



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

PUIDUPÕHISE BIOMASSI ENERGEETILINE
KASUTUSVÕIMALUS EESTIS JA SEDA PIIRAVAD
TEGURID

USE OF WOOD-BASED BIOMASS ENERGY IN ESTONIA AND LIMITING FACTORS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Rebeka Kukk

Üliõpilaskood: 163080MASM

Juhendaja: Alar Konist, professor

Tallinn 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“28” mai 2018

Autor: Rebeka Kukk

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja: Alar Konist

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Rebeka Kukk, 163080MASM

Õppekava, peeriala: MASM, soojusenergeetika

Juhendaja(d): Professor, Alar Konist, 620 3907

Konsultandid:(nimi, amet)

.....(ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

PUIDUPÕHISE BIOMASSI ENERGEETILINE KASUTAMISVÕIMALUS EESTIS JA SEDA PIIRAVAD

TEGURID

USE OF WOOD-BASED BIOMASS ENERGY IN ESTONIA AND LIMITING FACTORS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tuua välja puidupõhise biomassi kasutus soojus- ning elektrienergia tootmiseks Eestis
2. Hinnata mingi kindla puitkütuse kasutamisevõimalusi Eestis
3. Tuua välja puidupõhise biomassi kasutamist piiravad tegurid Eestis

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teema valik	14.04.18
2.	Lõputöö kirjutamine	01.06.18
3.	Kaitsmiseks valmistumine	06.06.18

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "01"juuni 2018a

Üliõpilane: Rebeka Kukk "....."201....a

/allkiri/

Juhendaja: Alar Konist "....."201....a

/allkiri

Konsultant:

"....."201....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

TABELITE LOETELU	6
EESSÕNA	8
SISSEJUHATUS	9
1 PUIDUPÕHINE BIOMASS	10
1.1 Puidupõhiste biokütuste klassifikatsioon.....	10
1.2 Puitkütuste liigid	11
2 PUIDUPÕHISTE BIOKÜTUSTE ENERGEETILINE KARAKTERISTIKA	12
2.1 Puidu keemiline koostis	12
2.2 Puidu elementaarkoostis, niiskus ja tuhk.....	13
2.3 Kütteväärtused puuliigiti.....	17
2.4 Puitkütuste (toor)materjalide kütteväärtused	20
2.4.1 Väärindatud kütuste kütteväärtused	21
2.4.2 Biokütuste standardid ja kvaliteediklassid	22
2.5 Puidu tihedus.....	23
2.5.1 Puitkütuste maht ja mahukaal	25
2.6 Kütteväärtuste võrdlus teiste kütustega	26
3 EESTI METSADE PUIDUPÕHINE BIOMASS.....	28
3.1 Eesti metsamaa	28
3.1.1 Metsamaa jaotus omandivormi alusel.....	29
3.1.2 Majanduspiiranguga, majanduspiiranguta ja kaitse all metsamaa	30
3.1.3 Metsamaa jaotus peapuuliikide järgi	31
3.1.4 Metsa vanus	32
3.1.5 Juurdekasv ja raiemahud.....	32
3.2 Konkureerivad kasutusalaad.....	35
3.3 Puidu eksport, import ja varu.....	36
4 PUIDUPÕHISE BIOMASSI ENERGEETILINE KASUTUSVÕIMALUS	
EESTIS	37
4.1 Kasutus elektrienergia tootmisel.....	37
4.2 Kasutus soojusenergia tootmisel.....	39
4.3 Puidugraanulite ehk puidupelletite kasutamine Eestis.....	40
4.3.1 Pelletkütuse kasutamisevõimalused ühepereelamute kateldes	41
5 PUITKÜTUSTE KASUTAMIST PIIRAVAD TEGURID.....	43

5.1 Metsamaaga seotud piirangud	43
5.2 Puitkütuste põletamisest tulenevad piirangud.....	44
5.3 Puidupelletite kasutamist piiravad tegurid.....	45
KOKKUVÕTE.....	46
SUMMARY	48
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	50

TABELITE LOETELU

Tabel 2.1 Toore puidu niiskus W^t , % (erinevate Soome autorite andmed) [2]	14
Tabel 2.2 Erinevate puuliikide puidu kuivaine tuhasus A_k , % [2]	15
Tabel 2.3 Puu tuha sulamiskarakteristikud (IT - deformatsiooni algus, ST - pehmenemistemperatuur, HT -poolsfääri moodustumise punkt, FT -voolamistemperatuur) [3]	16
Tabel 2.4 Tüvepuidu põlevaine koostis, % [2].....	16
Tabel 2.5 Erinevate puuliikide puidu kuivaine keskmised kütteväärtused [4].....	17
Tabel 2.6 Erinevate puidu osade kütteväärtused [2] [9].....	18
Tabel 2.7 Erinevate puitkütuste (toor)materjalide niiskused, kütteväärtused ja tarbimisaine tihedused [9]	20
Tabel 2.8 Erinevate puitkütuste (toor)materjalide niiskused, kütteväärtused ja tarbimisaine tihedused [9]	21
Tabel 2.9 Erinevate puuliikide tihedused normiks seatud niiskusel ja absoluutselt kuiva puidu tihedused [4]	24
Tabel 2.10 Puukoore tihedused [2]	25
Tabel 2.11 Kütuste tarbimisaine alumised kütteväärtused [11]	27
Tabel 4.1 Katelde jagunemine vastavalt kasutusvaldkonnale [3]	40
Tabel 4.2 Aastase küttekulu (koos sooja tarbeveega) võrdlus 150 m ² elamu näitel, kütuste keskmised hinnad 2012. aasta veebruaris [26]	42

JOONISTE LOETELU

Joonis 2.1 Biomassi keemiline koostis [1]	13
Joonis 3.1 Eesti metsasus 2016. aastal [17]	29
Joonis 3.2 Metsamaa pindala (hektarites) jagunemine omandivormi põhjal 2017.aasta seisuga [16]	30
Joonis 3.3 Kaitsvate ja majanduspiiranguta metsamaade osakaal (protsentides) metsamaa kogu pindalast 2017.aasta seisuga [16]	30
Joonis 3.4 Metsamaa pindala jaotus (protsentides) peapuuliigi järgi 2017.aasta seisuga [16].....	31
Joonis 3.5 Metsamaa pindala jaotus peapuuliigi järgi (hektarites) 2017.aasta seisuga [16].....	31
Joonis 3.6 Puistute pindala vanuseline jagunemine 2017.aasta seisuga [16].....	32
Joonis 3.7 Kasvava metsa tagavara aastane juurdekasv ja raiemaht (m ³) aastatel 2000, 2005 ja 2010 [16].....	33
Joonis 3.8 Kasvava metsa tagavara aastane juurdekasv ja raiemaht (m ³) aastatel 2015-2017 [16]	34
Joonis 4.1 Narva elektriijaama asukoht (märgitud roosa täpina) [17].....	39

EESSÕNA

Magistritöö teema valikul lähtusin eelkõige oma isiklikust huvist soojusenergeetika valdkonnas. Teema valikul mängis suurt rolli ka bakalaureuse lõputöö teema, mis käsitles põhu kasutamist kütusena. Suurem huvi biokütuste vastu tekkis bakalaureuse lõputöö kirjutamisel. Lõputöö teema valisin Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Energiatehnoloogia instituudi professor Alar Konisti poolt välja pakutud teemadest.

Autor soovib tänada oma juhendajat, professor Alar Konistit, kes aitas autorit lõputöö koostamisel ning pakkus välja erinevaid materjale lõputöös kasutamiseks. Samuti soovib autor tänada bakalaureuse lõputöö juhendajat, emeriitprofessorit Aadu Paistu, tänu kellele huvi biokütuste kasutamise vastu suurenes. Viimasena soovib autor tänada kõiki, kes teda toetasid ning aitasid kaasa lõputöö valmimisele.

SISSEJUHATUS

Soojusenergia on väga levinud energialiik, millega puutume kokku igapäevaselt, tarbides soojuselektrijaamade toodetud elektrit või lihtsalt kodus kaminat küttes. Magistritöö probleemiks on see, et fossiilsete kütuste kõrvale oleks vaja loodussõbralikumaid ning taastuvat energiaallikat. Töö eesmärgiks on analüüsida ning hinnata seda, kas ja kuidas ning kui palju kasutatakse puidupõhisest biomassist toodetud erinevaid puitkütuseid elektrienergia tootmisel, soojusenergia tootmisel ning lähemalt uurida ühepereelamu pelletkütteil põhineva katla kasutamise võimalust. Otsustasin detailsemalt tuua välja ühepereelamu soojusenergia tootmise võimaluse pelletkütusega seetõttu, et Eestis on toimunud puidukütte kasutamine selles kasutusvaldkonnas ilmselt kõige kauem.

Lõputöö esimeses peatükis seletab autor lahti puidupõhise biomassi definitsiooni. Lisaks toob välja erinevad klassifitseerimisvõimalused, mis annavad parema ülevaate sellest, milliseid kütuseliike on võimalik saada puidupõhisest biomassist.

Selleks, et puidupõhise biomassi kasutusest rääkida, tõi autor teises peatükis välja puidupõhise biomassi karakteristikud. Nende põhjal on võimalik paremini mõista, miks puitkütused üksteisest erinevad ja miks ei ole võimalik kõiki kütuseid igalpool kasutada.

Kolmandas peatükis käsitleb autor Eesti metsadega seotud statistikat, mis on oluline selle jaoks, et hinnata puidupõhise biomassi kasutamise võimalusi laiemas pildis. See peatükk annab ülevaate sellest, kui palju on Eestis riigi- ja eraomandis olevat metsa ning millised on raiemahud ja mille põhjal erinevat raiet teostatakse.

Neljandas peatükis annab autor lühiülevaate puidupõhise biomassi kasutusest elektri- ning soojusenergia tootmiseks. Ühtlasi analüüsib autor põhjalikumalt kas ja kuidas saab puidugraanuleid kasutada ühepereelamu kateldes, millised on kasutamist soodustavad, millised kasutamist piiravad tegurid.

Viiendas peatükis toon välja järeldused, miks ja mis mõjutab minu hinnangul kõige enam tulevikus Eesti puidupõhise biomassi kasutamise võimalust ja mis ma ei ole arvamisel, et kasutamise võimaluste suurendamine oleks mõistlik.

Magistritöö koostas autor põhimõttel, et valdkonnast mitte midagi või väheteadev lugeja, saaks lõputöö läbi lugemisel aru, kuidas biomass jaguneb, kuidas ja mis mõjutab erinevaid energeetilisi karakteristikuid, millest tuleks lähtuda hinnates kasutamise võimalust puidupõhise biomassi kasutamisel ning mis on selle piiravateks teguriteks.

1 PUIDUPÕHINE BIOMASS

Energeetika valdkonna põhiselt defineeritakse biomassi kui bioloogilist materjali, mis on saadud elus või hiljuti elus olnud taimedest ja mida kasutatakse energiaallikana. Biomassi peetakse taastuvaks, kui seda kasutatakse mingil kindlal territooriumil, näiteks ühes riigis, juurdekasvust vähem või ligilähedaselt juurdekasvu piires. Taastuvuse osa määrab ära see, kumb on suurem- kas juurdekasv või tarbimine. Puidupõhine biomass on biomassi üks alaliikidest, põllumajanduse, tööstus- ja olmejäätmete kõrval [1].

Puidupõhise biomassi moodustavad puud, põõsad ning nende töötlemisel ja raiumisel tekkinud jäätmed- puidutöötlemisjäätmed ja raiejäätmed. Puidupõhise biomassikutusena kasutatakse ära kogu puude ja põõsaste osad. Okaspuu puidu osakaal kogumahust on 59...69% , oksad, kännud ja koor moodustavad 31...41% . Biomassi jagunemine koore, tüve, lehtede, okste ja okaste vahel sõltub puu liigist ja vanusest [2].

Puidupõhist biomassi saab energiaallikana kasutada otse biomassi põletades või seda mehaaniliselt töödeldes ning seejärel energia tarbeks kasutades. Järgnevad alapeatükid annavad ülevaate peamistest puidupõhistest energiaallikatest.

1.1 Puidupõhiste biokütuste klassifikatsioon

Puidupõhisest biomassist saadud kütuseid ehk puitkütuseid klassifitseeritakse põhiliselt kahel moel:

- 1) puitkütuste klassifitseerimine tooraine päritolu järgi – selle põhjal jagunevad puitkütused metsast ja energiametsast saadavateks ning korduvkasutusega kütusteks.
- 2) Puitkütuste jaotamine väärindamise astme (väärindatud või väärindamata) alusel.

Oma magistritöös rakendab autor teisena mainitud puitkütuste klassifikatsiooni, mis on esimesest klassifikatsioonist detailsem ning asjakohasem [3].

Väärindamise eesmärgiks on toormaterjali töötlemise tulemusena saada algsest toormaterjali kütteväärtusest kõrgema kütteväärtusega toode ning seeläbi ka kütuse omaduste parendamine. Väärindamata kütused on kütuse liigid, mida on töötlemise käigus vaid peenestatud või pakitud, kuid mille mehaanilised omadused on jäänud algusest saati samaks. Väärindamata kütuste liikideks on traditsiooniline küttepuit ehk halupuu, hakkpuit ehk puiduhake, pressitud puidujäätmed (ruloonid) ja puidutöötlemisjäätmed (saepuru ja laastud). Väärindatud puitkütuste

tüüpilisteks esindajateks on puidubrikett ja puidupelletid ehk puidugraanulid. Lisaks nendele peetakse väärindatud puitkütuseks ka puidutolmu [3].

1.2 Puitkütuste liigid

Järgnev alapeatükk annab ülevaate peamistest puitkütuste liikidest. Järgnevas loetelus on toodud peamised puitkütuse liigid:

1. Halupuud ehk küttepuitu saadakse puutüvedest või nende osadest, mis on saetud ja lõhutud kindla pikkusega (1; 0,75; 0,5; 0,33 või 0,25 m) puuhalgudeks [4].
2. Hakkpuit ehk puiduhake on võsast, tarbepuiduks sobimatutest tüvedest, laasitud tüvedest, raie- või puidutöötlemisjäätmest saadud küttematerjal, mida peenestatakse spetsiaalse hakkuriga (keskmine tüki pikkus 25-40 mm) [4].
3. Ruloonid ehk pressitud puidujäätmel on raie- ja hooldustöödejäätmel (oksad, kännud, langile jäänud tüvepuit, puude ladvad, raie- või hooldustööde käigus murtud väiksemad ning nooremad puud ja võsad), mis on veokulude vähendamiseks eelnevalt selle metsast välja transportimist kokku pressitud. Pressimise tulemusel saadakse oksarullid ehk ruloonid, mis samuti enne kütuseks kasutamist hakitakse [5] [6].
4. Puitbriketid/pelletid ehk puidujäätmel või puidutöötlemisjäätmel, mis on peenestatud ja kuivatatud kõrge rõhu all. Tegemist on väärindatud sideaineta pressitud, tihedad ja korrapärase kujuga küttematerjalid. Puidubrikett (külje pikkus või läbimõõt 25-80 mm), puidupelletid ehk puidugraanulid (pikkus 15-50 mm ja läbimõõt 6-12 mm) [4] [5].
5. Puidutolm ehk puitpuuder on saadud puitmaterjali peenestades/jahvatades ja selle osakeste tera suurus jääb alla 1 mm [6].

Puidutöötlemisjäätmel alla kuuluvad saepuru, koor, servad, pinnad, klotsid jne, mis on tekkinud mehaanilisest tööstusest tööstustes, mis kasutavad oma toodanguks toormaterjalina puitu. Võib enne kütusena kasutamist töödelda- peenestada, hakkida [6].

Puitkütuseid ning nende toormeid on veel, kuid autor keskendub peamiselt ülalmainitule.

2 PUIDUPÕHISTE BOKÜTUSTE ENERGEETILINE

KARAKTERISTIKA

Enne ükskõik millise kütuse liigi kasutamisele võtmist, võrreldakse seda erinevate kütuste liikide kütteväärtustega. Kütteväärtus on üks esimesi ja tähtsamaid faktoreid, mis mõjutab inimese otsust mingi teatud kütuse kasutuselevõttuks energia tootmisel. Kütteväärtused sõltuvad suuresti niiskusesisaldusest, tuhasisaldusest jt faktoritest, mis omakorda sõltuvad puidu ehk biomassi keemilisest koostisest. Keemiline koostis ise sõltub puu kasvukohast, mullast, aastaajast jne. Puidu keemiline koostis erineb seega ka liigiti ning puu erinevates osades (koor, oksad jne). Puidupõhiste biokütuset kütteväärtusi on võimalik tuua välja puuliikide, puuliikide erinevate osade, puitkütuste (toor)materjalide või puitkütuste liikide põhjal. Antud peatükk annab ülevaate puidu keemilisest koostisest, elementaarkoostisest, tihedusest ning kütteväärtusest.

2.1 Puidu keemiline koostis

Puit on puittaimede (puude, põõsaste) tüve ja okste põhiosa, mis koosneb peamiselt puitunud rakkudest. Puidurakkude kest koosneb põhiliselt ligniinist, hemitselluloosist ja tselluloosist, mis kuuluvad biomassi orgaanilise osa hulka. Puidu kütteväärtusest langeb ca 40% ligniinile.

Orgaanilise osa hulka kuuluvad ka ekstraktiivained (lihtsad suhkrud, rasvhapped, vaik jne).

Ekstraktiivained mõjutavad süsiniku (C), vesiniku (H), hapniku (O), lämmastiku (N) ja väevli (S) suhtelisi koguseid biomassis [1] [2] [4] [5] [7].

Märkimisväärse osa biomassist moodustavad lendosad. Lendaine sisaldust mõõdetakse standardiseeritud meetodi järgi, mille käigus mõõdetakse orgaanilise materjali kogust, mis on kadunud, kui kuiva kütuseproovi on lühiajaliselt kõrgel temperatuuril kuumutatud (tavaliselt 900 ± 10 °C juures seitse minutit). Orgaanilist materjali, mis on peale seda töötlemist järele jäänud, nimetatakse seotud süsinikuks [3].

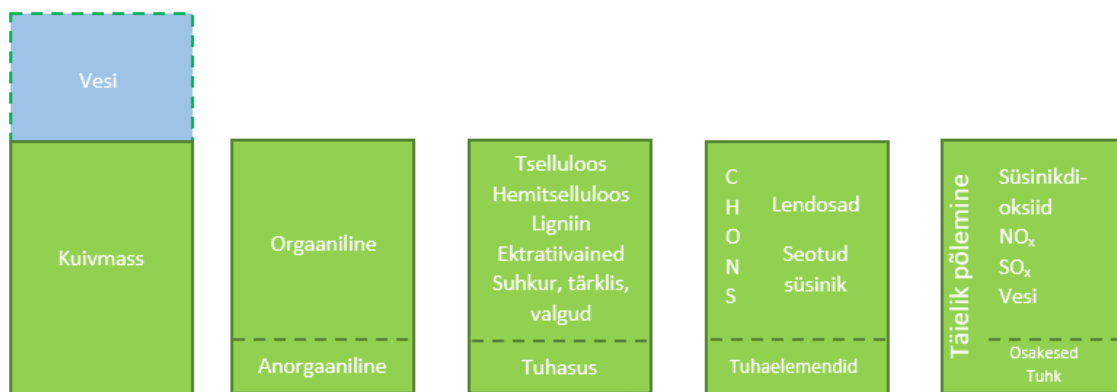
Lendaine ja seotud süsiniku vahetamine kütuses määrab põlemise vahetamise, milline osa põlemissoojusest eraldub leegis (kolde mahus) ja milline kütuse kihis. Kuna puit- ja tesites biokütuste lendainesisaldus on kõrge (80- 90 %), eraldub nende kütuste põletamisel valdav osa soojusest kolde mahus ja seetõttu vajatakse lendosade täielikuks põlemiseks suurt kolde mahtu [3].

Anorgaanilise osa moodustavad mineraalid- kloor, väävel, lämmastik jt. Puidupõhise biomassi anorgaanilist osa määratakse põlemise järel alles jäänud tuha massi järgi. See on tavaliselt

madalaim puhtal puidul (0,3-0,5 % algsest massist), kuid võib ulatuda kuni 10 %-ni puukooses või teistes struktuursetes kudedes. Detailsemalt on tuh� määratud selle elementaarkoostisega [1] [7]. Veesisaldus võib toores puidus olla üle 50 %. Kui biomassi biokeemilist koostist väljendatakse massiprotsentidena kuivmassist, mis on tingitud igast koostisosast, siis vee kogus on tihti määratud massiprotsendina toormassist (Joonis 2.1) [1].

Biomassi uurimisel jagunevad analüütilised protseduurid kaheks (tehniline analüüs ja keemiline analüüs). Esimese protseduuri käigus määratakse ära niiskusesisaldus, lendosakeste massiprotsent ja seotud süsinik kuivmassis, kütteväärtus ja tuhasisaldus. Teise analüüsi käigus leitakse süsiniku (*C*), vesiniku (*H*), hapniku (*O*), lämmastiku (*N*) ja väävli (*S*) massiprotsent, samuti kloriidi (*Cl*) ja mõnedel juhtudel ka fluori ja/või broomi (*Br*) massiprotsent [1].

Biomassi täieliku põlemise korral kõik eelpool nimetatud elementaarkoostisosad oksüdeeruvad. See genereerib gaase, nimelt süsinikdioksiidi (CO_2), lämmastikoksiidi (NO_x), vääveloksiidi (SO_x), vett (H_2O) (aur), tahkeid aineid lendtuha kujul, tuhka ja eri suurusega osakesi [1].



Joonis 2.1 Biomassi koostis [1]

Puidu karakteristikute mõistmiseks on lisaks keemilisele koostisele oluline teada ka tema elementaarkoostist. Järgnevas alapeatükis on autor andnud ülevaate puidu elementaarkoostisest, niiskusest ja tuhast.

2.2 Puidu elementaarkoostis, niiskus ja tuh�

Suurema osa puitkütuse elementaarkoostisest (kuivainest umbes 99 %) moodustavad süsinik (*C*), vesinik (*H*) ja hapnik (*O*). Lämmastikuisaldus (*N*) ja väävlisisaldus (*S*) on kuivaines tunduvalt väiksem (alla 0,2 % ja alla 0,05 %). Siiski vajab nende sisaldus oma tähelepanu nendest tekkivate

heitmete tõttu. Puidu põledes muutuvad need koostisosad veeauruks (H_2O), süsinikdioksiidiks (CO_2), lämmastikoksiidideks (NO_x), vääveldioksiidiks (SO_2) ja tuhaks [5] [8].

Tarbimisaineks ehk tarbimiskütuseks nimetatakse puu biomassi tarbijale saabunud kujul (indeksiga t):

$$C^t + H^t + O^t + N^t + S^t + W^t + A^t = 100 \% \quad (2.1)$$

Niiskusel (W^t - tarbimisaine niiskus protsentides) on puidupõhise biomassi kütteväärtuses väga suur roll. Mida väiksem on niiskusesisaldus kütuses, seda suurem on kütuse kütteväärtus.

Niiskusesisaldus on väga muutuva suurusega ja tülikas komponent [4] [3] [2].

Kasutatakse mõisteid absoluutne niiskus:

$$W_a = \frac{M-M_1}{M_1} * 100 \% \quad (2.2)$$

ja suhteline ehk tarbimisaine niiskus:

$$W^t = \frac{M-M_1}{M} * 100 \% \quad (2.3)$$

kus M - niiske puidu mass, kg;

M_1 - kuiva puidu mass, kg

Niiskus (väline ehk mehaaniline niiskus ja sisemine ehk hügrokoopne niiskus) võib puidust eralduda loomulikult kuivamisel õhus või siis puidu kuumutamisel üle 100 °C. Õhukuivas puidus on tarbimisaine niiskus 20 % ja absoluutne niiskus 25 %. Poolkuivas puidus on see vastavalt 21-33 % ja 26-50 % ning kõige niiskem on toores puit tarbimisaine niiskusega üle 30 % ja absoluutse niiskusega üle 50 % [2]. Järgnevas Tabelis 2.1 on välja toodud toore puidu niiskus puuliigiti.

Tabel 2.1 Toore puidu niiskus W^t , % (erinevate Soome autorite andmed) [2]

Puuliik	Tüvi	Kogu puu koos lehtedega	Kogu puu ilma lehtedeta	Noored puud	Tüvi
Mänd	50...60		55		45...60
Kuusk	48...57		55		40...60
Sookask	42...50	45	43	46...48	35...50
Hall lepp	50...50	54	52		45...50
Haab		47			35...50
Paju				48...60	
Pappel				49...63	

Tabelist 2.1 selgub, et kõige rohkem on niiskust okaspuudes (määnd ja kuusk) ning pajus ja papplis. Kui biomassist kogu niiskus välja kuivatatakse, saadakse kütuse kuivaine, mille moodustavad tuhk ja põlevosa (indeksiga k):

$$C^k + H^k + O^k + N^k + S^k + A^k = 100 \% \quad (2.4)$$

Selleks et puidupõhine biomass süttiks, on vaja seda teatud temperatuurini kuumutada (süttimistemperatuur). Igal ainel on oma süttimistemperatuur. Puidu süttimistemperatuur on piirides 240- 270 °C. Enne kui puit süttib, hakkab tema orgaaniline osa lagunema. Orgaanilise osa lagunemine kestab väga kõrgete temperatuurideni. Selle tulemusena eralduvad gaasilised produktid ehk puidu lendosad [4].

Puidu termiline lagunemine algab temperatuuridel 150-160 °C. Kütuse termilisest lagunemisest (kuumutamisel temperatuurini 850 ± 10 °C) tekkinud massikadu loetakse tinglikult kütuse lendosade sisalduseks. Lendosade sisaldus puidus on keskmiselt 80-85 %. Põlemisel järelejäänud tahke mass on koks, mis koosneb peamiselt süsinikust [4].

Kütuse täielikul põlemisel tekib tahke jääk- tuhk. Tuhk jaotub sisemiseks ja välimiseks tuhaks. Puidu kiudaines sisalduvad mineraalsed ühendid, mis peegeldavad puu kasvukoha pinnase koostist, loetakse sisemiseks tuhaks. Välimine tuhk on seotud mineraalsete ühenditega, mis on sattunud puidu biomassi hiljem (töötlemisel, ladustamisel, transportimisel) [2]. Allolevas Tabelis 2.2 on välja toodud erinevate puuliikide puidu kuivaine tuhasus.

Tabel 2.2 Erinevate puuliikide puidu kuivaine tuhasus A_k , % [2]

Puuliik	Tüvi	Koor	Oksad, juured
Määnd	0,2...0,7	1,4...2,2	0,3...0,7
Kuusk	0,2	2,3	0,3...0,4
Kask	0,2...0,4	2,4	0,3...0,6
Haab	0,2...0,3	2,7	0,3

Tabelist 2.2 selgub, et kõige rohkem tuhka leidub puu koortes. Võrreldes tüve ning okste/juurtega, on seal seda ligi 4 korda rohkem.

Puidutuha keemiline koostis võib sõltuvalt kasvukohast ja puuliigist muutuda väga suurtes piirides (%) [4]:

CaO	37-58 %,	K_2O	11-29 %,
P_2O_5	1-8 %,	MgO	8-16 %,
Fe_2O_3	1-9 %,	SiO_2	1-5 %,
N_2O	3-8 %,	SO_3	1-4 %

Igasugse kütuse kasutamisel on väga oluline jälgida põlemisel tekkinud tuha sulamiskarakteristikut, mis sarnaselt niiskusesisaldusele ja tuhasisaldusele, sõltub puuliigist, kasvukohast, puitkütusesse sattunud lisanditest, puu eri osadest jne. Tuha sulamine tekitab probleeme katlas- kolde šlakkumine ning konvektiivküttepindadele tugevate sadestiste teke [3]. Järgmisel lehel asuval Tabel 2.3 on välja toodud puu tuha sulamiskarakteristikud.

Tabel 2.3 Puu tuha sulamiskarakteristikud (*IT*- deformatsiooni algus, *ST*- pehmenemistemperatuur, *HT*- poolsfääri moodustumise punkt, *FT*-voolamistemperatuur) [3]

Kütus	IT	ST	HT	FT
Kogupuuhake, mänd	1210	1225	1250	1275
Raiejäätmete hake	1175	1205	1230	1250
Saepuru, mänd	1150	1180	1200	1225
Koor, kuusk	1405	1550	1650	1650
Koor, mänd	1340	1525	1650	1650

Nagu tabelist 2.3 selgub, kuulub puutuhk sulamiskarakteristikute järgi raskesti sulavate tuhade klassi. Deformatsiooni temperatuur $t_A = 1115-1290$ °C, tuha pehmenemistemperatuur $t_B = 1365-1490$ °C ja tuha sulamistemperatuur $t_C > 1500$ °C [4].

Ilma ballastita ehk ilma niiskuse ja tuhata kütust nimetatakse kütuse põlevaineks (indeksiga p):

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p = 100 \% \quad (2.5)$$

Järgnevas tabelis (Tabel 2.4) on toodud välja erinevate puuliikide põlevaine keskmine koostis:

Tabel 2.4 Tüvepuidu põlevaine koostis, % [2]

Puuliik	C^p , %	H^p , %	O^p , %	N^p , %	Lendosa sisaldus, %	Kütteväärtus, MJ/kg
Okaspuu	51,0	6,15	42,25	0,6	85	19,079
Lehtpuu	50,5	6,10	42,80	0,6	85	18,660
Segapuu	51,0	6,10	42,30	0,6	85	18,870

Tabelist 2.4 selgub, et erinevate puuliikide põlevaine koostis on küllaltki sarnane. Võrreldes teistega on okaspuudel natukene suurem kütteväärtus.

Järgmine alapeatükk seletab lahti ülal mainitud tabeli, käsitledes erinevate puuliikide kütteväärtusi.

2.3 Kütteväärtused puuliigiti

Puidu kütteväärtus on soojushulk, mis eraldub 1 kg puidu täielikult põlemisel. Kütteväärtuse määramine toimub nn „kalorimeetrilises pommis“. Kalorimeetrilises pommis määratud kütteväärtuse kaudu arvutatakse kütuse ülemine ehk bruto ja alumine ehk neto kütteväärtus. Ülemise ja alumise kütteväärtuse määrab ära põlemisel tekkiva veeauru kondensatsioon. Ülemise kütteväärtuse $Q_{ü}^t$, MJ/kg puhul põlemisel tekkinud veeauru kondenseerub ja vabastab ka kondenseerumissoojuse. Alumise kütteväärtuse Q_{a}^t , MJ/kg korral põlemisel tekkinud veeauru ei kondenseeru. Põlemisgaas lahkeb harilikult katelseadmest veeauru kondenseerumise temperatuurist kõrgemal temperatuuril. Kuna puit on väävlivaene kütus, siis on mõistlik ära kasutada selle kondenseerumissoojust [3] [4].

Kütteaine elementaarkoostise põhised saab ülemise kütteväärtuse arvutada valemiga:

$$Q_{ü}^t = 340 * C^t + 1260 * H^t - 109 * O^t \quad (2.6)$$

ja alumise kütteväärtuse [2]:

$$Q_{a}^t = 340 * C^t + 1030 * H^t - 109 * O^t - 25 * W^t \quad (2.7)$$

Tüvepuidu põlevaine koostis on kõikide puuliikide puhul suhteliselt muutumatu. Puuliigi täpse kütteväärtuse puudumisel saab vajadusel kasutada praktiliselt püsivat ja võrdset põlevaine kütteväärtust $Q_{a}^p = 18,9$ MJ/kg. Kui on vaja kasutada tarbimisaine kütteväärtust, mis sõltub niiskusest ja tuhasisaldusest, siis saab kasutada valemit:

$$Q_{a}^t = 18900 - 214 * W^t - 189 * A^t \quad (2.8)$$

kus A^t on tarbimisaine tuhasisaldus [4].

Tabel 2.5 on välja toodud erinevate puiduliikide puidu kuivaine keskmised kütteväärtused.

Tabel 2.5 Erinevate puuliikide puidu kuivaine keskmised kütteväärtused [4]

Puuliik	Puidu kuivaine alumine kütteväärtus Q_{a}^k , MJ/kg
Kask	19,4
Kuusk	19,0
Mänd	19,4
Lepp	18,5
Haab	18,4
Puuliikide keskmine	18,9

Tabelist selgub, et kõige suurem kuivaine keskmine kütteväärtus on kasel ning männil, kõige väiksem haavapuul.

Tarbimisaine kütteväärtuse arvutamiseks soovitatakse valem:

$$Q_a^t = Q_a^k * (1 - W^t) - 2,44 * W^t \quad (2.9)$$

kus W^t on tarbimisaine niiskusesisaldus [4].

Tabel 2.6 on välja toodud puidu erinevate osade kütteväärtused. Välja on toodud peamised puuliigid (mänd, kuusk, kask, lepp, haab) ning ühtlasi on eraldi vaadatud erinevate puidu osade (kogu puu, puit, koor, oksad, latv ja okkad) kütteväärtust. Välja on toodud kuivaine alumine kütteväärtus (Q_a^k , MJ/kg) kui tarbimisaine alumine kütteväärtus (Q_a^t , MJ/kg).

Tabel 2.6 Erinevate puidu osade kütteväärtused [2] [9]

Puuliik	Kuivaine alumine kütteväärtus Q_a^k , MJ/kg	Puuliik	Tarbimisaine alumine kütteväärtus Q_a^t , MJ/kg
Mänd:		Harilik mänd:	
kogu puu	19,0...20,4	kogu puu	19,52
puit	18,7...19,3	tüvi ilma kooreta	19,31
koor	18,4...20,7	koor	19,53
oksad	19,4...20,5	oksad ja latv	20,52
ladvad	18,25	kogu tüvi	19,33
okkad	20,0...21,1		
Kuusk:		Harilik kuusk:	
kogu puu	19,2...19,9	kogu puu	19,29
puit	18,0...19,0	tüvi ilma kooreta	19,05
koor	17,8...19,8	koor	18,80
oksad	19,8	oksad ja latv	19,17
ladvad	18,6...19,8	kogu tüvi	19,02
okkad	19,8...20,0		
kännud	19,0		

Tabel 2.6 järg [2] [9]

Puuliik	Kuivaine alumine kütteväärtus Q_a^k , MJ/kg	Puuliik	Tarbimisaine alumine kütteväärtus Q_a^t , MJ/kg
Kask: kogu puu puit korp niin oksad	19,1...19,6 17,4...19,4 28,4...29,3 17,2...18,4 18,4...19,8	Sookask: kogu puu tüvi ilma kooreta koor oksad ja latv kogu tüvi	19,30 18,68 22,75 19,94 19,19
Lepp: puit	18,7	Hall lepp: kogu puu tüvi ilma kooreta koor oksad ja latv kogu tüvi	19,18 18,67 21,57 20,3 19,00
Haab: puit	18,5	Haab: kogu puu tüvi ilma kooreta koor oksad ja latv kogu tüvi	18,65 18,67 18,57 18,61 18,65

Tabelist selgub, et kui üldjoontest on kuivaine kütteväärtused samasugused nagu eespool mainitud tabelites, siis silma paistab kase korp, millega kütteväärtus ületab pea poole võrra kõiki teisi.

Järgnev alapeatükk annab ülevaate puitkütuste toomaterjalide kütteväärtustest.

2.4 Puitkütuste (toor)materjalide kütteväärtused

Kütteväärtusi ei esitata puuliikide või nende osade kaupa, tegelikult on kõige parem kütteväärtuste esitamine juba energia tootmise kasutuseks loodud puitkütuste kaudu. Eraldi on veel võimalik välja tuua puitkütuse liigi tootmiseks vajaliku toormaterjali kütteväärtused (nt pelletite puhul saepuru kütteväärtuse). Siinkohal mainin ära, et saepuru ei pea ilmingimata pelletiteks ümber töötleva, seda saab kasutada ka otse põletades.

Kui vaadata alltoodud Tabel 2.7 ja Tabelist selgub, et kõige väiksem niiskuse sisaldus on puitjäätmete hakkes. Teiste niiskused tasemed on üsna võrdsed. Ülejäänud väärtused on kõikide hakete puhul küllaltki võrdsed.

Järgnevas tabelis võrreldakse järgmiste toormaterjalide näitajaid samalaadselt nagu Tabelis 2.7. Tabel 2.8, on märgata väga suurt erinevust on kuivaine alumise kütteväärtuse ja tarbimisaine alumise kütteväärtuse korral, mis tuleneb suurest niiskusesisaldusest puitkütuse (toor)materjalis. Toormaterjalidest sõltuvad vääringdatud kütuste kütteväärtused, seega on oluline liigne niiskus enne mehaanilist töötlust materjalist välja saada.

Tabel 2.7 Erinevate puitkütuste (toor)materjalide niiskused, kütteväärtused ja tarbimisaine tihedused [9]

Parameeter	Raiejäätmete hake	Kogu puu hake	Tüve hake	Kännu hake	Puitjäätmete hake	Saejäätmete hake
Niiskuse sisaldus, %	50-60	45-55	40-55	50-60	10-50	45-60
Kuivaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20	18,5-20
Tarbimisaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	6-9	6-9	6-10	6-9	6-15	6-10
Tarbimisaine tihedus, kg/m ³	250-400	250-350	250-350	250-400	150-300	250-350

Tabelist selgub, et kõige väiksem niiskuse sisaldus on puitjäätmete hakkes. Teiste niiskused tasemed on üsna võrdsed. Ülejäänud väärtused on kõikide hakete puhul küllaltki võrdsed.

Järgnevas tabelis võrreldakse järgmiste toormaterjalide näitajaid samalaadselt nagu Tabelis 2.7.

Tabel 2.8 Erinevate puitkütuste (toor)materjalide niiskused, kütteväärtused ja tarbimisaine tihedused [9]

Parameeter	Sae- puru	Lõikmehake	Lihvimistolm	Vineerijäätmed	Taaskasutuspuut
Niiskuse sisaldus, %	45- 60	5-15	5-15	5-15	15-30
Kuivaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	19- 19,2	19-19,2	19-19,2	19-19,2	18-19
Tarbimisaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	6-10	13-16	15-17	15-17	12-15
Tarbimisaine tihedus, kg/m ³	250- 350	80-120	100-150	200-300	150-250

2.4.1 Väärindatud kütuste kütteväärtused

Pelletite saamiseks kasutatakse tootmisjäätmeid, koort ja raiejäätmeid. Pelletite puistetihedus on 550-700 kg/m³ pelleti tihedus aga 1,1-1,2 g/cm³. Pelleti enda tihedus sõltub valmistusseadme tüübist. Niiskusesisaldus pelletites jääb 7-9% vahele ning kütteväärtus kuni 18 MJ/kg [5].

Pelletite kütteväärtuse suurendamiseks ja kvaliteedi parandamiseks torrefitseeritakse ehk röstitakse pelletteid umbes 250-300 °C juures 30-60 minutit. Torrefitseerimise käigus väheneb lendosiste sisaldus, kaob praktiliselt niiskusimavus ehk hügroskoopsus ja suureneb mahuline energiatihedus 15-19 GJ/pm³, tavaliselt on pelletite energiatihedus 7,5-10 GJ/pm³. Peale torrefitseerimist on pelletite keskmine puistetihedus 750-850 kg/pm³ ning tarbimisaine alumine kütteväärtus 19-22 MJ/kg [2].

Puidubrikett on raske ja kuiv kütus ($\rho_0 = 1250 \text{ kg/m}^3$, niiskust alla 15%). Enamasti on niiskusesisaldus samas vahemikus, mis pelletite puhul- 7-9%. Harilikult valmistatakse puidubriketti saepurust ning laastudest. Kuiva puitbriketti mahumass ehk puistetihedus on 1000 kg/rm.

Tarbimisaine alumine kütteväärtus on 15,0-17,0 MJ/kg. Kütteväärtus oleneb ka tootjast, mida madalamale niiskusesisaldus viiakse, seda suurema kütteväärtusega toode saavutatakse. Mõned

tootjad leiavad puitbriketi kütteväärtuse põhimõttel, et ühele tonnile puitbriketi kütteväärtusele vastab 4-5 m³ kuivi küttepuid [4] [5] [8].

Seevastu lihvimistolmu ja vineerijäätmete kütteväärtused ei lange nii drastiliselt tarbimisaine alumises kütteväärtuses ja seda seetõttu, et neid küttena kasutatavaid materjale enamasti ei valmistata eesmärgiga energeetiliseks kasutuseks ja pigem on need mingis teises valdkonnas kasutamise jaoks valmistatud toodangu jäätmed, kuid kuna toodangu jaoks on olnud puitu vaja eelnevalt kuivatada, on niiskusesisaldus jäätmetes suhteliselt madal (5-15%) [9].

2.4.2 Biokütuste standardid ja kvaliteediklassid

Biokütuste kasutusala laienemisest ja mitmete kütuseliikide muutumiseks rahvusvaheliseks kauplemise objektiks tulenevalt on tekkinud vajadus tehniliste tingimuste kehtestamiseks. Kütuste kvaliteedi klassid lihtsustavad kütuse ostja ja müüja vahelist suhtlemist ja lepingu sõlmimist, kuna mõlemad osapooled peavad kasutama tehnilistes tingimustes defineeritud samu mõisteid ja ära näitama kõik nõutavad kütuste karakteristikud [3].

Erinevate kütuste energeetiliste karakteristikute väärtused jaotatakse kvaliteedi klassidesse teatud vahemikes, mille ulatuses võib väärtus kõikuda tarbijale ebaolulistes piirides. Kvaliteedi klassidesse jaotatakse näiteks kütuse niiskuse, kütteväärtuse, lendosade, tuhasuse, puistetiheduse, vastupidavuse jt omaduste järgi. Näiteks võib tuua hakkpuidu niiskusesisalduse klass M20, mis näitab, et tarbimiskütuse niiskusesisaldus ei tohi ületada 20%. Järgmine klassi M30, määrab ära niiskuse piirideks 20-30%. Sama põhimõtte kehtib ka teiste kütuse omaduste klasside puhul [3].

Iga tarbijagrupp ja põletusseadme tüüp vajab või eelistab teatud omadustega kütuseid. Mida väiksem on kütteseadme, seda kvaliteetsemat kütust oleks seal vaja või otstarbekas kasutada [3].

Kodutarbijate kütteseadmed on väiksed, seega seadmete pikaajaliseks kasutuseks on vaja kõrgekvaliteetset kütust. Oletame, et kodutarbija kasutab küttematerjalina puitbriketti.

Kõrgekvaliteetse puitbriketi kvaliteediklassid hõlmavad endas puidu päritolu, niiskusesisaldust, briketi tihedust, mõõte, tuhasisaldust, lisandeid ja alumist kütteväärtust. Kõrgekvaliteetse puitbriketti tootmiseks kasutatakse puitu, mille päritolu on tingimuseks on, et puit on keemiliselt töötlemata ja ilma kooreta. Niiskusesisaldus on M10 ehk niiskus peab jääma alla 10%. Briketi tihedus on DE1.0 ehk 1,00- 1,09 kg/dm³. Tuhasisaldus A0,7 (<0,7% kuivaines). Lisandid < 2% kuivaine massist võib sisaldada muud biomassipõhist keemiliselt töötlemata materjali, mille tüüp ja sisaldus peavad olema näidatud ning alumine kütteväärtus E4,7 (>16,9 MJ/kg). Sarnaselt käib kvaliteediklassidesse jaotamine puitpelletite korral [3].

Kaugkütte katlamajade ja teiste suuremate kütusetarbijate nõuded kütuse omadustele sõltuvad kasutatavate põletusseadmete, transportöörade ja hoidla konstruktsioonilistest iseärasustest ja kasutusviisist. Kui kodutarbijale sobib üldjuhul võimalikult kuiv kütus, siis suuremates põletusseadmetes võib kasutada niiskemaid kütuseid ning katla kolle võib olla ehitatud eeldusel, et katla koldes põletatakse niisket kütust [3].

Väärindamata naturaalseste puitkütuste väga tähtsaks näitajaks on kütuseosakese suuruse vahemik, mis kajastub juba kütuse kaubandusliku vormi nimetuses ja määrab suures osas ka põletustehnoloogia [3].

Hakkpuidu tüüpiliseks klassiks osakeste suuruse järgi võib lugeda klassi P45, mille korral osakeste jaotus oleks järgmine:

- peen fraktsioon- alla 5 % kütuse massist on osakesed suurusega kuni 1mm;
- põhifraktsioon- vähemalt 80% kütuse massist on osakesed suuruse vahemikus $3,15 \text{ mm} \leq P \leq 45 \text{ mm}$;
- jäme fraktsioon- alla 1 % osakeste massist võivad olla suuremad kui 63 mm [3].

2.5 Puidu tihedus

Puidu tihedus näitab puitaine massi ühe ruumalaühikus. Puidu iseloomustamiseks tiheduse kaudu, kasutatakse järgmisi tiheduse mõisteid [4]:

1) tihedus normiks seatud niiskusel (standardisel niiskusel), s.o absoluutsel niiskusel 12%:

$$\rho_{12}, \text{ kg/m}^3$$

2) puitunud rakkude (aine) tihedus, mis on võrdne kõikidele puuliikidele:

$$\rho = 1530 \text{ kg/m}^3$$

3) absoluutselt kuiva puidu tihedus:

$$\rho_0 = m_0/V_0, \text{ kg/m}^3$$

kus m_0 - absoluutselt kuiva puidu ($W^t=0\%$) mass

V_0 - absoluutselt kuiva puidu maht

4) niiske puidu tihedus:

$$\rho_t = m_t/V_t, \text{ kg/m}^3$$

kus m_t - puidu mass niiskuse W^t juures

V_t - puidu maht niiskuse W^t juures

Tüvepuidu tihedus sõltub puuliigist, niiskusest ja paisumise (tursumise) tegurist $K\rho$. Kuivades tõmbub puit keskmiselt kokku 10-20 % ja niiskudes paisub piki kiudu keskmiselt 0,1 %, radiaalselt 3-5 % ja tangentsiaalselt 6-10 % [4].

Paisumise teguri põhjal rühmitatakse puuliigid kaheks. Rühma, mille paisumise teguri väärtus on 0,6, kuuluvad kask, pöök, valgepöök ja lehis. Teises rühmas on kõik ülejäänud puuliigid (tamm, lepp, haab, vaher, paju jne) paisumise teguriga 0,5 [2].

Paisumise teguri järgi rühmitatud esimese rühma ($K\rho=0,6$) tüvepuidu tiheduse saab arvutada

$$\text{valemitega } \rho_t = 0,957 * \frac{100}{100-0,4 W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t < 23\%$$

$$(2.10) \rho_t = 0,8 * \frac{100}{100-W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t > 23\%,$$

(2.11 [4]:

$$\rho_t = 0,957 * \frac{100}{100-0,4 W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t < 23\% \quad (2.10)$$

$$\rho_t = 0,8 * \frac{100}{100-W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t > 23\%, \quad (2.11)$$

teise rühma ($K\rho=0,5$) tüvepuidu tiheduse arvutamise jaoks kasutatakse valemeid [4]:

$$\rho_t = 0,946 * \frac{100}{100-W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t < 23\% \quad (2.12)$$

$$\rho_t = 0,823 * \frac{100}{100-W_t} * \rho_{12}, \text{ kui } W^t > 23\% \quad (2.13)$$

Allolevas Tabelis 2.9 on välja toodud erinevate puuliikide tihedused.

Tabel 2.9 Erinevate puuliikide tihedused normiks seatud niiskusel ja absoluutselt kuiva puidu tihedused [4]

Puuliik	Tihedus kg/m ³	
	ρ_0 , absoluutselt kuiv puit	ρ_{12} , normiks seatud niiskusel
Lehis	630	660
Mänd	470	500
Tamm	650	690
Kask	600	630
Vaher	650	690

Tabel 2.10 järg

Puuliik	Tihedus kg/m ³	
	ρ_0 , absoluutselt kuiv puit	ρ_{12} , normiks seatud niiskusel
Lepp	490	520
Haab	470	495
Pärn	470	495
Paju	430	455
Pirn	670	710

Tabelist selgub, et kõige suurem tihedus absoluutselt kuiva puidu korral on pirnipuul (670 kg/m³), väiksem on pajul. Kõige suurem tihedus normiks seatud niiskusel on samuti pirnil (710 kg/m³), väiksem samuti pajul.

Järgnevas Tabelis 2.10 on välja toodud puukoore tihedused absoluutse kuivuse ning normiks seatud niiskuse korral.

Tabel 2.11 Puukoore tihedused [2]

Puuliik	Tihedus kg/m ³	
	ρ_0 , absoluutselt kuiv koor	ρ_{12} , normiks seatud niiskusel
Mänd	652	680
Kuusk	715	730
Kask	736	745

Tabelist selgub, et suurim puukoore tihedus nii kuiva kui niiskuse puhul on kasel.

Järgnev alapeatükk annab ülevaate puitkütuste mahust ja mahukaalust.

2.5.1 Puitkütuste maht ja mahukaal

Tavaliselt määratakse tahkete kütuste põhilised omadused kas tarbimisaine või kuivaine massiühiku kohta, kuid paljude tahkete biokütuste koguseid mõõdetakse sageli mahuühikutes ja seetõttu on otstarbekas nende kütuste mõningate omaduste (eriti kütteväärtuste) esitamine mahuühiku kohta [3].

Väga oluline on teada hakkpuidu mahukaalu, sest väga paljud keskmised ja väikesed hakkpuitu kasutavad katlamajad mõõdavad saabuva kütuse koguseid mahu järgi. Nii tarbepuidu kui puitkütuste koguseid esitatakse statistikas tavaliselt puidumassi kuupmeetrites ehk tihumeetrites. Selle ühiku kasutamisel on oluline teada puidu massi tihedust (ρ) [3].

Mahuühikutena kasutatakse kuupmeetrit (m^3), tihumeetrit (tm), ruumimeetrit (rm) ja puistekuupmeetrit (pm^3 ehk pm). Tihumeeter (tm) on puidu ruumalaühik, milleg arvutatakse puistu tagavara ja puitmaterjali. Tihumeeter võrdub vaheruumideta $1 m^3$ ruumala puidukogusega. Ruumimeeter (rm) ehk riidakuupmeeter on üks m^3 puitu koos õhuvahedega (virnmaterjali mõõtühik). Selle asemel kasutatakse ka mõistet riidakuupmeeter ehk steer. Puistekuupmeeter (pm^3 ehk pm) on ühe m^3 suuruses mahus (puistangus) vabalt sisalduv puitkütuse (tavaliselt hakkpuidu) kogus [5].

Ruumimeetri puhul, olenevalt virnastatud materjali liigist, kasutatakse puidu koguse arvutamiseks järgmisi kordajaid:

- peenhagu pikkusega kuni 2 m - 0,1
- hagu pikkusega 2...4 m - 0,12
- hagu pikkusega 4...6 m - 0,2
- saepuru - 0,25
- halupuu pikkusega kuni 1 m - 0,70

Näiteks 1 ruumimeeter lõhutud halge on võrde 0,7 tihumeetriga. Puiduhakke puhul sõltub eelmainitud kordaja väärtus hakkuri tüübist ja puidujäätmete liigist ning võib muutuda piirides 0,35...0,45 (keskmine 0,4) [2].

Puitpelletite arvestuse puhul kasutatakse massitiheduse ühikuid- g/m^3 , kg/m^3 . Puiduhakke ja halgude mõõtmiseks kasutatakse mahulist tihedust- kg/rm , kg/pm^3 .

2.6 Kütteväärtuste võrdlus teiste kütustega

Puidupõhiste biokütuste kasutusele võtt oleneb ka teistes Eestis kasutusel olevate kütuste kütteväärtustest. Järgmisel lehel asuval Tabel 2.12 on toodud välja erinevate kütuste hoonete energiatõhususe arvutuste kasutamiseks seatud kütteväärtused. Niiskussisaldused on määratud massiprotsentides.

Tabel 2.12 Kütuste tarbimisaine alumised kütteväärtused [10]

Kütus	Tarbimisaine alumine kütteväärtus, MJ/kg	Tarbimisaine alumine kütteväärtus, kWh/mahuühik
Põlevkiviõli	38,8 MJ/kg	10,0 kWh/l
Kerge kütteõli	42,12 MJ/kg	10,0 kWh/l
Diislikütus	42,12 MJ/kg	9,7 kWh/l
Masuut	40,68 MJ/kg	10,9 kWh/l
Maagaas		9,3 kWh/m ³
Vedelgaas (propaan + butaan)	46,08 MJ/kg	
Biogaas (ligikaudne väärtus)		6 kWh/m ³
Halupuit (niiskussisaldus ≤ 12%)	14,76 MJ/kg	
Küttepuud, segapuit		1300 kWh/m ³ (ruumimeeter)
Küttepuud, kask		1500 kWh/m ³ (ruumimeeter)
Puiduhake		800 kWh/m ³ (puistekuupmeeter)
Puitbrikett (niiskussisaldus ≤ 12%)	16,56 MJ/kg	
Puitpellet (niiskussisaldus ≤ 12%)	16,56 MJ/kg	
Turbabrikett (niiskussisaldus ≤ 20%)	15,12 MJ/kg	
Tükkturvas (niiskussisaldus ≤ 40%)	12,24 MJ/kg	
Freesturvas (niiskussisaldus ≤ 50%)	10,8 MJ/kg	
Kivisüsi	25,2 MJ/kg	

Tabelist selgub, et puidupõhiste biokütuste kütteväärtused ei küündi põlevkiviõli, kerge kütteõli, diislikütte, vedelgaasi, maagaasi ega isegi kivisöe kütteväärtuste lähedalegi. Tabelis pole välja toodud põlevkivi. Põlevkivi tihedus on 1,5- 18 t/m³. Sõltuvalt põlevkivi põletamistehnoloogiast kõigub põlevkivi kütteväärtus piirides 7,8-11,0 MJ/kg [11] [12].

3 EESTI METSADE PUIDUPÕHINE BIOMASS

Eestis maismaa pindalast moodustab mets natuke üle poole, täpsemalt 51,4%. Metsarikkuselt on Eesti Euroopas suisa neljandal kohal. Selleks, et uurida Eesti metsadest saadud puidupõhist biomassi kui kütteallikat ja hinnata selle kasutamisevõimalusi, peab esmalt tegema selgeks, kui palju metsamaad kokku on, kellele metsamaa kuulub, kas see on kaitse all või mitte, kui palju metsa tohib metsamaadel raiuda, kui palju raiutakse, kui palju kasvab metsa juurde, millistes valdkondades metsa kasutatakse, mis vanuses mets on, millised on Eestis metsa majandamist reguleerivad seadused ja kuidas see kõik metsa majandamist mõjutab [13]. Antud peatükk annab ülevaate Eesti metsadest ning puidu impordist, ekspordist ning varudest.

3.1 Eesti metsamaa

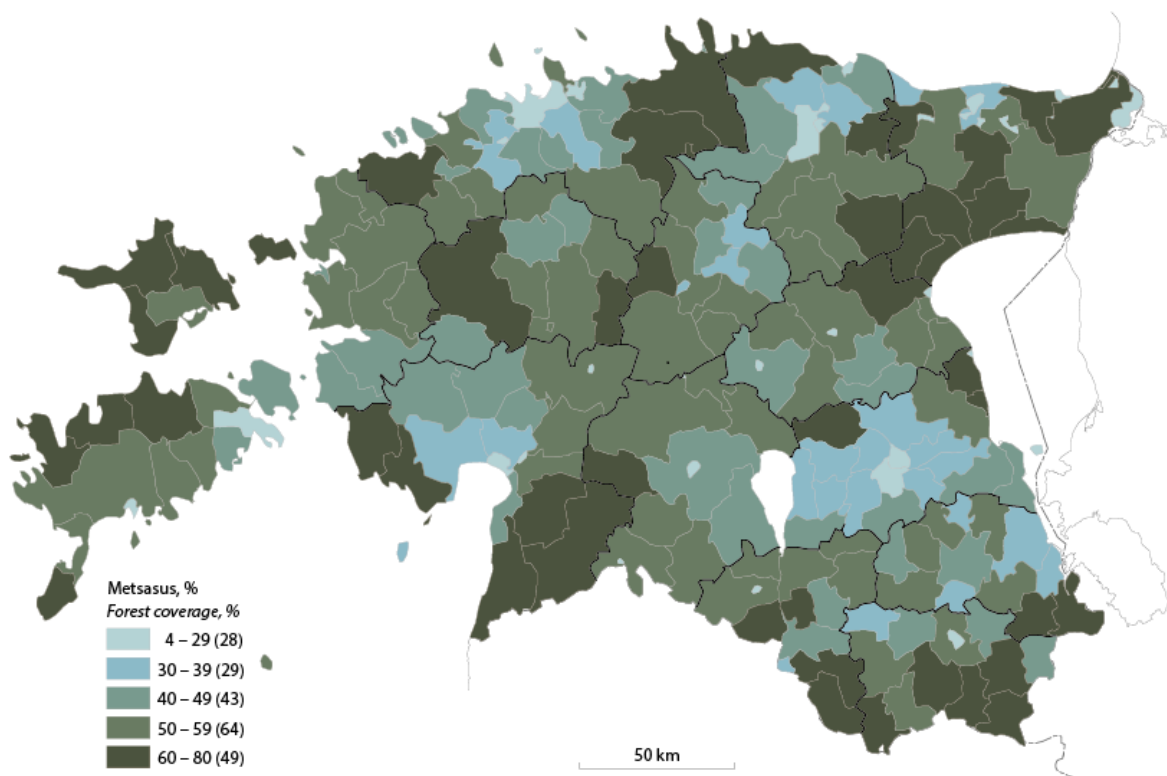
Enne statistiliste andmete juurde minemist, vajab mainimist see, et kõik statistilised uuringud esinevad mingisuguse võimaliku veaga. Seega võivad kõik esitatud väärtused olla tegelikkuses suuremad või väiksemad. Võimaliku vea suurus oleneb osakogumi suuruselt, olles kogu riiki hõlmavate näitajate puhul väike [14].

Statistika kohaselt on Eestis maakateegooriate järgi kõige suurema pindalaga (hektarites) metsamaa. Eesti metsa pindala on umbes 2 330 600 hektarit, sellest metsaga metsamaad on 2 157 400 ha ja metsata metsamaad 173 200 ha. Siinkohal tuleb ära märkida, et metsamaa arvestamiseks on vajalik, et see oleks kantud metsamaana maakatastrisse. Metsaga metsamaa alla kuuluvad kõik maatükid, mis on vähemalt 0,1 hektarilise pindalaga ja seal kasvavad vähemalt 1,3 meetri kõrgused puittaimed, mille võrad katavad vähemalt 30% maatüki pindalast. Kõik maatükid, mis nendele nõuetele ei vasta, nimetatakse metsata maadeks. Lisaks metsale on Eestis põõsastikku 67 700 ha. Metsavarude kohta tehakse iga-aastane statistiline metsainventuur (SMI) [15].

Eesti metsamaa pindala on vastupidiselt arvamustele aina suurenenud. Kui võrrelda 1942.aastat, kui metsamaa pindala oli 1 473 051 ha, siis 2017.aasta seisuga on Eesti metsamaa pindala laienenud 857 552 hektarit. Muidugi ei pruugi 1942.aasta väärtused kõige täpsemad olla, kuid tuues võrdlusesse 2015.aasta andmed on 2017.aastaks 2 309 465 hektarile juurde lisandunud 21 138 ha metsamaad [15].

2016. aastal oli Eesti metsamaa pindala 2 312 548 hektarit. Alltoodud kaardilt on näha, kui suure osa moodustab igas Eestis vallas metsamaa pindala valla enda pindalast 2016. aastal. Kõige

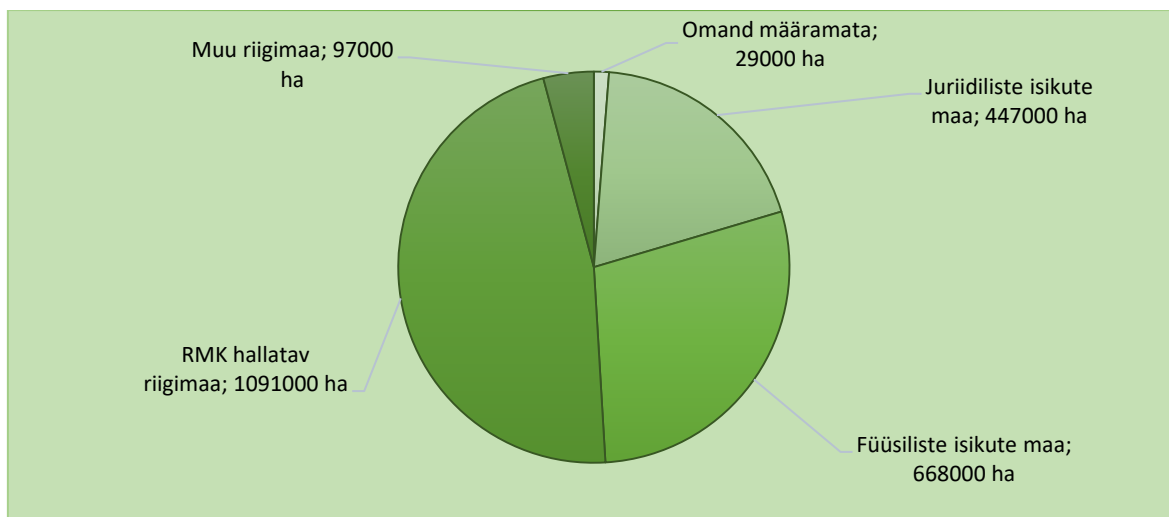
väiksema osa moodustavad metsamaad valla pindalast suuremates linnades ja/või nende ümbrustes- Tallinnas, Tartus, Rakveres, Kohtla-Järvel, Viljandis, Võrus, Raplas, Narvas. Kõige suurema osa moodustasid (80%) metsamaad valla pindalast Surju vallas, mis asub Pärnumaal ja Hiiumaal Hiiu vallas. Allolev Joonis 3.1 annab ülevaate Eesti metsasusest piirkonniti.



Joonis 3.1 Eesti metsasus 2016. aastal [16]

3.1.1 Metsamaa jaotus omandivormi alusel

Suurem osa Eesti metsamaast (51%) kuulub riigile, hektarites 1 188 000. Eraomandis (48%) metsamaad on kokku 1 115 000 hektarit. Omand määramata on 29 000 hektaril. Valdav osa riigile kuuluvast metsamaast on Riigimetsa Majandamise keskuse halduses. Eraomandis olev metsamaa jaguneb juriidiliste isikute (447 000 hektarit) ja füüsiliste isikute (668 000 hektarit) vahel suhteliselt võrdselt, väikeses ülekaalus on füüsilistele isikutele kuuluv maa. Eestis on metsaomanikke üle 113 000, mis tähendab et metsa majandamisega seotud otsuseid tegevaid isikuid on palju ning need on väga erinevad [15] [17]. Järgmisel leheküljel asuv Joonis 3.2 annab ülevaate metsamaa pindalast ning jagunemisest omandivormi põhjal.



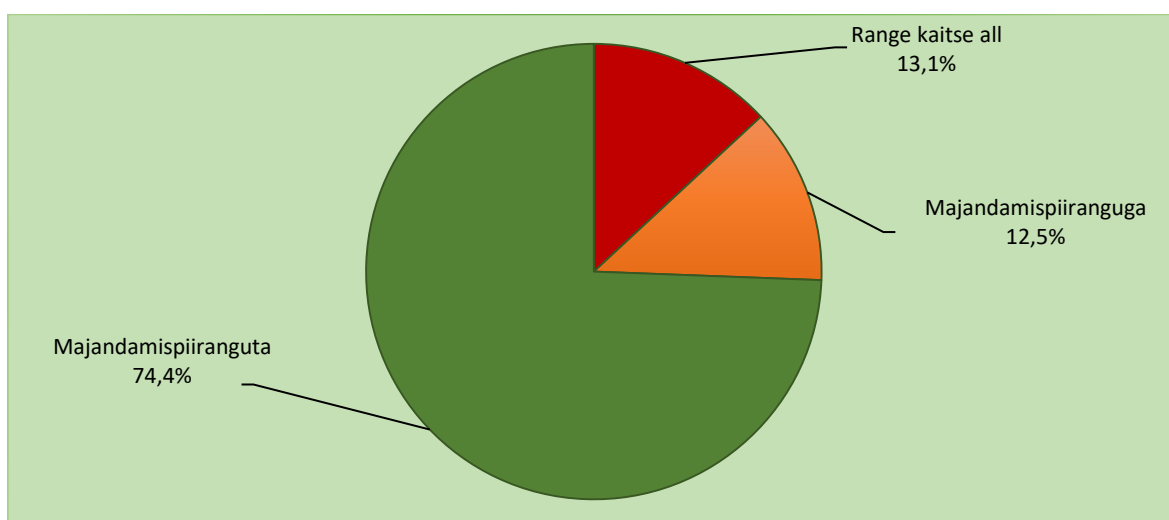
Joonis 3.2 Metsamaa pindala (hektarites) jagunemine omandivormi põhjal 2017.aasta seisuga [15]

Nagu jooniselt selgub, on enamus Eesti metsadest RMK hallatav riigimaa, veidi alla poole füüsiliste ning juriidiliste isikute maa.

3.1.2 Majanduspiiranguga, majanduspiiranguta ja kaitse all metsamaa

Eesti metsamaast on kaitse all natuke üle veerandi ehk 25,6% (vaata Joonis 3.3). Sellest range kaitse all on 13,1%, mis tähendab, et metsa majandamine on nendel maa-aladel täielikult keelatud. Eesti kogu maismaa pindalast on seega puutumatusena umbes 5%.

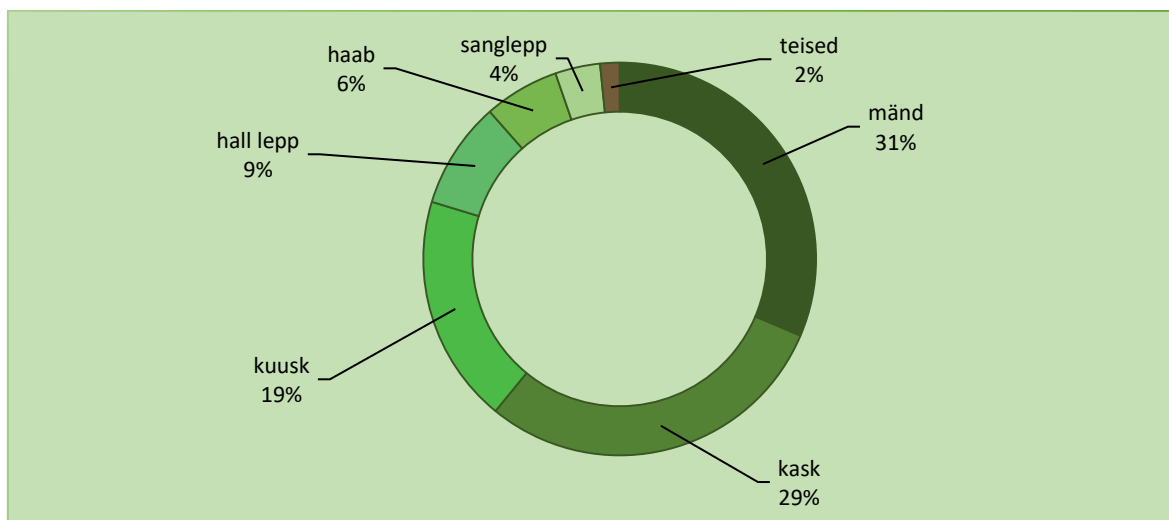
Majandamispiiranguga metsamaad on kaitse all metsamaast 12,5%. Majandamispiiranguta metsamaa pindala osakaal on küll vähenenud, kuid hõlmab kogu metsamaa pindalast ikka veel märkimisväärse osa – 74,4% [13] [15].



Joonis 3.3 Kaitsvate ja majanduspiiranguta metsamaade osakaal (protsentides) metsamaa kogu pindalast 2017.aasta seisuga [15]

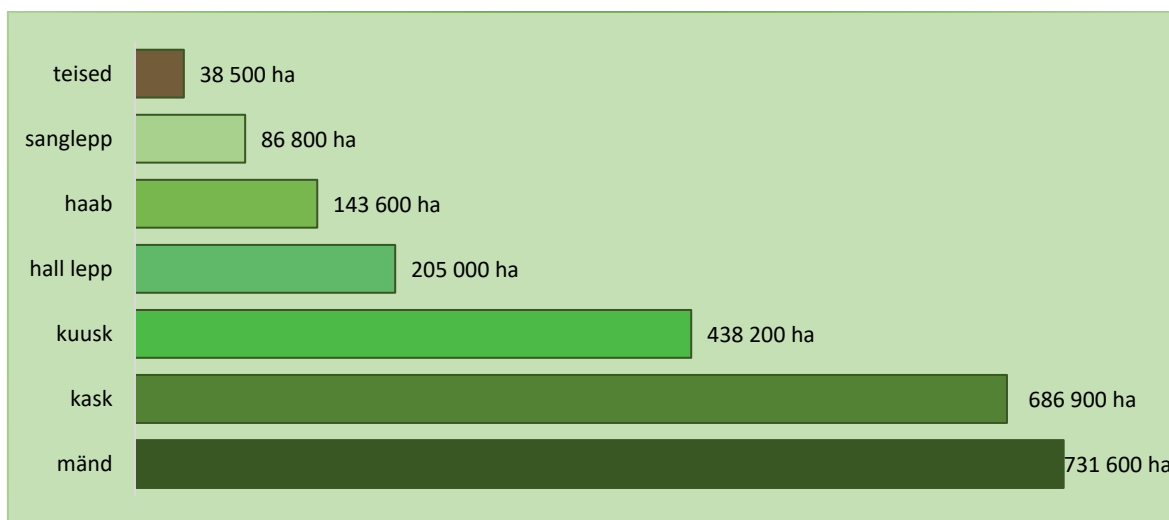
3.1.3 Metsamaa jaotus peapuuliikide järgi

Alltoodud joonis, mis kujutab endast metsamaa pindala jaotust peapuuliikide põhjal, on näha et domineerivaks peapuuliigiks Eesti metsades on mänd, millele järgneb kask ja seejärel kuusk. Sealt edasi tunduvalt väiksema metsamaa pindalaga on hall lepp, haab, sanglepp ja teised. Nende andmete alusel saab öelda, et lehtpuude ja okaspuude osakaal jaotub Eesti metsamaa kogupindalas võrdselt.



Joonis 3.4 Metsamaa pindala jaotus (protsentides) peapuuliigi järgi 2017.aasta seisuga [15]

Järgmisel Joonisel 3.5 on välja toodud metsamaa pindala jaotus peapuuliigi järgi.

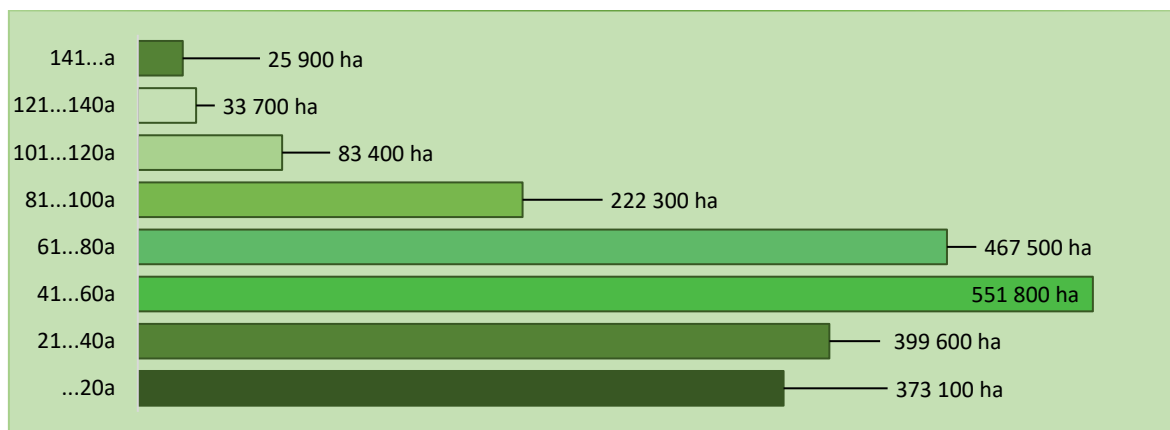


Joonis 3.5 Metsamaa pindala jaotus peapuuliigi järgi (hektarites) 2017.aasta seisuga [15]

Nagu eespool mainitud, on Eestis ülekaalus mänd, kask ja kuusk. Järgmine alapeatükk annab ülevaate Eesti metsades vanusest.

3.1.4 Metsa vanus

Eesti metsaga metsamaa ehk puistute pindala on 2 157 400 hektarit. Eesti puud/metsad on erinevates vanuseklassides, vanim puu on üle 600 aasta vana. Metsa vanus mängib suurt rolli metsa majandamisel. Sõltuvalt metsa vanusest saab metsa kas uuendada (0-5-aastane mets), hooldada (5-20-aastane mets), teostada harvendusraiet (20-60-aastane mets) või uuendusraiet (üle 60-aastane mets). Uuendusraiet saab teha küpse metsa puhul, metsa küpsus aga sõltub puuliigist. Mõned metsad saavutavad oma küpsuse 3-10 aastaga (paju, lepp jm). Selliseid liike kasutatakse tihti biomassenergia saamiseks ja nendest kasvatatud metsasid nimetatakse energiametsadeks või energiavõsadeks [15] [18]. Alloleval Joonisel 3.6 on välja toodud Eesti puistute pindala vanuseline jaotus.



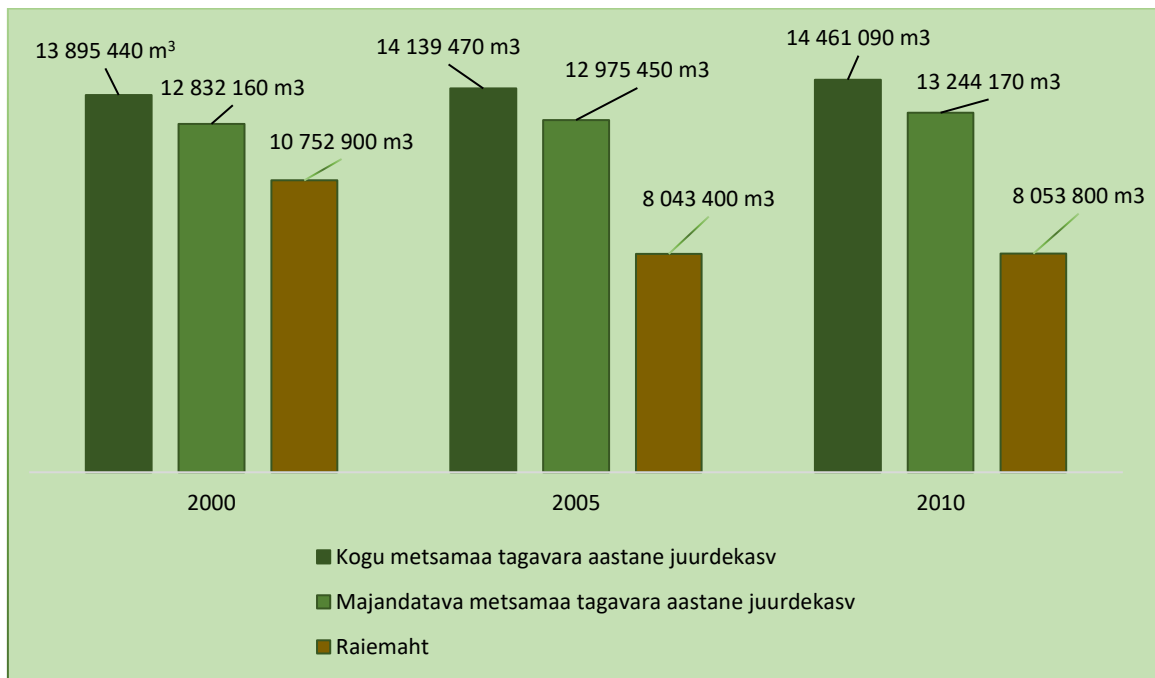
Joonis 3.6 Puistute pindala vanuseline jagunemine 2017.aasta seisuga [15]

Jooniselt selgub, et suurima pindalaga metsa on vanuses 41...60a, millele järgneb 61...80a ja seejärel 21...40a. Küpse metsa raie edasilükkamine langetab puidukvaliteeti ja aeglustab püsiva puidunivoo, seega on metsaraied vajalikud mitte ainult energeetilises valdkonnas vaid ka metsa enda seisukohalt [19]. Järgmises alapeatükis on välja toodud raiemahud ning juurdekasv.

3.1.5 Juurdekasv ja raiemahud

Üheks piiravaks teguriks kasutamaks puidupõhist biomassi energiaallikana on seadusega kehtestatud aastased raiemahud. Metsanduse arengukava aastani 2010 kohaselt peeti optimaalseks aastaseks raiemahuks 12,6 milj m³ ning perioodi tegelik keskmine raiemaht oli 7,2 milj m³ puitu. Küpsete puistu suurest olemist hoolimata raiuti perioodil 2002-2008 statistilise metsainventuuri andmete põhjal ainult 2/3 optimaalsest raiemahust, mis jääb alla Euroopa Liidu keskmisele näitajale. Seadusega on pandud raiemahtudele küll piirangud aga realselt ei ole need

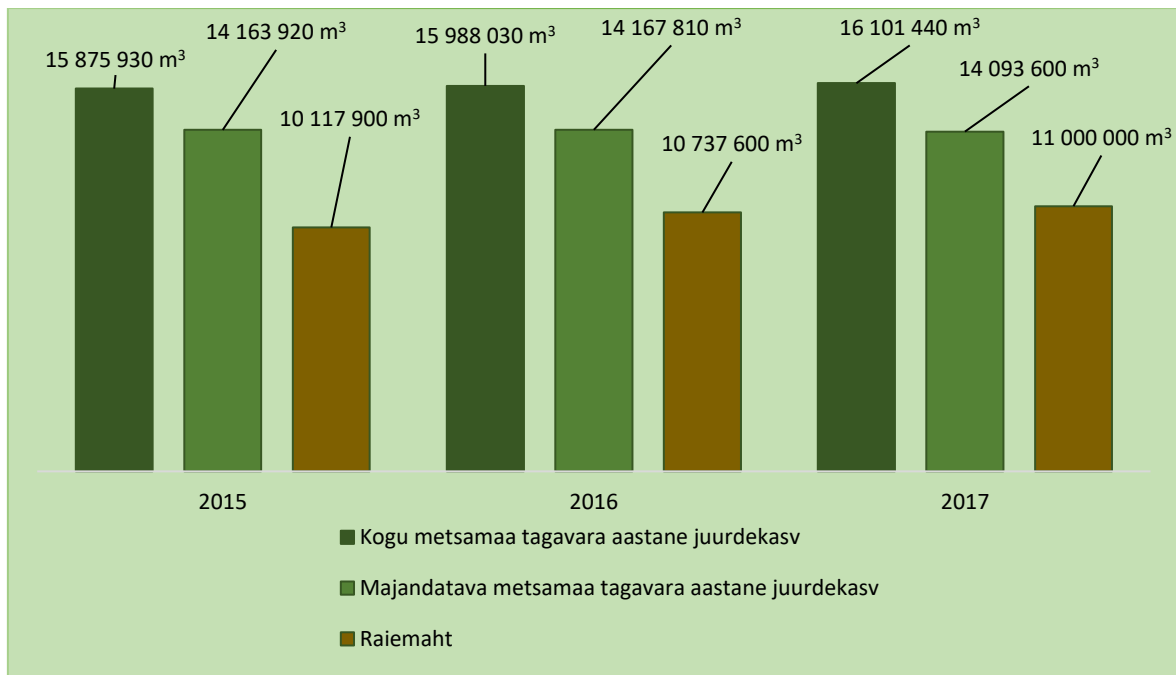
metsa kasutamist erinevates valdkondades takistanud. Joonisel 3.7 on välja toodud kasvava metsa tagavara aastane juurdekasv ning raiemaht aastatel 2000, 2005 ning 2010.



Joonis 3.7 Kasvava metsa tagavara aastane juurdekasv ja raiemaht (m³) aastatel 2000, 2005 ja 2010 [15]

Jooniselt selgub, et kogu metsamaa tagavara juurdekasv on üha suurenenud aastatega. Ühtlasi on võrreldes iga mõõteperioodiga kasvanud majandatava metsamaa tagavara aastane juurdekasv, samas kui raiemahud on vähenenud. Selle statistika põhjal saab öelda, et Eestis kasutatud puitkütused on siiani olnud biomassi taastuvuse tingimusest taastuvad energiaallikad. Samuti selle statistika põhjal võib öelda, et võimalusi biokütuste kasutamiseks Eestis peaks olema.

Järgmisel lehel oleval Joonisel 3.8 on toodud ka viimaste aastate näitajad.



Joonis 3.8 Kasvava metsa tagavara aastane juurdekasv ja raiemaht (m³) aastatel 2015-2017 [15]

Joonist vaadates on näha, kuidas aasta aastalt on aastane juurdekasv suurenenud. Viimastel aastatel on siiski suurenenud ka raiemahud.

Metsanduse arengukava 2011-2020 eesmärk on olnud metsamajanduse elujõulisuse tagamine. Selleks et Eesti metsamajandus oleks jätkusuutlik, on vaja metsaressurssi pikemas perspektiivis võimalikult ühtlaselt juurdekasvu ulatuses kasutada. Pikaajaliseks jätkusuutlikuks eesmärgiks oli kasutada 12- 15 milj m³ metsamaterjali aastas. Hinanguliselt kasvab selline kogus puitu igal aastal metsa juurde. Kui võrrelda omavahel 2000 ja 2010. aasta raiemahtusid, on märgata tunduvat raiemahtude langust. Joonisel 2.8, mis näitab kasvava metsa tagavara aastast juurdekasvu ja raiemahtusid aastatel 2015-2017, on raiemahud aastast aastasse suurenenud ning oma arvulistelt väärtuselt metsamajanduse arengukava aastani 2020 alusel seatud eesmärgile lähedal [19]. 2015.aastal oli kogu metsamaa tagavara aastane juurdekasv 16 101 440 tihumeetrit (m³), sellest majandatava metsamaa tagavara aastane juurdekasv oli 14 163 920 tihumeetrit. Sellel aastal oli raiemaht 10 117 900 tihumeetrit. 2016.aastal olid mahud suhteliselt sarnaste väärtustega, kogu metsamaa tagavara aastane juurdekasv oli 15 988 030 tihumeetrit, majandatava metsamaa tagavara aastane juurdekasv 14 167 810 tihumeetrit ja raiemaht 10 737 600 tihumeetrit. 2017.aastal oli metsamaa tagavara aastane juurdekasv 16 101 440 tihumeetrit, majandatava metsa tagavara aastane juurdekasv 14 093 600 tihumeetrit ja raiemaht satelliitpiltidelt leitud lagedate alade võrdlus lageraieteatistega 11 000 000 tihumeetrit [15].

3.2 Konkureerivad kasutusala

Raiete käigus saadud puitu kasutatakse Eestis kuues suuremas harus:

- 1) saetööstuses;
- 2) plaaditööstuses;
- 3) mööblitööstuses;
- 4) tselluloosi- ja paberitööstuses;
- 5) energeetika ja energiatoodete tootmine;
- 6) muude puittoodete tootmine [20].

Toormena kasutab saetööstus jäme- ja peenpalki. Saetööstus kasutas 2016.aastal sisendina 4,11 miljonit m³ palki. Tööstusharus on oluliseks toodanguks saematerjali kõrval ka puiduhake, saepuru ja teised puidujäätmed. Nende toodangute puhul on keeruline edasist liikumist vaadelda, kuna puudub vajalik statistika. Küll on aga teada, et puidujäätmeid ja puukoort kasutatakse osaliselt tööstuses tootmisprotsessi energeetiliseks vajaduseks ja osalise edasimüügina energeetikasektorisse. Saetööstuse põhitoodangut, saepuru/saematerjali, kasutatakse valmis lõpptootena kui ka teiste tööstuste toormena. Saematerjali toodang oli hinnanguliselt 1,7 milj m³ [20].

Puidubilansis vaadeldi plaaditööstuse all puitkiudplaatide, puitlaastplaatide, spooni ja vineeri tootmist. Kasutatakse erinevat tooret, jäme- ja peenpakudest teiste tööstusharude jäätmeteni. Toodang on teisendatud mahuühikutesse võimalik arvestuslike keksmisi paksusi ja tihedusi kasutades. Vineeri ja spooni toormeks arvestati eranditult palki, seevastu aga puitlaastplaadi ja puitkiudplaadi toormena arvestati paberipuud ja palgist pärinevaid jääke. 2016.aastal tööstusharu läbinud puitu oli 887 000 m³ [20].

Mööblitööstuse toormekasutus on eelnevatest keerulisem arvestada ning selle toorme toodangu puidusisalduse mahulist arvestust on tunduvalt raskem teha. Toormena kasutatakse nii plaaditööstuse kui ka saetööstuse toodangut, vähesel määral ka ümarmaterjali. Kuna mööblitööstuses valmistatud toodang sisaldab peale puidu veel teisi materjale ning toodangu arvestus käib tükkide või kilode kaupa, on täpset mahulist puidusisaldust raske välja tuua [20]. Tselluloosi- ja paberitööstuse toormeks on eelkõige paberipuit, vähesel määral ka makulatuur ning paber ja kartongi toormeks on tselluloos. Eestis kasutatakse tselluloosi toodanguks okaspuu paberipuud ning puitmassi tootmiseks haava paberipuud. Tselluloosi toormena on arvestatud ka puiduhaket. Haava-puitmassis sisalduv puit oli 2016. aastal natuke kasvanud 450 000 m³-ni. Tselluloosi tootmine on jäänud samale tasemele 328 000 m³. Paberi ja pabertoodete tootmine on tõusnud rohkem 669 000 m³-ni [20].

Energeetika ja energiatoodete tootmise puhul on välja toodud küttepuidu ja küttepuiduna kasutatavate puidujäätmete maht ning puidust toodetud kütteained (puitbrikett, puidugraanulid, puusüsi). Energeetika ja energiatoodete tootmise andmed sisaldavad puitu töötleva tööstuse enda energiatarbeks, puitu, mis muudetakse energiaks tööstuses kohapeal ning müüakse energiana edasi, puitu energeetikasektorile ja puitu kodumajapidamistele [20].

3.3 Puidu eksport, import ja varu

Puittoodete ekspordimahus on ülekaalus suurema lisandväärtusega tooted nagu puidust kokku pandavad majad, saematerjal, puidust ehitusdetailid, puitmööbel ja selle osad. 2017. aasta suurim ekspordi mahu kasv toimus aga saematerjali (23%) ja graanuli (24%) tootegrupis. Viimastel aastatel on eksport olnud kasvav [21].

2016. aastal imporditi 26 000 tm väärindamata puitkütust (küttepuud- 9 000 tm, puiduhake ja puidujäätmed- 17 000 tm), 7 000 tonni puidubriketti ja 11 000 tonni puidugraanuleid [22].

Eksporditi 239 000 tm väärindamata puitkütust (238 000 tm küttepuid, 1 tm puidujäätmeid) ja 1 153 000 tonni väärindatud puitkütuseid, puidubriketti (9 000 t) ja puidugraanuleid (1 144 000 t).

2016. aasta lõpuks oli puitkütuse varuks 543 000 tm ja puidubriketti ja puidugraanulite varu kokku 79 000 tonni [22].

4 PUIDUPÕHISE BIOMASSI ENERGEETILINE KASUTUSVÕIMALUS EESTIS

Energeetiliselt on võimalik puitkütuseid kasutada Eestis elektrienergia ja soojusenergia tootmiseks. Kuna elektrienergias on puitkütuste kasutamine suhteliselt algsel tasemel, tingituna põlevkivi domineerimisest selles valdkonnas (2016. aastal põlevkivi, kivisüsi ja koksi osakaal 91% kogu elektritoodangust, puidu osakaal vaid 4%), siis statistika põhjal toodeti soojust 2016.aastal puitkütuste põhjal enim- 40%. Soojuse toodangu on kõige konkureerivamaks kütuseks on maagaas, vedelgaas ja põlevkivigaas- 2016.aastal oli nende osakaal 34% [22].

Järgmises peatükis selleks, et teema ei muutuks liiga laialivalguvaks, hindab autor põhjalikumalt puidupelletite kasutamise võimalust ühepereelamu soojusenergia tootmise tarbeks. Enne selle teemani jõudmist, annab hinnangu puitkütuste kasutamisest elektrienergia ning soojusenergiaga tootmiseks. Tasub mainida, et kõikide Eestis leiduvate väärindatud ja väärindamat puitkütuste energeetiline kasutamine on võimalik.

4.1 Kasutus elektrienergia tootmisel

Statistika põhjal on puitkütust elektrienergia tootmiseks Eestis kasutatud alates 2004. aastast, mil elektrienergia tootmiseks tarbiti 1 000 tihumeetrit puiduhaket. Järsk puitkütuste kasutamine kasvas 2009. aastal, kus kasutati 163 000 tihumeetrit puiduhaket ja puidujäätmeid. Järgneval aastal, 2010.aastal, kütuste kasutamine suurenes pea kolmekordselt (kasutati 438 000 tihumeetrit puiduhaket ja puidujäätmeid). Väärindatud kütused ei ole siiani elektrienergia tootmisel kasutust leidnud [22].

Väärindamata puitkütuste kasutus 2016. aastal oli 585 000 tihumeetrit, puiduhakke kasutus 578 000 tihumeetrit, puidujäätmeid tarbiti tunduvalt vähem- 6 000 tihumeetrit ning küttepude kasutus oli veel väiksem- 1 000 tihumeetrit. Selle aasta elektrijaamades energia tootmiseks tarbitud kütuse statistika näitab, et avalikkusele tootvad elektrijaamad tarbisid puitkütuseid 584 000 tihumeetrit. Eestis on kõige suurem avalikkusele elektrienergiat tootev firma Eesti Energia, kes kasutab oma kateldes põlevkivi ja puitkütuste koospõletamist eelkõige CO₂ heitmete vähendamiseks [22].

Kui tuua välja, et peaaegu kogu Eesti elektritoodang (üle 90%) tuleb Eesti Energiale kuuluvast Narva soojuselektrijaamast, võib eeldada, et suurem osa 2016. aastal kasutatud hakkepuidust kuulus Eesti Energia elektritoodangu tarbeks. Kuna elektritoodang on firmas suur, siis on ka

elektri nõudlus väga suur. Sellest tulenevalt on Eesti Energia elektrijaamades vaja nõudluse tagamiseks kasutada suurte võimsustega katlaid [3].

Kuigi väärindamata ja väärindatud puitkütuste seas leidub paremate karakteristikutega puitkütuseid, siis hakkepuidu kasutamist soodustas energia tootmine keevkihtkateldes.

Keevkihtkatelde võimsused ulatuvad 1 MW kuni mitmesaja megavattini ning nendes madala kvaliteediga kütuste kasutamisel on mitmeid eeliseid.

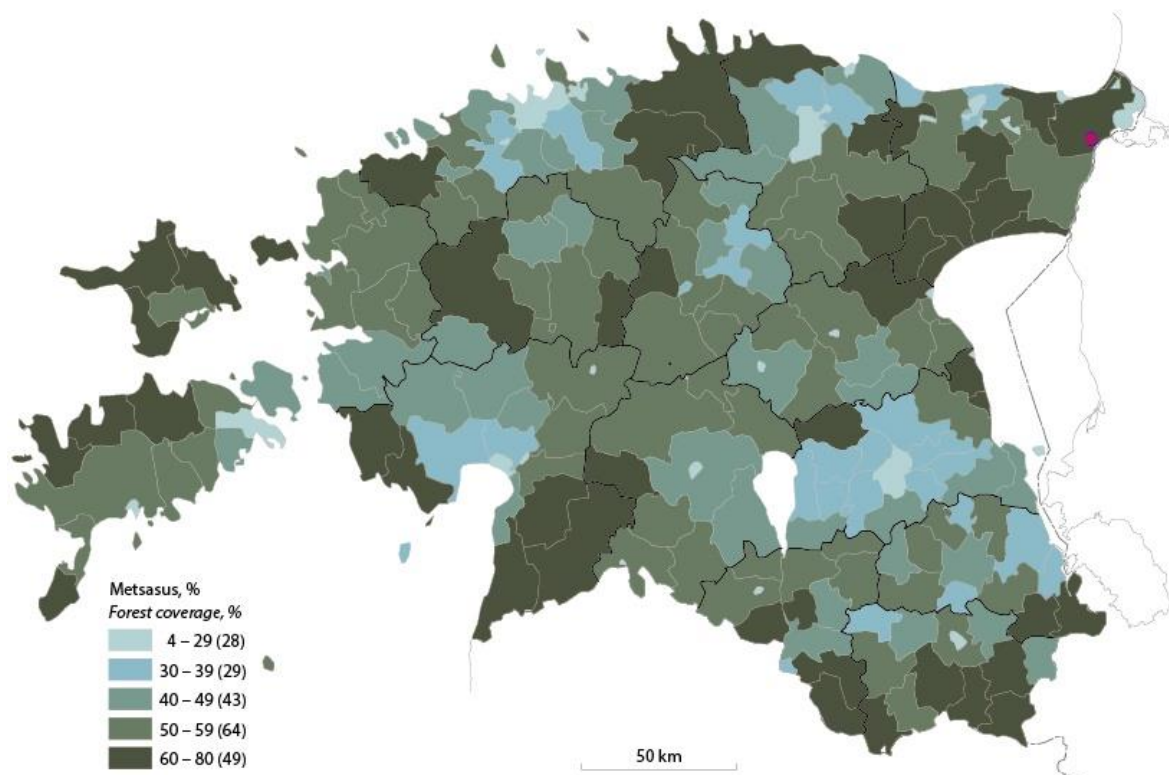
Keevkihtkatlad võimaldavad põletada muutuvate omadustega kütuseid ja nende segusid ehk keevkihtkateldes on võimalik kasutada madala kvaliteediga kütuseid, milleks hakkepuu on. Seda on näha ka hakkepuidu energetilistes karakteristikutest. Niiskusesisaldus võib ulatuda kuni 60 % ning seetõttu tarbimisaine alumine kütteväärtus on madal- 6-9 MJ/kg. Suur niiskusesisaldus on tingitud hakkepuidu ebaühtlasest koostisest- hakkepuidu toormaterjalina kasutatakse erinevate puuliikide erinevaid osi. Hakkepuidu nagu puitkütuste plussiks üldiselt on kõrge tuha voolamistemperatuur oli 1250 °C, hakkepuidu puhul võib tuua välja ka plussi tema madalama hinna võrreldes kõrgema kütteväärtustega kütuste puhul.

Keevkihtkateldes toimub põlemine temperatuuridel (750- 950 °C), seega ei teki probleemi hakkepuidu põletamisel tekkinud tuha sulamisega katlas. Samuti soodustab kütuse madalatel temperatuuridel põletamine lämmastikoksiidide hulga vähendamist. Intensiivne soojusülekanne võimaldab sama soojusliku võimsuse juures oluliselt vähendada seadme gabariite ja hoida kokku materjali, lisaks on keevkihtkatelidel suur reguleerimisdiapasoon- 100- 25 % [3] [4] [23].

Puitkütuste laialdasemaks kasutamiseks elektri tootmisel on eelkõige piiravateks teguriteks hetkel põlevkivi domneeriv kasutus ja väga suurte võimsustega katlad, mis vajavad suuri kütusevarusid.

Puitkütuste puhul on väga tähtis tagada nende ladustamiseks sobivad tingimused.

Kui tulevikus peaks olema huvi suurendada puitkütuste kasutamist Narva elektrijaamades, siis on Narva elektrijaamade asukoht hinnatuna metsasuse protsendi poolest ümbruses paiknevates valdades, väga soodne, metsad moodustavad sealkandis üle poole valla pindalast.



Joonis 4.1 Narva elektrijaama asukoht (märgitud roosa täpina) [16]

4.2 Kasutus soojusenergia tootmisel

Kui elektrienergia tootmiseks kasutati puitkütuseid 2016. aastal 585 000 tihumeetrit, siis soojusenergia tootmiseks tarbiti väärindamata puitkütuseid 2 557 000 tihumeetrit ja puidupelletide (56 000 tonni) ja puidubriketti (1 000 tonni), mis tegi kokku 57 000 tonni [22].

Väärindamata puitkütustest tarbiti 27 000 tihumeetrit küttepuid, 2 192 000 tihumeetrit puiduhaket ja 338 000 tihumeetrit puidujäätmeid. Põlevkivi kasutamine soojusenergia tootmiseks on suhteliselt ühtlaselt alates 1999. aastast langenud ning puitkütuste kasutus väikeste eranditega, 2012. aastal langes puitkütuste kasutus 2011. aasta 1 937 000 tihumeetrilt 1 616 000 tihumeetrile, tõusnud. Samuti vajab mainimist ka see, et puidugraanulite ja puidubriketti kasutamine soojusenergia tootmisel on märgatavalt suurenenud. Puidubriketti kasutus on hetkel veel väike võrreldes puidugraanulite kasutamisega [22].

Sõltuvalt hoone suurusest, enim kasutusel olevatest puitkütustest (halupuu, hakkpuit, puidupelletid) ning katla võimsusest jaotatakse on võimalik tuua välja järgmised seosed:

Tabel 4.1 Katelde jagunemine vastavalt kasutusvaldkonnale [3]

Katelde kasutusala	Tüüpilised võimsused	Puitkütuse liik (halupuu, hakkpuit, puidupelletid)
Üheperemajade katlad	15- 40 kW	Halupuu, puidupelletid
Suurte hoonete katlad	40- 400 kW	Puidupelletid, halupuud, hakkpuit
Kaugkütte katlamajade katlad	0,4- 20 MW	Puidupelletid, hakkpuit,
Tööstuskatlad	1- 80 MW	Hakkpuit
Olmejäätmete põletamise katlad	10- 30 MW	Hakkpuit

Nagu tabelist selgub on ka soojusenergia tarbimisel suurtes kateldes leitud, et sobilikumaks kütuseks on hakkpuit. Vaadates katelde võimsuste põhjal koostatud statistikat, siis oli 2016. aastal kõige rohkem Eestis katlaid võimsusega kuni 1 MW, neid oli kokku 403. 1-5 MW katlaid oli 206, 5-20 MW võimsusega katlaid oli 83, 20-60 MW katlaid oli 13, üle 60 MW võimsusega katlaid oli 8. Kütuseliigiti töötas kivisöel 2 katelt, põlevkivil 2 katelt, turbal 17 katelt, puidul 151 katelt, põlevkiviõlil 157 katelt, kergel kütteõlil 28 katelt, maagaasil (ka vedelgaasil) 378 katelt, elektrienergial 7 katelt ja rohtsel (teravilja, põhu, rapsil) biomassil 2 katelt [24].

4.3 Puidugraanulite ehk puidupelletite kasutamine Eestis

Tabel 4.1 põhjal on toodud ühepereelamu kateldes üheks sobivaks puitkütuse liigiks puidugraanulid. Kuigi puidupelletite kütteväärtused on kõrgeimad erinevate puitkütuste liikide seas, siis hoolimata oma headest energeetilistest karakteristikutest, ei ole puidugraanulite kasutamine soojusenergia tootmiseks Eestis veel nii laialdaselt levinud.

Eestis valmistatakse pelletteid tootmisjäätmetest, raiejäätmetest ja puukoorest. Kõige kõrgema kvaliteediga pelletteid saab tootmisjäätmetest, mis on näiteks tekkinud mööblitehases, saetööstuses või vineeritööstuses, kuna toormaterjal on toodete jaoks eelnevalt juba kuivatatud ning jäätmed seega juba suhteliselt kuivad ja ei vaja materjali kuivatamiseks nii palju energiat. Lisaks on pelletite puhul võimalik nende kütteväärtust suurendada pelletteid torrefitseerides. Raiejäätmetest ja puukoorest valmistatud pelletid ei ole nii kõrge kvaliteediga, sest need sisaldavad endas erinevaid puu osi, mis põhjustavad niiskusesisalduse erinevuse toormaterjalis ning seetõttu on raiejäätmetest ja puukoorest valmistatud pelletid sobivamad kasutuseks suuremates kateldes, kus kütus võib olla madalama kvaliteediga.

4.3.1 Pelletkütuse kasutamisevõimalused ühepereelamute kateldes

Oma olemuselt on puidugraanulid väga kuiv ning kõrge kvaliteediga küttematerjal, see ei vaja kuivamiseks ja kuumutamiseks nii palju soojust kui niiske kütus. Siiski on nende kasutamisel vaja valida õige katel. Liigselt kütuse kuumutamisel kuumad kiirgavad pinnad ja leegi kiirgus võivad kütusekihi temperatuuri tõusta nii kõrgele, et tuhk muutub kleepuvaks või hakkab sulama. Tuha sulamine ummistab ja rikub kolde resti ning keraamiliste koldepindade temperatuurid kerkida nii kõrgele, et keraamika hakkab koldes sulama. Selleks et kollet töökorras hoida ning pelletite põletamiseks kasutada, on vaja koldeseinte jahutamise võimalust. Graanulite põletamine on keeruline ning vajab kindla konstruktsiooniga kollet. Koldeseinte jahutustingimused määravad ära millist ja millise niiskusega kütust selles koldes põletada saab. Kui kolle on ehitatud puitpelletite kasutamiseks kütusena, siis ei ole võimalik pelletitest suurema niiskusesisaldusega kütust kasutada, kuna niiskem kütus ei kuiva koldes ja põlemine on mittetäielik [23].

Selleks, et optimeerida kulutusi ja toodetava soojuste maksumust, püütakse väikeseadmetes kasutada parema ja ühtlasema kvaliteediga kütust. Just nendel põhjustel on pelletipõhised katlad sobilikud ühepereelamu soojusenergia tarbe rahuldamiseks. Ühepereelamutes kasutatavad puidupelletid peaksid klassifitseeruma kõrgekvaliteetse puidupelletite kvaliteediklassi. Selles klassis on määratud ära puidupelletite omadused. Niiskuseklassiks peab olema M10, mis tähendab, et nende niiskusesisaldus peab jääma alla 10%, pelletid peavad olema valmistatud keemiliselt töötlemata ilma kooreta puidust, peenfraktsiooni sisaldus alla 3,15 mm 1% või 2%, mõõdu- diameeter $6 \pm 0,5$ mm ja pikkus alla 5 diameetri või pelleti diameeter $8 \pm 0,5$ mm ja pikkus alla 4 diameetri, kuni 20 % pelletite kaalust võib olla pikkusega 7,5 diameetrit, tuhasisaldus peab jääma alla 0,7 % kuivaines, väävlisisaldus peab jääma alla 0,05% kuivaines, lisandite sisaldus peab jääma alla 2 % ning alumine kütteväärtus peab olema suurem kui 16,9 MJ/kg [3].

Vaadates internetis pakutavate pelletikatelde hindu ning lähtudes Tabel 4.1 ühepereelamu katla tüüpilisest võimsusest, milleks oli 15-40 kW, on võimalik pelletkütteks kasutatava kõrge kasuteguriga (90-93%) küttekompakt saada kätte hinnaga ~3 500 €. Ühepereelamutesse saab paigaldada ka pelletikatla, mis on kasutajale väga mugavaks loodud- täisautomaatsed, kaugjuhitavad, hooldusvabad ning kasutatavad ka teiste kütuste jaoks [25].

Pelletite kasutamisel on vaja arvestada, et pelletteid peab ladustama heades tingimustes, eriti tähelepanelik tuleb olla suurte koguste puhul. Kui pelletid satuvad niiskesse keskkonda, siis selle tulemusel võib niiskus sattuda küttematerjali ja põhjustada kütuse lagunemist, mis omakorda võib viia ka kütuse hallituseni terves küttematerjali ulatuses ja lõpptulemuseks on kütuse kütteväärtuse vähenemine ning kasutuskõlbmatuse katelde kütteks, sest pelletite kvaliteet ei vasta enam kodutarbija kõrgekvaliteedilisele kvaliteediklassile.

Firma Energate OÜ kodulehel on välja toodud 150 m² maja aastase küttekulu võrdlus erinevate kütuste näol (Tabel 4.3):

Tabel 4.2 Aastase küttekulu (koos sooja tarbeveega) võrdlus 150 m² elamu näitel, kütuste keskmised hinnad 2012. aasta veebruaris [26]

Kütus	Kogus	Ühik	Hind km-ga, €	Kulu aastas, €
Maagaas	2 700	m ³	0, 535	1 445
Propaan	2 000	kg	1, 255	2 510
Kütteõli	2,6	t	969	2 519
Halupuu	32	m ³	45	1 440
Pellet	5,3	t	180	954
Puidubrikett	5,5	t	180	990

Kasutan ühe väikeelamu soojuse ja kütusevajaduse leidmiseks moodustatud näidet. Kui hoone pindala on 180 m² ja ruumide kõrgus on 2,6 m on hoone maht 180x2,6= 468 m³. Maksimalne soojusvõimsus 468x20W/m³=9,4 kW. Hoone aastane soojuskadu on 22 000 kWh, sooja vee soojuse vajadus 7 000 kWh ning seega kogu aastane soojusvajadus 29 000 kWh ehk 29 MWh. Soojusvajadusest 2/3 läheb kütteks ning ülejäänud 1/3 tarbevee soojendamiseks. Kui selles hoones põletada õhukuivi segapuid (1400 kWh/m³), siis aastane küttepuude vajadus on ligikaudu 21 m³, mis võrrelduna teiste kütustega oleks ekvivalentne 6,5 tonni pelletitega või 40 m³ hakkpuiduga. Kui 1 tonni pelleteid maksab ligikaudu 180 €, siis oleks pelletite aastane maksumus 6,5x180=1 170€, koos pelletkütte komplektiga teeks see ligikaudu 5000 €, juhul kui ei ole vaja majasisest kütiskonstruktsiooni lisaks muuta. Muidugi on väärtused suhtelised kuna tegelikkuses sõltub palju ka maja vanusest ning soojuspidavusest ja teistest mõjutavatest faktoritest [9].

Statistika kohaselt toodeti 2016. aastal pelleteid Eestis ligikaudu 1,2 miljonit tonni, milles eksporditi 95 % ja varuks jäi 79 000 tonni. Kui kasutada kogu see pelletite kogus 180 m² ühepereelamute soojuseneriga tootmise tarbeks, saaks pelletkütustega tagada ära ligikaudu 12 000 ühepereelamu soojusvajaduse.

Selle kõige põhjal võib öelda, et pelletkütte kasutamisevõimalused Eesti ühepereelamute kateldes on soodsad. Siiski on soojuse tootmisel ülekaalus teised puitkütused (hakkpuit, puidujäätmed, puuhalud). Järgmises peatükis hindab autor puitkütuste ja täpsemalt ka puidupelletite kasutamist piiravaid tegureid Eestis.

5 PUITKÜTUSTE KASUTAMIST PIIRAVAD TEGURID

Puidupõhise biomassi kasutamisel on tegelikkuses mitmeid väikeseid piiravaid tegureid, mis kõik omavahel seotud on. Piirangud tekivad eelkõige puitkütuste energeetilistest karakteristikutest ning Eestis olevast metsamaast. Järgnevates alapeatükkides toob autor välja piirangud, mis on seotud metsamaaga ning puidupõhise biomassi energeetiliste karakteristikutega ning puidupelletite kasutamisega.

5.1 Metsamaaga seotud piirangud

Joonis 3.8 ja metsamajanduse arengukavas aastani 2020 välja toodud pikaajalise jätkusuutliku eesmärgi kasutada 12-15 milj m³ metsamaterjali aastas, põhjal oleks 2017. aastal maha raiutud 11 000 000 m³ puudest veel potentsiaalselt võimalik võtta kasutusele 1-4 milj m³ metsamaterjali. Arvestades majandatava metsa tagavara aastase juurdekasvuga, mis oli 2017. aastal 14 093 600 m³, oli kasutamata raiemaht 1-3 milj m³. Tõenäoliselt ei suurendata raiemahtusid ka uute arengukavade planeerimisel, seega ei saa tulevastel aastatel olulise lubatud raiemahu kasvuga arvestada. Hoolimata sellest, ei ole raiemahud viimase kümnendi jooksul jõudnud metsade aastase juurdekasvu mahuni. 2015. aasta raiemaht oli 4% väiksem 2014. aasta omast, 2016. aasta raiemaht tõusis ligikaudu 9% 2015. aasta raiemahust. Sellise kõikumise põhjal on keeruline prognoosida tulevaste aastate raiemahtusid ning potentsiaalse puidupõhise biomassi energeetilisi kasutamisevõimalusi saab vajadusel hinnata eelnevate aastate kasutamata jäänud raiemahtude põhjal. Raiemahtu ja juurdekasvu vaadates, võib öelda, et need ei siiani piiravaks teguriks muutunud. Seega vaatleme võimalikke metsast tulenevaid teisi piiravaid tegureid edasi [27] [28]. 2017.aasta seisuga on meil küpset metsa ligikaudu 900 000 hektarit, mis vajaks uuendusraiet. Lisaks on harvendusraiet vajavat metsamaad ligikaudu 1 milj hektarit. Kui vaadata neid numbreid, siis ei piira metsa vanus hetkeseisuga puidupõhise biomassi kasutust energeetika valdkonnas. Ka metsamajanduspiirangute kohapealt on Eestis väga soodne metsa energia tootmiseks kasutada. Majanduspiiranguta metsa on meil ligikaudu 75%. Kui metsa pindala, majanduspiirangud, juurdekasv ja raiemahud metsa kasutamist Eestis soodustavad, siis jaotus omandivormi alusel võib muutuda pärssivaks teguriks. Riigi ja eraomanike vahel jaguneb mets suhteliselt võrdselt- 51% ja 48%. Seega metsamajandamise kohta otsuseid tegevaid isikuid on palju. Kui riigi metsamaad ja selle kasutust on võimalik reguleerida, siis eraomandis olevat metsamaad mitte. Paljud omanikud ei ole huvitatud oma metsa maha lõikamisest ja müümisest. Palju 2017.aasta

kasutamata raiemahust ja küpsest metsast võis langeda eraomanikele kuuluvatele metsadele. Lisaks kõigele mängivad suurt rolli metsa kasutamises metsa eksport, import ning varud. Liiga suur eksport vähendab Eesti-sisest kasutust, liiga väike varu ei soodusta puitkütuste tarbimist ning puudujäägi korral tekib vajadus impordiks. Seega sõltub metsa kasutamine energeetika valdkonnas mitmete tegurite koosmõjust- metsa omanike huvid, metsa küpsus, turunõudlus, eksport, import, varud jt.

5.2 Puitkütuste põletamisest tulenevad piirangud

Soojusenergia tootmisel konkureeris puitkütusega maagaas, vedelgaas ja põlevkivi gaas. Kui võrrelda nende kütuste kütteväärtusi puidu omadega, siis jäävad puidu kütteväärtused nendele alla. Seega võib tuua välja, et kütteväärtused muutuvad piiravateks, kui soovitakse asendada kõrgema kütteväärtusega kütust puitkütusega. Kui kütteväärtus kasutamisele võtmist ei piira, ei ole kütuse asendamine puitkütusega alati nii lihtne. Puidu niiskusesisaldus võib ületada üle 50 % ning lendosades hulk kütuses võib olla kuni 85%. Suur niiskusesisaldus ja lendosade sisaldus nõuavad puitkütuste põletamisel suurt tähelepanu.

Iga katlamaja tähtsaimaks osaks on kolle ja katel. Koldes toimub kütuse põlemine, mille kaudu vabaneb soojus, mis kandub edasi põlemisproduktidelt läbi metallist küttepinna veele. Kolde ehitus ning põletustehnoloogilised lahendused sõltuvad tugevasti kütuse energeetilisest omadusest. Seega sõltuvalt puitpuitkütusest on vaja valida õige konstruktsiooniga katel, et katlaiga oleks pikk ning soojuse tootmine oleks majanduslikult tulus [3].

Puitkütusel töötav katlamaja koosneb kütuse laost, mis omakorda võib koosneda mitmest osast, näiteks põhilao osa, automatiseeritud ladu, kütuse vastuvõtusõlm, kütuse teisaldusseadmed, mis on vajalikud kütuse transportimiseks põhilaost automatiseeritud lattu ja sealt edasi koldesse kütteks, kolle koos katlaga, suitsugaaside puhastusseadmed (kottfilter, multitsüklon jt) ja korsten, tuhaemaldusseadmed, põlemisõhu ventilaatorid, suitsuimeja, reguleerimis- ja ohutusautomaatika. Kogu katlamaja osad on seda keerulisema paiknemisega ning tehnoloogilise skeemiga, mida kehvema kvaliteediga on kütus (suur niiskus, madal kütteväärtus, suur lendosade sisaldus jne), mida seal kasutatakse. Väikestes katlamajades ja kateldes on tasuvam kasutada kõrge kvaliteediga puitkütuseid (puidupelletid), seevastu niisked ja keerulisemad puitkütused (koor, jäätmed) on otstarbekamad suurtes katlamajades, kus võimsused on tunduvalt suuremad. Puitkütused on võrreldes teiste kütustega madala mahulise energiasisaldusega, seega on vaja suuri ladusid (küttepuude puhul suuremaid, puidupelletite puhul väiksemaid), ladustamistingimusi ning teisaldusseadmeid [3] [23].

Mida suuremates kateldes puitkütuseid kasutada, seda suuremaid investeeringuid see vajab- ladu, konstruktsioon, puhastusseadmed, kütuse kogus, piisav varu, puitkütuse liik jne.

5.3 Puidupelletite kasutamist piiravad tegurid

Mida väiksem on katel, seda mõistlikum oli kasutada kõrgema kvaliteediga kütust. Kõrge kvaliteediga (madal niiskusesisaldus, kõrge kütteväärtus jne) puitkütustest on puidupelletid. Sobilikumad kasutamisvaldkonnad olid üheperemajade katlad, suurte hoonete katlad ja kaugkütte katlad. Neid katlaid on Eestis soojusenergia tootmisel kasutatud ka kõige rohkem. Paraku pole puidupelletid Eestis laialdast kasutamist leidnud ning sellel on omad põhjused.

Kõige suurem põhjus on pelletite eksport ja pelletite tootmiseks kasutatav toormaterjal. Kui 2016. aastal toodetud puidupelletitest eksporditi 95 %, siis Eesti omakasutusse jäi pelleteid väga väikeses koguses. Pelletite tootmine Eestis toimub puidutööstuse tootmisjääkidest või raietöödel tekkinud koorimata puidust. Selleks et toota kõrge kvaliteediga pelleteid on mõistlik kasutada puidutööstuste tootmisjääke, mida pole vaja kuivatada. Kui statistika kohaselt 2016. aastal majandusharu järgi kasutas pelleteid enim puidutööstus- 42 000 tonni pelleteid, siis sellest 5 % (ligikaudu 60 000 t pelleteid), mis Eesti-siseseks kasutuseks jäi, kasutas üle poole ära puidutööstus. See on tingitud sellest, et pelletite kasutamine on väga soodne just tööstuse oma soojatarbe vajaduse rahuldamiseks, eriti puidutööstustes, kuna tööstusjääkide transportimine ei vaja lisakulutusi ning toormaterjal on kohapealt võtta ja juba kõrge kvaliteediga. Nii suur kasutus puidutööstuses jätab puidupelletite kasutamise teistes valdkondades piiratuks.

Eesti ei ole nii suur riik, et puidutööstused riigis laieneksid, seega ei teki puidutöötlemisjääke nii suurtes mahtudes ja raietel koormiata puidu ümbertöötlemine kõrge kvaliteetseks toormaterjaliks vajab lisakulutusi ning kasutatakse rohkem madala kvaliteediga puitkütuseid.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö kirjutamiseks oli probleem, et fossiilsete kütuste kõrvale oleks vaja loodussõbralikumat ning taastuvat energiaallikat. Töö eesmärgiks on analüüsida ning hinnata seda, kas ja kuidas oleks võimalik kasutada puidupõhist biomassi elektrienergia tootmisel, soojusenergia tootmisel ning lähemalt uurida ühepereelamu pelletkütteil põhineva katla kasutamise võimalust.

Esimesest peatükist selgus, et puidupõhise biomassi moodustavad puud, põõsad ning nende töötlemisel ja raiumisel tekkinud jäätmed – puidutöötlemisjäätmed ja raiejäätmed. Puidupõhise biomassikütusena kasutatakse ära kogu puude ja põõsaste osad. Eelkõige klassifitseeritakse kütuseid väärindamisastme järgi.

Teisest peatükist selgus, et kütteväärtus on üks esimesi ja tähtsamaid faktoreid, mis mõjutab inimese otsust mingi teatud kütuse kasutuselevõttuks energia tootmisel. Kütteväärtused sõltuvad suuresti niiskusesisaldusest, tuhasisaldusest jt faktoritest, mis omakorda sõltuvad puidu ehk biomassi keemilisest koostisest. Kõige suurema kütteväärtusega puuliigid on mänd, kask ja kuusk. Kõige suurema kütteväärtusega on väärindatud puitkütused- puidupelletid ja puidubrikett. Kolmandast peatükist selgus, et Eestis maismaa pindalast moodustab mets natuke üle poole, täpsemalt 51,4%. Peamised puuliigid Eesti metsades on mänd, kask ja kuusk, moodustades 79% kogu metsade koosulusest, mis on ühtlasi ka kõige kõrgema kütteväärtusega puuliigid. Aasta aastalt on metsade aastane juurdekasv suurenenud. 2017. aastal oli metsamaa tagavara aastane juurdekasv 16 101 440 tihumeetrit, majandatava metsa tagavara aastane juurdekasv 14 093 600 tihumeetrit ja raiemaht satelliitpiltidelt leitud lagedate alade võrdlus lageraieteatistega 11 000 000 tihumeetrit.

Neljandast peatükist selgus, energeetiliselt on võimalik puitkütuseid kasutada Eestis elektrienergia ja soojusenergia tootmiseks. Elektrienergia valdkonnas domineerib Eestis põlevkivi, kuid soojust toodeti enim puitkütuste põhjal. Kõige enam on kasutust leidnud hakkepuit, puidujäätmed, puidugraanulid ja küttepuud. Soojusenergia tootmisel on konkureerivaimateks kütusteks maagaas, vedelgaas ja põlevkivigaas ja näiteks põlevkivist soojuse tootmine on vähenenud stabiilselt alates 1999. aastast.

Ühepereelamutes on kõige mõttekam kasutada puidupelletteid. Puidupelletid on kõrge kütteväärtusega ning ei vaja nii palju ruumi kui näiteks puuhalud ja kasutamine on automatiseeritud, soodne ja mugav väikesele tarbijale.

Viiendast peatükist selgus, et piiravateks teguriteks osutusid eelkõige Eesti metsamaa jaotus omandivormi põhised, metsa vanus, eksport, import ning varud ja juurdekasv ning raiemahud.

Lisaks mõjutavad kasutamist puidu energeetilistest karakteristikutest tulenevad väärtused (kütteväärtus, lendosad jne), mis vajavad katelde puhul kindlaid konstruktsioone. Kõrgema kvaliteediga kütust on mõistlik kasutada väikeseadmetes ja madala kvaliteediga suuremates. Järgnevalt võtab autor kokku eespool mainitu ning teeb omapoolsed soovitusel ja ettepanekud seoses puitmaterjalide kasutamisega.

Kirjeldades lõputöös Eestis valitsevat olukorda seoses puidupõhiste biomasside kasutamisega, selgus, et hetkel on kasutamise hulga seisukohalt olukord Eestis hea ning Eesti puidupõhise biomassi kasutamise suurendamine raiemahu suurendamise näol ei ole ilmtingimata vajalik. Puidupõhise biomassi kasutamise hulka ei ole raiemahtude suurendamise kohapealt otstarbekas muuta, sest Eesti metsad ei taastuks piisavalt kiiresti, kui puitu hakataks järsult rohkem kasutama. Eestis võiks olla puidu kasutamine optimeeritud, st et võimalikult palju puitu kasutataks ära just soojusenergia tootmiseks. Selleks oleks vaja puitkütuste eksporti reguleerida, tõenäoliselt seadustega, et suureneks võimalus Eesti-siseseks kasutuseks. Seda eriti puidupelletite puhul, kuna nende eksport on tootmisega võrreldes suurim, kuid kasutusvaldkonnad on sobilikumad Eestis. Kuna Eesti on oma pindalalt väike, siis ei ole riigis otstarbekas sõltuda ainult ühest kütusest. Soojusenergia tootmiseks on inimestel rohkem valikut, elektri puhul nii väga mitte, kuid see võib suurendada tulevikus, kui põlevkivi varud on lõpu korral ning tekib rohkem elektri ja soojuse koostootmisjaamu, et suureneks valikuvõimalus. Töös ei ole toodud välja kõiki piiravaid tegureid, mis puitkütuste kasutamist veel mõjutavad. Samuti peab välja tooma, et kogu hinnang olukorrale on antud statisiliste andmete kaudu ning tegelik olukord ei pruugi vastata töös välja toodud olukorrale.

SUMMARY

USE OF WOOD-BASED BIOMASS ENERGY IN ESTONIA AND LIMITING FACTORS

Rebeka Kukk

The problem of this Master's Thesis is that nowadays the wide use of fossil fuels in Estonia is in a need of more environmentally friendly and renewable energy source. The aim of this paper is to analyze and assess whether and how wood-based biomass can be used in generating electricity and heat and to explore the possibility of using a pellet-based fuel boiler in a single-family home. From the first chapter turned out that wood-based biomass is made up of trees, shrubs and waste from their processing- wood-processing waste and logging residues. All the parts from trees and shrubs are used as wood-based biomass fuel. The classification for wood-based fuels is indirect and direct biomass.

The second chapter brings out that calorific value is one of the first and most important factors that influences a person to make the decision to use a certain fuel in the production of energy. The calorific values depend to a great extent on the energetic characteristic of wood. The trees with the highest calorific value are pine, birch and spruce. The highest calorific value of the wood-based fuels have wood pellets and wood briquettes.

The third chapter reveals that the forest area in Estonia from the land area is 51,4 %. The main types of trees are pine, birch and spruce, representing 79 % of the total forests and which are also the types of trees with the highest calorific value. The annual forest increase has gone up. In 2017 the annual backup increment of forest was 16 101 440 cubic meters, the annual total backup increment of managed forest was 14 093 600 cubic meters and the cut of the forest was 11 000 000 cubic meters.

The fourth chapter shows that it is possible to use wood-based fuels in electricity and heat production. The dominating fuel in electricity production in Estonia is oil shale. Heat production in Estonia is based mostly on wood-based fuels. Wood chips, wood waste, wood pellets and firewood are the most common fuels used for producing heat energy. Natural gas, liquid gas and oil shale gas are the most competitive fuels in this area. Using oil shale has decreased since 1999. The best wood-based fuel for single-family home is wood pellets. Wood pellets have high calorific value and do not require as much space, as for example firewood, and are inexpensive and convenient for a small consumer.

The fifth chapter revealed that the limiting factors for using wood-based biomass in energy production, were the distribution of Estonian forest land based on the ownership, the age of the forest, the export, import and backup and the growth and felling volumes. In addition also the energetic characteristic values, which require specific structures for boilers, influence the use of wood-based fuels in Estonia. The high-quality fuels are better for small boilers and the low-quality fuels suit better for big boilers.

The author summarizes all the above and makes her own recommendations and suggestions regarding the use of wood materials.

Describing the prevailing situation of using wood-based fuels in Estonia of using, it became clear that the present situation is good in terms of utilization and the increase of wood-based fuels in the form of cutting capacity is not necessary.

If the forest cutting would increase, the forest would not have enough recover time and we may find ourselves in the situation where the use of wood-based biomass decreases rapidly. The solution is to optimize the use of wood, specially in the production of thermal energy. To do this, it would be necessary to regulate the export of wood fuels with law, especially for wood pellets because the export is the largest in comparison to production and wood pellets are the most suitable wood-based fuels for field of application.

Estonia is a small country so it is not expedient to depend on one fuel only. In the heat production people have a lot more choices than in the electricity production, but this can also increase in the future, when the oil shale stocks are running low and the cogeneration of heat and electricity increases.

The work does not list all the fields for using wood-based fuels and also not all the limiting factors are mentioned. It should also be noted that the entire assessment of the situation is provided by statistical data and the actual situation may not correspond to the situation outlined in the work.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] CRC Press/Balkema, Biomass as Energy Source: Resources, Systems and Applications, CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 2013.
- [2] „Eramets,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2013/02/2._puit.pdf. [Kasutatud 04 20 2018].
- [3] Ü. K. P. M. T. P. S. S. Villu Vares, Biokütuste kasutaja käsiraamat, Tallinn: TTÜ KIRJASTUS, 2005.
- [4] A. Paist, Biomassi energeetilise kasutamise võimalused Eestis, Tallinn, 1992.
- [5] P. M. V. V. Ülo Kask, „Eramets,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2013/01/puitkutus.pdf>. [Kasutatud 30 04 2018].
- [6] Ü. Kask, „Eramets,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2013/02/ulo-kask.-puitkutused_paide_31_03_2014.pdf. [Kasutatud 30 04 2018].
- [7] [Võrgumaterjal]. Available: <http://bisoplan.bioenarea.eu/html-files-es/paragraphs/01-01-02a.html>. [Kasutatud 27 04 2018].
- [8] A. Konist, „TTU,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120_files/Puitku%CC%88tusest.pdf. [Kasutatud 23 03 2018].
- [9] Ü. Kask, „Eramets,“ 22 08 2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2013/02/ulo-kask.-parnu_i_22_08_2014.pdf. [Kasutatud 20 04 2018].
- [10] „Riigiteataja,“ 05 06 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akti/1090/6201/5021/MKM_m58_lisa5.pdf#. [Kasutatud 05 17 2018].
- [11] Keskkonnaministeerium, 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/sites/default/files/ak_polevkivi_vv17dets2015.pdf. [Kasutatud 30 03 2018].
- [12] A. Vainola, „Energia,“ 28 10 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.energia.ee/-/doc/10187/pdf/concern/loengusari_tty_andres_vainola.pdf. [Kasutatud 30 04 2018].
- [13] „Keskkonnaministeerium,“ 22 03 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.envir.ee/et/konventsioon-metsandus>. [Kasutatud 20 04 2018].
- [14] Keskkonnaagentuur, „Keskkonnaagentuur,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/mets2016_08.09.pdf. [Kasutatud 05 04 2018].
- [15] Keskkonnaagentuur, „Keskkonnaministeerium,“ 12 04 2018. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/sites/default/files/eesti_metsad_2017_v5_vaiksem_.pdf. [Kasutatud 28 03 2018].
- [16] M. Servinski, „Eesti Statistika,“ 09 01 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://blog.stat.ee/2018/01/09/ev100-mets-ja-metsarahvas/>. [Kasutatud 09 04 2018].
- [17] „Keskkonnaministeerium,“ 22 03 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.envir.ee/et/konventsioon-metsandus>. [Kasutatud 15 05 2018].
- [18] „Energialgud,“ 09 09 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiialgud.ee/index.php?title=M%C3%B5iste:Energiamets>. [Kasutatud 12 05 2018].

- [19] „Keskkonnaministeerium,“ 2010. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/mak2020vastuvoetud.pdf. [Kasutatud 28 04 2018].
- [20] Madis Raudsaar, Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liit, SA Erametsakeskus, „Eramets,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.eramets.ee/wp-content/uploads/2017/01/Puidubilanss_2016_ja_2019.pdf. [Kasutatud 30 03 2018].
- [21] EMPL, „Eesti metsa- ja puidutööstuse liit,“ 02 05 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <http://empl.ee/wp-content/uploads/2015/05/2017-metsa-ja-puidut%C3%B6%C3%B6stus-numbrites.pdf>. [Kasutatud 20 05 2018].
- [22] „Eesti Statistika,“ 29 05 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?lang=et&DataSetCode=KE05#>. [Kasutatud 29 04 2018].
- [23] V. Vares, Energiatehnika, TTÜ kirjastus, 2011.
- [24] Statistika andmebaas, „Eesti Statistika,“ 05 30 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?lang=et&DataSetCode=KE05#>. [Kasutatud 30 05 2018].
- [25] „Cerbos,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cerbos.ee/et/8-pelletikatlad?orderby=price&orderway=asc&orderway=asc&p=2>. [Kasutatud 29 05 2018].
- [26] Energate OÜ, „Energate,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.energate.ee/index.php?page=109&>. [Kasutatud 30 05 2018].
- [27] [Võrgumaterjal]. Available: <http://empl.ee/wp-content/uploads/2015/05/2015-metsa-ja-puidut%C3%B6%C3%B6stus-numbrites.pdf>.
- [28] [Võrgumaterjal]. Available: <http://empl.ee/wp-content/uploads/2015/05/2016-metsa-ja-puidut%C3%B6%C3%B6stus-numbrites.pdf>.