekt Eestis – Põllumajandus, 1999, nr 12, lk 2-3.

Hallemaa, H. Energiamets – katsetest riikliku programmini Eestis - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 54-57.

Hatje, W., Ruhl, M. 2000. Use of biomass for power- and heat- generation: possibilities and limits. Ecological Engineering. 16. pp 41-49. Elsevier.

Heinsoo, K., Sild, E., Koppel, A. Pajuistandused energiaallikana ja vegetatsioonifiltrina. Tartu, Zoloogia ja Botaanika instituut, 2001.

Kallaste, T., Roos, I. Baasjoonte määramine ühisrakendusprojektidele CO2 emissiooni vähenemise arvutamiseks soojatootmisel - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Esimese konverentsi kogumik. Tartu, 2000. lk. 72-83.

Kirt, E. Pajulodu kasutamine keskkonnakaitsel - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 61-65.

Koppel, M., Ots, M. Taastuvate energiaallikate kasutamine Eestis - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Esimese konverentsi kogumik. Tartu, 2000. lk. 10-18.

Lepa, J., Jürgenson, K., Hovi, M. Alternatiiv- ja väikeenergeetika. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool, 1997. 67 lk.

Mets, Ü. Biokütused Euroopas - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Esimese konverentsi kogumik. Tartu, 2000. lk. 103-111.

Paist, A. Biokütused Eesti kütusemajanduses – Turvas, 1999, nr. 3/4, lk. 53-56.

Paist, A., Poobus, A. Hakkpuidu omadused ja kasutamine - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 80-82.

Perttu, K. Economy of energy forestry: comparison between traditional fertilization and use of municipal sludges - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 38-45.

Ross, J., Koppel, A. Energiavõsa, bioenergia varud ja Eesti energiaprogrammi teoreetilised alused - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 14-21.

Ross, J., Koppel, A., Roostalu, H. Kas pajuistandikel on Eestis perspektiivi energiametsana – Põllumajandus, 1996, nr. 11, lk. 15-19.

Sennerby, L., Johansson F.H. Energiavõsa väike käsiraamat. Tallinn: SEI ,1993. 40 lk.

Strehler, A. 2000. Technologies of wood combustion. Ecological Engineering. 16. pp. 25-40. Elsevier.

Taal, J. Katlamaja rekonstrueerimine biokütusel töötamiseks - Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Esimese konverentsi kogumik. Tartu, 2000. lk. 93-98.

Tälli, P. Puhastusseadmete toormuda ja mudakomposti kasutamise effektiivsusest energiapaju istanduses - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 73-77.

Vares, V. Puiduhakke kasutamise kogemusi Eestis - Energiavõsa kasvatamine ja kasutamine. Konverentsi materjalid. Tartu, 1994. lk. 77-79.

Öpik, I. Biokütus Eesti energiamajanduses – Eesti Mets, 2000, nr. 1, lk. 11-12.

Eesti energiamajanduse pikaajaline arengukava, Majandusministeerium, 1998.

Lisa 1. Eestis puitu ja turvast kasutatavad katlamajad 1997/1998.a.

Lisa 2. Tartu Aardla katlamajas kasutatud kütuste kvaliteedi näitajad aastal 2000.