

Tallinna Tehnikaülikool

**Villu Vares, Ülo Kask, Peeter Muiste,
Tõnu Pihu, Sulev Soosaar**

BIOKÜTUSE KASUTAJA KÄSIRAAMAT

Toimetaja Villu Vares

Illustratsioonid: Malle Remmel ja Tõnu Pihu

Kaane kujundus: Ann Gornischeff

Tööd finantseeris Põhjamaade Ministrite Nõukogu

ISBN 9985-59-595-5

Autoriõigus Tallinna Tehnikaülikool, 2005

EESSÕNA

Balti mere äärsete riikide energeetika-alane koostöö, lühendatult *BASREC*¹, sai alguse 1999. aastal Taani, Eesti, Soome, Saksamaa, Islandi, Läti, Norra, Poola ja Vene Föderatsiooni energeetikaküsimustega tegelevate ministrite ning Euroopa Komisjoni ühisest otsusest.

BASREC'i bioenergeetikaga tegelev töögrupp aastateks 2003 – 2005 loodi 2002. aasta novembris Vilniuses toimunud *BASREC*'i ministrite töökohtumisel. Vastavalt kohtumisel tehtud ettepanekutele ja otsustele töötati välja bioenergeetika töögrupi tegevuskava aastateks 2003 – 2005.

Bioenergeetika töögrupi ja selle nelja töösuuna tähtsaimaks ülesandeks oli kõigi bioenergeetika valdkonnas tegutsevate osapoolte koondamine ja ühistegevuse kaudu bioenergeetika arengu kindlustamiseks. Neljaks tegevussuunaks kavandati:

Tegevus 1 Teadmiste süvendamine.

Tegevus 2 Standardid ja turu harmoniseerimine.

Tegevus 3 Ühisrakendusprojektid – bioenergia kliimamuutuste leevendamise projektides.

Tegevus 4 Uurimis- ja arendustööd.

Balti mere äärne piirkond ja eriti Venemaa loodeosa on tuntud oma metsarikkuse poolest. Just metsadest saadakse põhiline osa tahketest biokütustest. Teiseks tahke biokütuse allikaks on põllumajandus, kust on võimalik saada õlgi ja teisi taimseid energia tootmiseks sobivaid jäätmeid. Siiski on oluline mainida, et siiani on metsi väärtustatud eelkõige kui tarbepuu ja saeveskite ning tselluloositööstuse tooraine allikat. Traditsiooniliseks puitkütuseks loetakse halupuid, kuid kaasaegne ja efektiivne põletustehnoloogia võimaldab üha paremini kütusena ära kasutada raie- ja puidutööstuse jääke. Puitkütused pakuvad huvi nii kodumaistele kasutajatele kui ka ekspordiks. Juba üle kümne aasta on Balti riigid olnud Põhjamaade ja teiste Euroopa riikide turu tähtsateks hakkpuidu ja pelletitega varustajateks. Praegu on sellele kütuseturule jõudmas Venemaa. Kliimamuutuste ja keskkonnanahoiu seisukohalt on biokütuste kasutamisel suured eelised fossiilkütuste ees, samuti võimaldab biokütuste tootmise laiendamine uusi töökohti luues parandada tööhõivet.

Balti mere äärse piirkonna teiseks iseloomustavaks jooneks on kaugkütte laialdane rakendamine. Põhjamaade kaugküttes on suur osakaal biokütuste baasil toodetud soojusel. Venemaa, Poola ja Balti riikide kaugküttes omavad suuremat osatähtsust fossiilsed kütused – kivisüsi, küttemasuut ja maagaas. Seoses fossiilsete kütuste ja energia hinna pideva tõusuga suureneb nendes riikides huvi hakkpuidu ja pelletitega kütmise vastu, samuti uuritakse võimalusi biokütuste baasil elektri ja soojuse koostootmise tehnoloogiate rakendamiseks.

Venemaa ja Balti riikide ülikoolides ning konsultatsioonifirmades tuntakse hästi puidupõhiste kütuste iseärasusi ja nende tootmise ning kasutamise teoreetilisi aspekte, mis loob nendes maades väga soodsad tingimused biokütuste kasutuse laiendamiseks. Siiani jääb veel puudu biokütuse praktilise rakendamise oskustest ja kogemustest.

¹ Esitähed Balti mere äärsete riikide energeetika-alane koostöö-organisatsiooni inglisekeelsest nimetusest: **BALTic Sea Region Energy Co-operation**

Bioenergeetika töögrupi Tegevuse 1 sisuks ja eesmärgiks oli sellise Käsiraamatu koostamine, mis aitaks süvendada teadmisi ja levitada kogemusi bioenergia tootmise ja rakendamise valdkonnas ning aitaks kohalikel omavalitsustel, kaugküttefirmadel ja teistel energiatootjatel valida sobivad tehnoloogiad, määrata katlamaja ja selle seadmete otstarbekas tootlikkus ning saavutada vajalik töökindlus.

Biokütuste kasutaja käsiraamatu koostamine oli usaldatud Tallinna Tehnikaülikoolile, kus on olemas pikaajalised teoreetilised ja praktilised bioenergia rakendamise kogemused. Käsiraamatu esimesed väljaanded on inglise-, vene- ja eestikeelsed. Loodetavasti leitakse võimalusi Käsiraamatu tõlkimiseks teistesse piirkonna keeltesse ja täiendamist vastavate maade kogemusega.

Tööd finantseeris Põhjamaade Ministrite Nõukogu.

Gudrun Knutsson

BASREC'i bioenergeetika 2003 – 2005 töögrupi esinaine

SISUKORD

EESSÕNA	3
1. SISSEJUHATUS	17
1.1. ENERGIAPOLIITILISEST ARENGUST EUROOPA LIIDUS JA BALTI MERE ÄÄRSETES MAADES	17
1.2. BIOMASSI JA METSARESSURSI KASUTAMINE BALTI MERE ÄÄRSETES MAADES	20
1.2.1. <i>Biomassi energeetilise kasutamise soodustamisest</i>	23
1.2.2. <i>Piirkondlik praktika ja kogemused</i>	23
2. TAHKETE BOKÜTUSTE JA TURBA OMADUSED	27
2.1. PUITKÜTUSTE LIIGID	27
2.2. PUIDUPÕHISTE KÜTUSTE OMADUSED	28
2.2.1. <i>Keemiline koostis, tuha-, niiskuse-, kuivaine- ja lendaine sisaldus</i>	28
2.2.2. <i>Kütteväärtus</i>	30
2.2.3. <i>Tuha sulamiskarakteristikud</i>	32
2.2.4. <i>Kütuste maht ja mahukaal</i>	33
2.3. ÖLED JA NENDE OMADUSED	33
2.4. TURBA OMADUSED	35
2.5. TAHKETE BOKÜTUSTE KVALITEEDI CERTIFIKAADID JA KLASSID	37
2.5.1. <i>Tahkete bokütuste klassifitseerimise alused</i>	38
2.5.2. <i>Kütuste klassifitseerimise näiteid</i>	39
2.5.3. <i>Turbakütuste klassifitseerimine</i>	41
2.6. KÜTUSEPROOVIDE VÕTMINE JA KVALITEEDI MÄÄRAMINE	41
3. TAHKETE BOKÜTUSTE TOOTMINE	43
3.1. BIOMASSI JAGUNEMINE METSAS, KÜTUSTE TOOTMISE TEHNOLOOGILISED JA KESKKONNAKAITSSELISED PIIRANGUD	43
3.1.1. <i>Puude biomassi jaotus</i>	43
3.1.2. <i>Kütuste tootmise tehnoloogilised ja keskkonnapõhised piirangud</i>	44
3.2. PUITKÜTUSTE TOOTMISE TEHNOLOOGIAD JA SEADMED	45
3.2.1. <i>Tüvestehake</i>	45
3.2.2. <i>Hakkpuit raiejäätmest</i>	47
3.2.3. <i>Puu sektsioonide ja kogupuu tehnoloogiad</i>	54
3.3. PUITKÜTUSE TOOTMISE MASINAD JA SEADMED	56
3.3.1. <i>Puidu hakkurid ja purustid</i>	56
3.3.2. <i>Raiejäätmepallid</i>	61
3.3.3. <i>Halupuude lõhkumise seadmed</i>	62
3.3.4. <i>Akumuleeriv lõikepea</i>	63
3.4. PUITKÜTUSTE KVALITEETI MÕJUTAVAD TEGURID	64
3.5. VÄÄRINDATUD KÜTUSTE TOOTMINE	65
3.5.1. <i>Üldist</i>	65
3.5.2. <i>Briketid</i>	65
3.5.3. <i>Pelletid</i>	66
3.6. ÖLGEDE VARUMINE KÜTUSEKS	68
3.7. TURBAKÜTUSTE TOOTMINE	69
3.7.1. <i>Freesturvas</i>	70
3.7.2. <i>Tükksturvas</i>	70
3.7.3. <i>Väärindatud turbakütused</i>	71

4.	BIOKÜTUSTE JA TURBA PÕLETUSTEHNOLOOGIAD	73
4.1.	BIOKÜTUSTE JA TURBA PÕLEMINE	73
4.1.1.	Kütuse põlemise tsoonid ja etapid	73
4.1.2.	Kütusekihi temperatuuri reguleerimisvõimalusest	74
4.1.3.	Põlemise soojuskaod ja kasutegur	75
4.1.4.	Põlemisprotsessi efektiivsust iseloomustavad näitajad	76
4.2.	PÕLETUSTEHNOLOOGIAD	76
4.2.1.	Restkolded	77
4.2.2.	Keevkihtkolded	81
4.2.3.	Kütuse gaasistamine	82
4.2.4.	Põhu põletamine	84
4.2.5.	Pelletite põletamine ja tahkekütusepõletid	85
4.2.6.	Katelde ümberehitamine teiste kütuste põletamiseks	88
4.2.7.	Väikekatlad	88
5.	KÜTUSE LAOD JA TRANSPORTÖÖRID	95
5.1.	ERINEVATE OMADUSTEGA TAHKETE BIODÜTUSTE LADUSTAMISE ÜLDISED NÕUDED	95
5.2.	LADUDE TÜÜBID	96
5.3.	KÜTUSTE TRANSPORTI JA EDASTAMISE SEADMED	97
6.	BIODÜTUSTE KASUTAVATE KATLAMAJADE KESKKONNAMÕJUDE LEEVENDAMINE	101
6.1.	TAHKED JA GAASILISED HEITMED	101
6.2.	SAASTEAINETE EMISSIOONI PIIRAMISEKS KEHTESTATUD NORMATIIVID	102
6.3.	TAHKETE OSAKETE PÜÜDMINE SUITSUGAASIDEST	105
6.3.1.	Multitsüklonid	105
6.3.2.	Kottfiltrid	106
6.3.3.	Elektrifiltrid	107
6.3.4.	Suitsugaaside kondenseerimine	107
6.4.	TUHAÄRSTUS JA UTILISEERIMINE	108
6.4.1.	Tuhaärstus	108
6.4.2.	Tuha utiliseerimine	109
6.5.	KATELDE KÜTTEPINDADE PUHASTAMINE SADESTISTEST	110
7.	TAHKETE BIODÜTUSTE RAKENDAMISE PLANEERIMINE KAUG- JA LOKAALKÜTTES	111
7.1.	SOOJUSVAJADUSE MÄÄRAMINE	111
7.2.	KOORMUSKESTUSKÕVER	113
7.3.	KATELDE VALIK	114
7.4.	KATLAMAJA INFRASTRUKTUUR	115
7.5.	KÜTUS	115
7.6.	KÜTUSELAO OTSTARBEKA MAHU MÄÄRAMINE	117
7.7.	BIODÜTUSTE KASUTAMISE PROJEKTIDE MAJANDUSLIK HINDAMINE JA ANALÜÜS	117
7.7.1.	Kaugkütteettevõtte kulud ja tulud	117
7.7.2.	Investeeringu tasuvuse hindamine	118
7.8.	BIODÜTUSTE KASUTUSELEVÕTU PLANEERIMISE ERIPÄRA LOKAALKÜTTES	119
8.	BIODÜTUSTE KATLAMAJADE RAJAMISE JA KÄIDU KOGEMUSTEST	121
8.1.	TÄHELEPANEKUID STATISTIKAST	121
8.2.	NÄITEID EDUKATEST BIODÜTUSTE KASUTUSELEVÕTU PROJEKTIDEST	124
8.2.1.	Tehnika katlamaja Türil	125
8.2.2.	Aardla katlamaja Tartus	129

8.2.3.	<i>Võrusoo katlamaja Võrus</i>	133
8.2.4.	<i>Männimäe katlamaja Viljandis</i>	136
8.2.5.	<i>Vabriku katlamaja Türil</i>	139
8.2.6.	<i>Kalevi katlamaja Kuressaares</i>	141
8.2.7.	<i>Haapsalu katlamaja</i>	145
8.2.8.	<i>Keila katlamaja</i>	147
8.2.9.	<i>Peetri katlamaja Paides</i>	150
8.3.	KOKKUVÕTE BIOKÜTUSTE KASUTAMISE KOGEMUSTEST EESTIS	153
8.3.1.	<i>Katelde koormamine ja kütuse erikulu</i>	153
8.3.2.	<i>Biokütuse kasutusevõtu riskid</i>	154
8.3.3.	<i>Järeldused ja soovitused</i>	155
9.	LISAD	157
9.1.	KASUTATAVAD ÜHIKUD	157
9.2.	BIOKÜTUSTE JA TURBA TEHNILISED TINGIMUSED JA KVALITEEDI KLASSID	158
9.3.	PRAKTIKAS ENAMKASUTATAVATE ANDMETE TABELID	167
10.	KASUTATUD KIRJANDUS	171

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1. Sisemaine energia kogutarbimine ja taastuvate energiaallikate ning biomassi kasutamine (2002) [2].....	21
Tabel 1.2. Metsade ja muu metsamaa pindalad EL-s [3], [4]	22
Tabel 2.1. Puidu elementaarkoostis [6]	28
Tabel 2.2. Okaspuude eri osade niiskusesisaldus [6]	29
Tabel 2.3. Enamlevinud puuliikide kuivaine alumine kütteväärtus, $q_{\text{net,d}}$, MJ/kg [13]	31
Tabel 2.4. Puu tuha sulamiskarakteristikud [6]	33
Tabel 2.5. Õlgede kuivaine elementaarkoostis [6].....	34
Tabel 2.6. Eri viljade õlgede tuhasisaldus ja alumine kütteväärtus [6]	34
Tabel 2.7. Eri viljade õlgede sulamiskarakteristikud [6].....	35
Tabel 2.8. Lagunemisastme mõju turba tarbimisaine koostisele protsentides [6]	36
Tabel 2.9. Lagunemisastme mõju turba kuivaine elementaarkoostisele protsentides [6]	36
Tabel 2.10. Frees- ja tükkturba omaduste keskmised väärtused VTT andmetel [6]	37
Tabel 2.11. Turbakütuste tuha sulamiskarakteristikud VTT ja Vapo andmetel [6]	37
Tabel 2.12. Biokütuste kaubanduslike vormide tüüpilised näited	39
Tabel 2.13. Kõrge kvaliteediliste puidubrikettide kvaliteediklassid kodutarbijatele.....	40
Tabel 2.14. Kõrge kvaliteediliste puidupelletite kvaliteediklassid kodutarbijatele.....	40
Tabel 2.15. Turbakütuste levinumad kaubanduslikud vormid [19]	41
Tabel 3.1. Puidu saak okasmetsadest Soomes [21]	44
Tabel 3.2. Mineraalainete kadu 70-aastase rotatsiooniperioodi jooksul erinevate tehnoloogiate korral [22].....	45
Tabel 3.3. Hakkpuidu kvaliteedi muutus säilitamisel [26]	64
Tabel 3.4. Raiejäätmete kvaliteedi muutus säilitamisel [26]	64
Tabel 4.1. Mõningate kütuste $\text{CO}_{2,\text{max}}$ väärtused.....	76
Tabel 4.2. Tüüpilised võimsused eri põletusviiside korral Soomes [48].....	77
Tabel 4.3. Katelde jagunemine vastavalt kasutusvaldkonnale [48].....	77
Tabel 5.1. Lao tühjendusseadmete sobivus tahketele kütustele.....	100
Tabel 5.2. Transportöörde sobivus tahketele kütustele	100
Tabel 6.1. Vääveldioksiidi heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele.....	102
Tabel 6.2. Vääveldioksiidi heitkoguste piirväärtused biomassi kasutavatele uutele põletusseadmetele	102
Tabel 6.3. Lämmastikdioksiidide heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele.....	103

Tabel 6.4. Lämmastikdioksiidide heitkoguste piirväärtused biomassi kasutavatele uutele põletusseadmetele	103
Tabel 6.5. Tahkete osakeste heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele.....	103
Tabel 6.6. Tahkete osakeste heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele uutele põletusseadmetele	103
Tabel 6.7. Heitmepiirangud puidukateldele Austrias	103
Tabel 6.8. Põhjamaade ökomärgise nõuded tahke biokütuse kateldele (mg/m ³)	104
Tabel 6.9. Heitkoguste piirväärtused (g/m ³ , 10 % O ₂ sisalduse juures) kateldele võimsusega kuni 300 kW (vastavalt standardile EN 303-5)	104
Tabel 6.10. Parimast olemasolevast tehnoloogiast lähtuvad heitkoguste piirväärtused väikestele (< 50 kW) puidukateldele Soomes	105
Tabel 6.11. Gaasipuhastusseadmete kasutusnäitajad.....	105
Tabel 7.1. Biomassil töötavate katlamajade orienteeruv territooriumivajadus [57]	115
Tabel 7.2. Puitkütuste võrdlus kasutamise aspektist.....	116
Tabel 8.1. Statistilised põhiandmed puitkütustel ja turbal töötavate katelde kohta Eestis [58].....	121
Tabel 9.1. Energiaühikute teisendamine	157
Tabel 9.2. Kordsed ühikud.....	157
Tabel 9.3. Hakkpuidu tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16].....	158
Tabel 9.4. Brikettide tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16].....	159
Tabel 9.5. Pelletite tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]	161
Tabel 9.6. Puidukoore tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16].....	163
Tabel 9.7. Halupuude tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]	164
Tabel 9.8. Pressitud õlgede tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16].....	165
Tabel 9.9. Saepuru tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]	166
Tabel 9.10. Küttepuidu alumine kütteväärtus $q_{\text{net,ar}}$, MWh/t (põlevaine keskmise kütteväärtuse 19,2 MJ/kg korral).....	167
Tabel 9.11. Õhukuivade halupuude tüüpilised omadused [41]	169
Tabel 9.12. Rootsi pelletite klassifikatsioon SS 187120 [6].....	169

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1. Biomassi energeetiline kasutamine 2002. a (toe elaniku kohta).....	21
Joonis 1.2. Territooriumi metsasus, 2002. a (% kogu territooriumist).	22
Joonis 2.1. Puitkütuste liigitus tooraine päritolu järgi.....	27
Joonis 2.2. Puitkütuste liigitus väärindamise astme järgi	28
Joonis 2.3. Tahke kütuse komponendid	29
Joonis 2.4. Puitkütuse alumise kütteväärtuse sõltuvus niiskusest (niiskusesisaldus kütuse kuivaine ja tarbimiskütuse kg kohta)	31
Joonis 2.5. Standardse tuhakoonuse kujumuutused kuumutamisel oksüdeerivas keskkonnas	32
Joonis 2.6. Freesturvas.....	36
Joonis 2.7. Tükksturvas	36
Joonis 3.1. Puu biomassi jaotus [21]	43
Joonis 3.2. Kändude kuivaine mass ja kütteväärtus sõltuvalt kännu diameetrist [21].....	44
Joonis 3.3. Tüvestehakke tehnoloogia	46
Joonis 3.4. Tüveste lõikamine ja kogumine harvendusraiel, P.Muiste fotod	46
Joonis 3.5. Tüveste hakkimine, P.Muiste foto	47
Joonis 3.6. Ladustatud laasimata peentüved, P.Muiste foto	47
Joonis 3.7. Hakkpuidu tootmine raiejäätmest.....	48
Joonis 3.8. Raiejäätmete kasutamine oksapadjaks kokkuveo teedel	48
Joonis 3.9. Raietööde käigus on soovitatav laasitud oksad paigutada eraldi	48
Joonis 3.10. Raiejäätmete kogumine ja hakkimine langil mobiilse hakkuriga, transport konteinerveokiga	49
Joonis 3.11. Raiejäätmete kogumine ja hakkimine mobiilse hakkuriga Chipset 536C, P.Muiste foto.....	49
Joonis 3.12. Mobiilse hakkuri konteineri tühjendamine, P.Muiste foto	49
Joonis 3.13. Täidetud konteineri tõstmine veokile, P.Muiste foto.....	50
Joonis 3.14. Raiejäätmete kogumine langil, P.Muiste foto	50
Joonis 3.15. Võimalusi metsaveotraktori kohandamiseks raiejäätmete veoks [26].....	50
Joonis 3.16. Raiejäätmete hakkimine vahelaos.....	51
Joonis 3.17. Raiejäätmete ladustamine, P.Muiste foto.....	52
Joonis 3.18. Veekindla paberi alla ladustatud raiejäätmel, P.Muiste foto	52
Joonis 3.19. Raiejäätmete hakkimine, P.Muiste foto	52
Joonis 3.20. Hakkpuidu transport konteinerveokiga, P.Muiste foto.....	52

Joonis 3.21. Hakkpuidu transport konteinerveokiga.....	53
Joonis 3.22. Raiejäätmete pallimine, transport tavaliste forvarderite ja metsaveomasinatega, hakkimine lõpplaos	53
Joonis 3.23. Kändude juurimine, koondamine forvarderiga, transport eriveokiga ja purustamine lõpplaos	54
Joonis 3.24. Puu sektsioonide tehnoloogia	55
Joonis 3.25. Kogupuu tehnoloogia	55
Joonis 3.26. Ketashakkur	56
Joonis 3.27. Ketashakkuri tööorgan, P.Muiste foto	56
Joonis 3.28. Trummelhakkur	57
Joonis 3.29. Trummelhakkuri tööorgan, P.Muiste foto	57
Joonis 3.30. Tiguhakkur.....	57
Joonis 3.31. Haamerveski	57
Joonis 3.32. Rullpurusti	58
Joonis 3.33. Lõugpurusti	58
Joonis 3.34. Põllumajandustraktori jõuvõtuvõllilt kasutatav ketashakkur Junkkari HJ 10 [29]...	58
Joonis 3.35. Mobiilne hakkpuidu koguja, P.Muiste foto.....	59
Joonis 3.36. Mobiilne hakkpuidu koguja Silvatec 878 CH [30], P.Muiste foto.....	59
Joonis 3.37. Mobiilne hakkpuidu koguja Chipset 536 C [31].....	59
Joonis 3.38. Mobiilne hakkpuidu koguja Erjofanten 7/65, P.Muiste foto	59
Joonis 3.39. Kombain alusmasinana [32].....	60
Joonis 3.40. Ekskavaator hakkuri alusmasinana, P.Muiste foto	60
Joonis 3.41. Veoautole paigaldatud hakkur Giant [33].....	60
Joonis 3.42. Hakkuriga konteinerveok Moha [33]	60
Joonis 3.43. Treilerile paigaldatud ketashakkur Morbark 30 [33].....	60
Joonis 3.44. Fiberpack 370 näitusel Elmia Wood 2001, P.Muiste foto	61
Joonis 3.45. Timberjack 1490D [35].....	61
Joonis 3.46 Valmet WoodPac [36]	61
Joonis 3.47. Pakitud raiejäätmed, P.Muiste foto	61
Joonis 3.48. Pakitud raiejäätmete transpordiks saab kasutada ka tavalist metsaveo haagist, P.Muiste foto	62
Joonis 3.49. Kiilkoonusega puulõhkuja kombineerituna koorijaga [37].....	62
Joonis 3.50. Halumasin Hakki Pilke Eagle kiilkoonuse ja ketassaega [38].....	62
Joonis 3.51. Hüdraulilise ajamiga puulõhkurid [39]	63
Joonis 3.52. Kombineeritud halumasin Japa 2000 [40].....	63
Joonis 3.53. Akumuleerivad lõikepead Timberjack 720 ja Timberjack 730 [35].....	63

Joonis 3.54. Kolbpress.....	65
Joonis 3.55. Kruvipress.....	66
Joonis 3.56. Silindriline matriitspress.....	66
Joonis 3.57. Tasapinnaline matriitspress.....	66
Joonis 3.58. Silindrilise matriitspressi matriits, P.Muiste foto	67
Joonis 3.59. Pelletite varustamise skeem.....	67
Joonis 3.60. Õlgede peenestamine ja peenestatult hoidlasse transportimine [43]	68
Joonis 3.61. Vaaludest põhu kogumine ja pressimine suurteks umbes 500 kg raskusteks pallideks [43].....	68
Joonis 3.62. Põhupallide laadimine traktorile monteeritud frontaaltõstukiga [43].....	68
Joonis 3.63. Põhupallide kinnitamine rihmadega, mis on vajalik koorma püsimiseks transpordi ajal [43]	68
Joonis 3.64. Taimestiku eemaldamine ja raba pinna tasandamine seadmega RT-6.0H Soome firmalt SUOKONE OY	69
Joonis 3.65. Kuivenduskraavide pressimine raba pinnasesse seadmega OJ-1.3K Soome firmalt SUOKONE OY	69
Joonis 3.66. Turbamassi freesimine raba pinnasest ja tükkturba pressimine Soome firma SUOKONE OY seadmega PK-1S	70
Joonis 3.67. Laineliselt pressitud tükkturvas, mis tagab minimaalse kontakti raba pinnaga ja kuivab seetõttu kiiremini	71
Joonis 4.1. Lihtsa biokütusel töötava katlamaja seadmete paiknemise skeem, Thermia OY, Soome.....	73
Joonis 4.2. Niiske biokütuse põlemistsoonid kaldrestil.....	74
Joonis 4.3. Altsöötmisega koonilise restiga eelkolle väga märja kütuse põletamiseks Soome firmalt SERMET	78
Joonis 4.4. Rootsi firma Hotab kolle, mille rest koosneb liikumatust kaldrestist ja mehaaniliselt liigutatavast osast.....	78
Joonis 4.5. Malekorras liigutatavate restielementidega kolle TRF, Rootsi firma KMW ENERGI AB	79
Joonis 4.6. Wärtsilä patenteeritud koonilise restiga altsöötmisega kolle BioGrate	79
Joonis 4.7. Soome firma Putkimaa OY tahkekütuse põletamise kompleksne PMA tüüpi katelseade võimsustele 1 – 10 MW	80
Joonis 4.8. Kettrest Boråsi (Rootsi) energiakeskuse katlas	81
Joonis 4.9. Mulliva (A) ja tsirkuleeriva (B) keevkihiga kollete põhimõttelised skeemid	81
Joonis 4.10. PML tüüpi suitsutorudega keevkihtkatel Soome firmalt Putkimaa OY võimsusega 1 – 5 MW.....	82
Joonis 4.11. Vastuvoolu (A) ja pärivoolu (B) gaasistusreaktorite põhimõttelised skeemid	83
Joonis 4.12. Soome firma Condens OY gaasistusreaktor Novel võimsusega 1 – 10 MW.....	84
Joonis 4.13. Terve põhupalli põletamiseks sobiva kolde põhimõtteline skeem	84

Joonis 4.14. „Sigar”-tüüpi põletusviis põhupallide järjestikuse söötmisega [43]	85
Joonis 4.15. Automaatne põhupõletamissüsteem põhupallide peenestamisega [43]	85
Joonis 4.16. Pelletite põletussüsteemi tehnoloogiline skeem [55]	86
Joonis 4.17. Pelletite söötmise ja põletamise tehnoloogilised lahendused.....	86
Joonis 4.18. Pelletipõleti EcoTec 300 kW (Rootsi).....	87
Joonis 4.19. Arimax BioJet tahkekütusepõleti võimusega 60 – 500 kW (Thermia OY, Soome)	87
Joonis 4.20. Tallinna Tehnikaülikoolis väljatöötatud tahkekütuse põletite skeemid kuivale (ülemine) ja niiskele (alumine) kütusele	87
Joonis 4.21. Tallinna Tehnikaülikooli tahkekütuse põleti koos 240 kW universaalkatlagaga	87
Joonis 4.22. Ülemise põlemisega katel Austria firmalt Eder	89
Joonis 4.23. Alumise põlemise katel Arimax, HÖGFORS LÄMPÖ OY, Soome	89
Joonis 4.24. Pöördpõlemisega katel EXONOM A25 BX MILJÖ Rootsi firmalt EURONOM, mille veemahus paikneb spiraalne tarbevee soojusvaheti.....	90
Joonis 4.25. Pöördpõlemisega katel DRAGON Austria firmalt GRIM GmbH.....	91
Joonis 4.26. Kaksikkatel Jämä Kaksikko Soome firmalt JÄMÄTEK ky	92
Joonis 4.27. Pelletipõleti Iwabo VillaS kahes vaates.....	93
Joonis 4.28. Väikekatel Malle (20 kW) koos pelletipõleti Iwabo VillaS ja pelletite etteandmise süsteemiga.....	93
Joonis 4.29. Tallinna Tehnikaülikoolis väljatöötatud väikekatel Pelle koos pelletimahuti, sööteseadme ja põletiga Iwabo Villa.....	93
Joonis 5.1. Kütuste puistemahtude võrdlus (näidatud ka kütuste keskmine niiskus protsentides).....	95
Joonis 5.2. Kütusehoidla – vaheladu, foto Ü.Kask	96
Joonis 5.3. Frontaallaaduriga traktor kütuse põhilaos Peetri katlamajas, foto Ü.Kask	96
Joonis 5.4. Greiferkraana, foto Ü.Kask.....	97
Joonis 5.5. Rooplattidega tahkekütuseladu.....	98
Joonis 5.6. Rooplatte käitavad hüdrosilindrid (Saxlund)	98
Joonis 5.7. Kettkraappõhjaga tahkekütuseladu, foto Ü.Kask (ülal).....	99
Joonis 5.8. Kruvitransportöörid laopõhjal	99
Joonis 5.9. Hüdrorootoriga punker (Saxlund).....	100
Joonis 6.1. Multisüklon	106
Joonis 6.2. Impulsspuhastusega kottfilter.....	106
Joonis 6.3. Elektrifilter.....	107
Joonis 6.4. Suitsugaasi kondenseerimise mõju katlamaja efektiivsusele	108
Joonis 6.5. Sektorlukk (Saxlund)	108
Joonis 6.6. Kettkraap-transportöör (Saxlund).....	109

Joonis 6.7. Tuhakonteinerid, fotod Ü.Kask	109
Joonis 7.1. Kaugküttekattlamaja tüüpiline koormuste kestuskõver	113
Joonis 8.1. Puidu- ja turbakatelde arvu muutumine	122
Joonis 8.2. Puidu- ja turbakatelde summaarse võimsuse ja soojustoodangu areng	122
Joonis 8.3. Puidu- ja turbakatelde arvestusliku kasutusaja muutumine	122
Joonis 8.4. Puidu- ja turbakatelde keskmine kasutegur statistiliste andmete järgi.....	122
Joonis 8.5. Varem masuudil töötanud DKVR-4-13 tüüpi katla koldesse paigutatud rest hakkpuidu ja freesturba põletamiseks	124
Joonis 8.6. Komplektse biokütusekatla montaaž AS Terme Tehnika katlamajas, foto V.Vares.....	126
Joonis 8.7. Vaade biokütusekatla juhtimiskilbile Türi Tehnika katlamajas, foto Ü.Kask	127
Joonis 8.8. Kõvastunud tuhasadestised kaarvõlvilt, foto Ü.Kask	127
Joonis 8.9. Türi Tehnika katlamaja kütuse ladu, foto Ü.Kask.....	128
Joonis 8.10. Greiferkraana töötab laos automaatselt ja jaotab kütuse laos ühtlaselt, foto Ü.Kask	128
Joonis 8.11. Vasarhakkuriga valmistatud hakkpuit, foto Ü.Kask.....	128
Joonis 8.12. Kivitükikesed laguneva korstna jalamil, foto Ü.Kask.....	129
Joonis 8.13. Tartu tehase uued restilülid, foto Ü.Kask	130
Joonis 8.14. Aasta aega katlas töötanud restilüli, foto Ü.Kask.....	130
Joonis 8.15. Põlenud esiootsaga restilüli, foto Ü.Kask.....	130
Joonis 8.16. Eelkollet katlaga ühendav käik, foto Ü.Kask	131
Joonis 8.17. Tertsiaarõhukanali lõpuosa, foto Ü.Kask	131
Joonis 8.18. Kütuse edastamine greiferiga Aardla katlamaja kütuselaos, foto Ü.Kask.....	132
Joonis 8.19. Laost katlamaja suunduvate transportööride ehitamisele jäid ette torustikud, foto Ü.Kask.....	132
Joonis 8.20. Kütusest eemaldatud kivid, foto Ü.Kask.....	132
Joonis 8.21. DE tüüpi katlad Võrusoo katlamajas, vaade tagant, foto Ü.Kask.....	134
Joonis 8.22. Võrusoo katlamaja paigaldatud eelkolle, foto Ü.Kask	134
Joonis 8.23. Koht katla küljel vedelkütusepõleti paigaldamiseks, foto Ü.Kask.....	134
Joonis 8.24. Kütus liikuvate rooplattidega lao osas Võrusoo katlamajas, foto Ü.Kask	135
Joonis 8.25. Näiteid kütusest ja tuhast kogutud metallist, foto Ü.Kask	135
Joonis 8.26. Kivikorsten, suitsuimeja ja tuhakonteiner Võrusoo katlamajas, foto Ü.Kask	136
Joonis 8.27. Ümberehitatud DKVR tüüpi katla esiosa, foto Ü.Kask	137
Joonis 8.28. Biokütusekatla ja kogu katlamaja tööd juhitakse arvuti abil, foto Ü.Kask	137
Joonis 8.29. Kütuse teisaldamine Männimäe katlamaja kütuselaos, foto Ü.Kask.....	138
Joonis 8.30. Keevitatud hüdrosilindri ots, foto Ü.Kask	138

Joonis 8.31. Plakat Vabriku katlamaja tehnoloogilise skeemiga Türi linnavalitsuses, foto Ü.Kask.....	140
Joonis 8.32. Kütuse tõukamiseks kohandatud traktor, foto Ü.Kask).....	140
Joonis 8.33. Greiferiga ja mehitatud sildkraana, foto Ü.Kask.....	143
Joonis 8.34. Vaade Haapsalu katlamajale pärast ümberehitust, foto Ü.Kask.....	145
Joonis 8.35. Kütuse teisaldamine Haapsalu katlamaja laos, foto Ü.Kask.....	146
Joonis 8.36. Näidised kütusest eemaldatud lisanditest ja purustamata puutükkidest, foto Ü.Kask.....	146
Joonis 8.37. Multitsükloni alus ja kanali betoonkaas, foto Ü.Kask	147
Joonis 8.38. Eelkolle Keila katlamajas, foto Ü.Kask.....	148
Joonis 8.39. Eestis valmistatud greiferiga sildkraana, foto Ü.Kask.....	149
Joonis 8.40. Seinte ääres seisev kütus, foto Ü.Kask	149
Joonis 8.41. Koldest eemaldatud sadestise tükk, foto Ü.Kask.....	149
Joonis 8.42. Multitsüklon ja tuha transportöör, foto Ü.Kask	150
Joonis 8.43. Biokütusel töötav Peetri katlamaja Paines, foto Ü.Kask	150
Joonis 8.44. Peetri katlamaja tehnoloogiline skeem koos tööparameetritega juhtarvuti ekraanil, foto Ü.Kask	151
Joonis 8.45. Biokütusekatelde arvutuslik kasutusaeg 2004.aastal	153
Joonis 8.46. Biokütusekatelde kütuse erikulud 2004. aastal.....	154

1. SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel on biokütuste kasutamine pidevalt laienenud. Kaasaegsed biokütuste tootmis- ja põletustehnoloogiad võimaldavad efektiivselt ära kasutada praktiliselt kõiki metsa- ja puidutööstuse jäätmeid. Üha laiemat rakendamist kütusena leiab ka rohtne biomass, näiteks õled.

Biokütuste kasutamise tehnoloogiate arendamisel ja rakendamisel on oluline roll Balti mere äärsetel maadel. Käesolev Käsiraamat püüab edasi nendes maades omandatud kaasaegsete biokütuste tehnoloogiate praktilise juurutamise kogemusi. Käsitletakse kogu tehnoloogilist ahelat alates kütuse ettevalmistamisest metsas või põllul kuni suitsugaaside puhastamise ja tuha utiliseerimiseni. Lisaks biokütustele vaadeldakse ka turba kasutamist.

Käsiraamat peaks olema vajalik kõigile neile, kes juba kasutavad biokütuseid või kavatsevad seda teha tulevikus. Kuigi autorid on insenerid ja kajastamist leiavad eelkõige tehnoloogilised aspektid, püütakse materjal esitada nii, et seda saaks kasutada ka biokütuste kasutamise planeerimisel ja projektide ettevalmistamisel. Selleks esitatakse ka sissejuhatav lühike ülevaade biokütuste rollist Balti mere äärsete maade ning Euroopa Liidu energiapolitikas.

Käsiraamatu autoriteks on Villu Vares, Ülo Kask, Tõnu Pihu ja Sulev Soosaar Tallinna Tehnikaülikoolist ning Peeter Muiste Eesti Põllumajandusülikoolist. Pildid joonistas Malle Rimmel, arvutijoonised kujundas Tõnu Pihu.

Käsiraamatu toimetas Villu Vares.

1.1. Energiapoliitilisest arengust Euroopa Liidus ja Balti mere äärsetes maades

Järgnevalt on esitatud lühülevaade biokütust otseselt või kaudsemalt puudutavatest aspektidest EL energia- poliitika tähtsamates dokumentides.

EL taastuvate energiaressursside kasutamise ühtse strateegia väljatöötamise esimeseks sammuks oli vastav Roheline raamat (COM(96)576). Kogu strateegia koos väljapakutud meetmetega keskendati eesmärgile, et 2010. aastaks moodustaks taastuvate energiaallikate osatähtsus ELs 12 %, mis oleks kaks korda suurem lähteseisust (1995. a). 12 % osatähtsuse saavutamine 2010. aastaks on ambitsioonikas, kuid realistlikuks peetav siht, mis on seatud poliitilise, mitte juriidilise kohustusena. Selle saavutamiseks pidid kõik EL maad välja töötama oma strateegiad. Arvestada tuleb ka seda, et lähteseisu (6 %) osatähtsuses moodustasid olulise osa suured hüdroelektrijaamad. Uute suuremastaapsete hüdrojaamade ehitamise võimalused Euroopas on keskkonnahoiust tulenevalt väga piiratud. Seda suurem peab olema teiste taastuvate energiaallikate kasutuse laienemine.

Suhteliselt kiiresti jõuti järgmise sammuni – 1997. aasta lõpus ilmus komisjoni teatis pealkirjaga "Tuleviku energia: taastuvad energiaallikad – ühenduse strateegiat ja tegevuskava käsitlev valge raamat" (COM(97)599, 26.11.1997). Dokumendi sissejuhatavas osas tõdetakse, et EL maades on taastuvad energiaressursid küll ebaühtlaselt jaotunud, kuid ka selliste ressursside kasutamine, mille varud on rikkalikud ja kasutamine majanduslikult arvestataval tasemel, on veel liiga tagasihoidliku ulatusega.

1995. aastal ulatus EL riikide sõltuvus energiaimpordist juba 50 %ni. Kui ei võeta meetmeid kohalike ressursside ulatuslikuma kasutamise osas, prognoositakse aastaks 2020 ELs importenergiast sõltuvuseks juba 70 %. Kuna taastuvad energiaallikad on igas riigis kohalikud, siis

vähendaks nende ulatuslikum kasutamine sõltuvust energiainpordist ja suurendaks varustuskindlust. Lisaks annab taastuvate energiaressursside kasutamine tööd kohalikele väikestele ja keskmistele ettevõtetele, soodustades sellega ka regionaalset arengut.

Biomassi (nagu ka väikesemastaabilisi hüdro- ja tuuleseadmeid) hinnati viimaste aastate tehnilise arengu tulemusena turul konkurentsivõimelisteks, seda teiste detsentraliseeritud energiavarustuse variantidega võrreldes. Nenditi, et taastuvressursside kasutamise üheks tõsisemaks takistuseks on suurte alginvesteeringute vajadus. Oluliseks takistuseks peeti ka seda, et traditsiooniliste kütuste hinnad ei sisalda kõiki kulusid, mida nende kütuste tarbimisega ühiskonnale põhjustatakse, s.t ei võeta arvesse kütusesektori suhtes väliseid tegureid (*externalities*) – kogu olelutsükli (*life cycle*) jooksul avalduvaid mõjusid.

Peeti otstarbekaks teha seoses taastuvate energiavarude kasutamisega fiskaalpoliitilisi soodustusi:

- kasutada paindlikumat kulumiarvestust;
- teha maksusoodustusi taastuenergia finantseerimisele kolmanda osapoole poolt;
- anda alustustoetusi taastuenergiat tootvate ettevõtete rajamisel;
- rakendada tarbijaile antavaid finantsstiimuleid taastuenergia seadmete ja teenuste ostmisel;
- asutada rohelisi fonde kapitaliturgude toetuseks erapankades;
- asutada avaliku sektori fonde taastuenergia toetuseks;
- võimaldada sooduslaene.

Tahkete biokütuste osas peeti väga oluliseks fossiilkütuste asendamist biokütustega või nende koospõletamist, kütuste enamat väärindamist (pelletid, briketid) ja ka metsa- jt jäätmete ulatuslikumat kasutamist. Siin seostati biokütuste laiem kasutamine elektri ja

soojuse koostootmise edendamise EL-poolse strateegiaga ja kavandati biomassi kütusena kasutamise laienemisest (aastaks 2010) peaaegu 1/3 saavutada koostootmise kasutamisega.

Põllumajandust peeti taastuvate energiaressursside alaste eesmärkide saavutamisel võtmesektoriks. Märgiti, et taastuenergia ressursside kasutamine võib omakorda oluliselt kaasa aidata maapiirkondade ja põllumajanduse arendamisele. Seetõttu soovitas EL oma liikmesriikidel anda taastuenergia projektidele maapiirkondades kõrge prioriteet:

- toetada biokütuste kasutust maapiirkondade arenguprogrammide raames;
- toetada regioone osaledes innovaatiliste demo- ja rakendusprojektide finantseerimises, nagu näiteks elektri ja soojuse koostootmise arendamine päikese, tuule ja biomassi baasil.

Bioenergia erinevatest rakendusvõimalustest peeti kõige perspektiivsemaks tahkete biokütuste kasutamist. Seostades biomassi kasutamise soojuse ja elektri koostootmisega on kampaania eesmärgiks soodustada ja toetada biomassil töötavate detsentraliseeritud jõujaamade rajamist üle kogu EL. Seejuures peeti silmas seadmeid ja jaamu võimsusega mõnesajast kWst kuni mitme MWni, milles sõltuvalt kohalikest tingimustest võidakse kasutada väga erinevaid tehnoloogiaid nii eraldi kui kombineerituna. Kampaania eesmärgiks biomassi osas seati 10 GW tootmisvõimsuse rajamist, suurendades sellega biomassist toodetud soojuse koguse 1995. a 38 Mtoe-lt 75 Mtoe-ni 2010 aastal.

Järgnevatel aastatel taastuvressursside ulatuslikuma kasutuselevõtu aktuaalsus ELs vähenes. Sellele juhiti tähelepanu ka Komisjoni järgmises energiapoliitikat kujundavas dokumendis – Rohelises raamatus pealkirjaga "Euroopa energia- varustuse kindluse strateegia" [1]. Dokumendis märgitakse, et kõik

traditsioonilised energiaressursid ELs on piiratud ja nende osa energiavajaduse rahuldamisel hakkab vähenema nii suhteliselt kui absoluutkogustes. Potentsiaalsest küllusest võib rääkida ainult taastuvate energiaallikate korral. Seetõttu pannakse energeetilise välis-sõltuvuse vähendamisel suuri lootusi tehnoloogiamahukate taastuvressursside kasutuselevõtule.

Rõhutati, et varustuskindluse aspektist on taastuvate energiaressursside potentsiaal ELs tähelepanuväärne, kuid selle kasutamise edendamine sõltub olulisel määral poliitilistest ja majanduslikest suundumustest, mis saavad edukad olla aga ainult siis kui poliitika elluviimiseks rakendatakse konkreetseid meetmeid. Sellisel juhul oleks taastuvad energiaressursid ainukesed, mille kasutamisel EL omaks keskpikas perspektiivis teatud paindlikkust ja manööverdamisvõimalusi.

Kriitiliselt märgitakse, et EL edu taastuvate energiaressursside kasutamisel on olnud tagasihoidlik. Nii on alates 1985. aastast korduvalt püstitatud eesmärk kahekordistada taastuvressursside osa elektri tootmisel, seni saavutamata. Rõhutatakse, et nn rohelise energia tootmise osas saavutatud kasvule (aastas keskmiselt 3 %) vaatamata ei ole sellise energia osatähtsus tõusnud üle 6 %, sest üldine tarbimismaht on kasvanud kiiremini. Siiski märgitakse ära kiireima arengu läbi teinud tuuleenergia kasutamine – kasv üle 2000 % kümne aastaga.

Analüüsides taastuvressursside kasutamise arendamist nenditakse, et hüdroenergia, mis praegu annab kolmandiku taastuenergiast, suures mastaabis laiendamisvõimalused Euroopas on nullilähedased. Tehakse järeldus, et põhiline kasv peab tulema biomassi ja biokütuste arengu arvel.

Käsitledes taastuvressursside kasutuselevõttu takistavaid tegureid, nenditakse et probleemid tulenevad väljakujunenud struktuuride iseloomust, s.t ühiskonna majandus- ja sotsiaalsüsteemid on ehitatud üles traditsiooniliste energiaallikate (süsi,

nafta, maagaas ja tuumaenergia) tsentraliseeritud arendamisele. Kõige suurema konkreetse takistusena tuuakse esile finantseerimisraskusi, sest taastuvressursside kasutuselevõtt vajab suuri alginvesteeringuid. Samas nenditakse, et taastuvressursside kasutamine võib vajada suhteliselt pikaajalist toetamist, enne kui jõutakse majandusliku tasuvuseni.

Eriti rõhutatakse vajadust kasutada subsidiaarsuse – otstarbeka otsustustaseme – printsiipi, s.t tuleb paindlikult kombineerida riiklike, regionaalseid ja kohalikke huvisid andmaks eelistusi taastuvressursside kasutamisele. Liikmesriikides juba rakendatud vahendite iseloom on erinev, ulatudes toetusest uuringutele või teatud finantseerimistoetustest (soodusintressid, garantiifondid jms) kuni taastuvressursside kasutamist otseselt toetavate fiskaalmeetmeteni ja nn taastuv-elektri teatud ulatuses ostukohustuseni.

Järgmisteks sammudeks ELs taastuvenergia kasutamise laiendamiseks olid direktiivid, millega püstitati eesmärgid vastavalt taastuvressurssidest elektri tootmiseks (2001/77/EÜ) ja biokütuste kasutamise laiendamiseks transpordis (2003/30/EÜ). Biomassi ulatuslikumat kasutamist soojuse tootmiseks toetab kaudselt direktiiv 2004/8/EÜ soojus- ja elektrienergia koostootmise stimuleerimiseks. Vajadust eelistada taastuvaid energiaressursse väljendab samuti direktiiv 2002/91/ EÜ hoonete energiatõhususe kohta, milles sätestatakse, et uute hoonete (kasuliku pinnaga üle 1000 m²) rajamise korral peavad liikmesriigid tagama, et enne ehitamise algust kaalutakse ja võetakse arvesse taastuval energial põhinevate detsentraliseeritud energiatarnesüsteemide tehnilist, keskkonnavalast ja majanduslikku teostatavust.

Teatud määral konkreetsemat soodustavat mõju avaldab biokütuste kasutamisele EL uus kütuste maksustamise kord, mida liikmesriigid kohaldasid alates 1. jaanuarist 2004. a. Direktiiviga 2003/96/EÜ korraldati ümber energiatoodete ja elektrienergia maksustamise ühenduse raamistik, laiendades aktsiisiga maksustatavate

energiatoodete nomenklatuuri vedelkütustelt tahketele kütustele, maagaasile ja elektrile. Uue korra kohaselt maksustatakse tahketest kütustest kivisütt ja koksi, ei maksustata aga muid tahkeid energiaallikaid, s.h puitu ega turvast. Uusi võimalusi biokütuste ulatuslikumaks kasutamiseks loob kindlasti kasvuhuonegaaside saastekvootidega kauplemise süsteemi käivitamine Euroopa Liidus (direktiiv 2003/87/EÜ).

Vaatamata taastuvatele energiaressurssidele pööratud tähelepanule on biomassi kui olulise taastuvressursi kasutamise soodustamine otseselt soojuse tootmiseks jäänud seni erilise tähelepanuta. Ettepanekuid ELs taastuvelektri (*RES-E*) direktiiviga analoogse dokumendi koostamiseks soojuse (ja jahutamise) kohta (*RES-H*) on tehtud juba alates 2001. aastast, kuid seni direktiivi projektini jõutud ei ole. Siiski on taastuvallikatest soojuse tootmise aktuaalsus tõusmas nii ELs tervikuna kui liidu mitmes liikmesriigis. Üheks oluliseks mõjuriks on seejuures vajadus täita Kyoto protokolliga võetud kohustusi vähendada kasvuhuonegaaside emissiooni. Koos vajadusega vähendada kasvavat sõltuvust imporditavast energiast ja viia ellu jätkusuutliku arengu kontseptsiooni on need põhilised liikumapanevad jõud taastuvate energiaallikate kasutamisel ELs. Viimased analüüsid (komisjoni teatis COM(2004) 366 final) näitasid, et kui taastuvelektri tootmise ja vedelate biokütuste osas seatud sihid täidetakse, siis jõuaks taastuenergia osatähtsus ELs 2010. aastaks ainult 10 %ni, seda kavandatud 12 % asemel. Tegelikuses pole aga eelmainitud eesmärkideni jõudmine kindel, seetõttu võib senise arengutrendide jätkudes taastuenergia osatähtsus tervikuna jääda veelgi madalamaks.

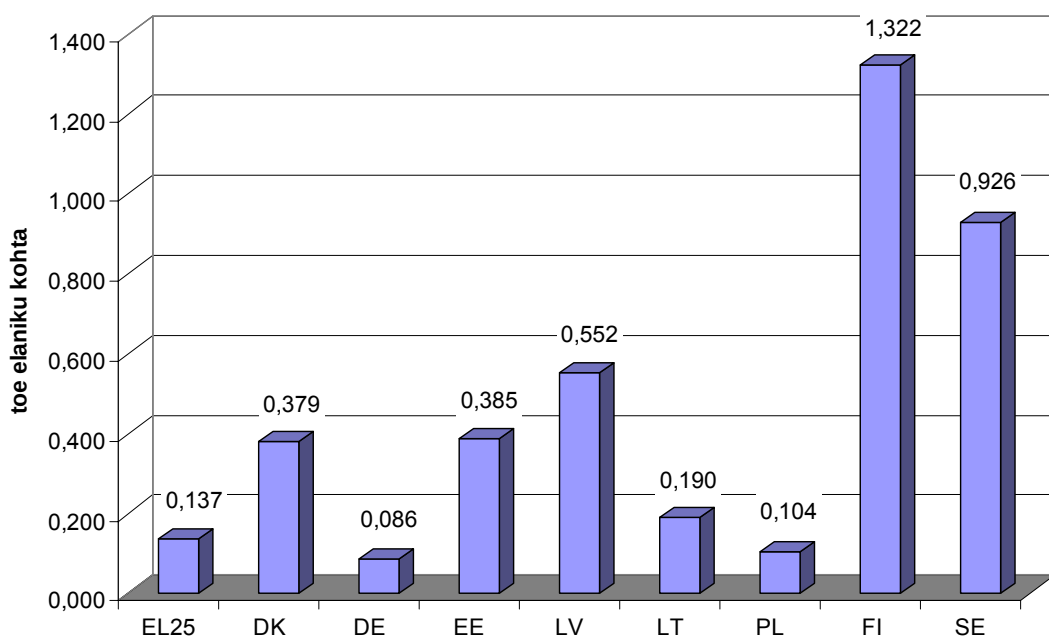
Euroopa Komisjon on alustanud biomassi kasutamise tegevuskava (*Biomass Action Plan*) ettevalmistamist. Kuna sihiks seatud aastani on aega jäänud vähe, siis kavandatakse lähiaastateks küllaltki jõulisi meetmeid ja pingelist tegevuskava biomassi kasutamiseks kolmes valdkonnas – elektritootmine, soojusvarustus (ja jahutus) ja transport. Biomassi ressursside poolel on kavas hõlmata nii metsandus, põllumajandus kui jäätmeteke. Ettevalmistuste ajaline graafik oli pingeline: mõju analüüs tuli lõpetada märtsis 2005, teatise projekt pidi valmima juuliks 2005, et saada heakskiit komisjonilt 2005. a neljandas kvartalis.

1.2. Biomassi ja metsaressursi kasutamine Balti mere äärsetes maades

Eurostati andmetel katsid 2002. aastal taastuvad energiaallikad 5,7 % summaarsest sisemisest energiatarbimisest (*gross inland consumption*) EL25 riikides. Taastuvallikate energiast ligi kaks kolmandikku (65,4 % ehk 3,7 % kogutarbimisest) moodustas biomass. Peaaegu kõigis Läänemere äärsetes maades on biomassi osatähtsus kogu energiatarbimises suurem EL keskmisest, jäädes sellest alla ainult Saksamaal (2,1 %). Traditsiooniliselt on biomassi palju kasutatud Soomes ja Rootsis. Soomes on biomassi osatähtsus ligi viiendik (19,6 %) ja puitkütustega toodetakse umbes pool vajatavast soojusest. Rootsis moodustab biomass 16,1 % kogu energiatarbimisest. Kõrgeim on biomassi osatähtsus Lätis (30,3 %), mis on ka kõrgeim näitaja laiienenud ELs (EL25).

Tabel 1.1. Sisemaine energia kogutarbimine ja taastuvate energiaallikate ning biomassi kasutamine (2002) [2]

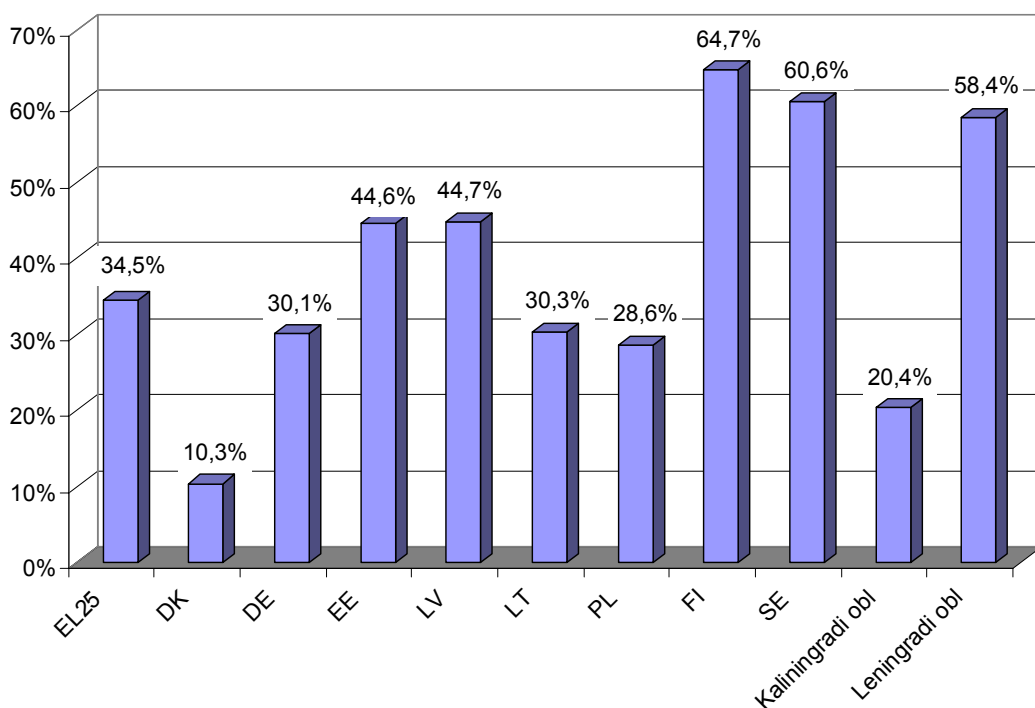
Riigi nimetus koos kasutatava lühendiga	Sisemaine kogutarbimine	Taastuvad energiaallikad	Biomass	Taastuvad/sisemaine kogutarbimine	Biomass/sisemaine kogutarbimine	Biomass/taastuvad
	Mtoe			Osatähtsus		
Laienenud EL, EL25	1676,9	94,9	62,1	5,7%	3,7%	65,4%
Vanad EL riigid, EL15	1475,4	85,3	53,9	5,8%	3,7%	63,2%
Taani, DK	19,8	2,5	2,0	12,5%	10,3%	82,5%
Saksmaa, DE	343,7	10,6	7,1	3,1%	2,1%	66,9%
Eesti, EE	5,0	0,5	0,5	10,5%	10,5%	99,9%
Läti, LV	4,2	1,5	1,3	35,3%	30,3%	85,8%
Leedu, LT	8,7	0,7	0,7	7,9%	7,6%	95,6%
Poola, PL	88,8	4,2	4,0	4,7%	4,5%	95,0%
Soome, FI	35,1	7,8	6,9	22,2%	19,6%	88,1%
Rootsi, SE	51,5	14,1	8,3	27,3%	16,1%	58,8%
Uued EL riigid, EL10	201,5	9,7	8,2	4,8%	4,1%	84,8%



Joonis 1.1. Biomassi energeetiline kasutamine 2002. a (toe elaniku kohta)

Tabel 1.2. Metsade ja muu metsamaa pindalad EL-s [3], [4]

Riigi nimetus koos kasutatava lühendiga	Metsade pindala	Muu metsamaa pindala	Kokku	Ümarpuidu toodang (2002)	Ümarpuidu toodang/ metsade pindala
	1000 ha			1000 m ³	m ³ /ha
Laienenud EL, EL25	137 060	23 211	160 271	350 263	2,56
Vanad EL riigid, EL15	113 567	22 637	136 204	264 386	2,33
Taani, DK	445	93	538	1 446	3,25
Saksmaa, DE	10 740	–	10 740	42 380	3,95
Eesti, EE	2 016	146	2 162	10 500	5.21
Läti, LV	2 884	471	3 355	13 467	4,67
Leedu, LT	1 978	72	2 050	6 300	3,19
Poola, PL	8 942	–	8 942	27 170	3,04
Soome, FI	2 1883	885	22 768	53 011	2,42
Rootsi, SE	27 264	2 995	30 259	67 500	2,48
Norra, NOR [5]	7 000	5 000	12 000	8 649	1,23
Uued EL riigid, EL10	23 493	574	24 067	85 877	3,66



Joonis 1.2. Territooriumi metsasus, 2002. a (% kogu territooriumist).

1.2.1. Biomassi energeetilise kasutamise soodustamisest

Biomassi kasutamise soodustamiseks on EL liikmesriikides kasutusel mitmesuguseid meetmeid. Vahendite valik on riigiti erinev ja sõltub iga riigi tehnilise infrastruktuuri iseärasustest, looduslikest ressurssidest, tööstuslikest traditsioonidest, aga ka geograafilisest asukohast ja kliimaoludest ning, *last but not least*, poliitilisest tahtest. Põhilised mõjutusvahendid saab liigitada järgmiselt:

- turumehhanismil põhinev regulatsioon;
- maksusoodustused;
- subsiidiumid ja grandid;
- mitmesugused spetsiaalsed rahastamiskeemid.

Kui tururegulatsiooni kasutatakse ainult taastuvallikatest elektri tootmise soodustamiseks, siis maksusüsteemi abil mõjutatakse ka biomassi kasutamist. Tavaliselt on tegemist kas ainult fossiilkütustele kehtestatud maksudega või kõigi kütuste diferentseeritud maksustamisel biokütustele soodustuse andmisega. Kasutatakse ka mõlemat varianti kombineeritult (nt Austria, Rootsi, Saksamaa, Soome). Mõnel juhul on kasutusel ka maksusoodustused (tulumaksu ja/või käibemaksu osas) biokütuste kasutamiseks tehtud investeeringutele. Subsiidiume ja grante kasutatakse tavaliselt stimuleerimaks üleminekut fossiilkütustelt biomassile. Spetsiaalsete rahastamisvahenditena on kasutusel põhiliselt soodustingimustel (madala intressiga või intressita) laenud.

1.2.2. Piirkondlik praktika ja kogemused

Eestis moodustas 2002. aastal biomass üle 99 % kogu kasutatud taastuvenergiast. Soojuse tootmiseks kasutatud kütustest moodustasid puitkütused 17,2 %. Umbes 80 % puidust kasutati kodumajapidamistes (59 %) ja ettevõtluses. Kaugküttes kasutati 20 % puidust, see osatähtsus on kasvamas. Ettevõtluses oli puit põhi-

kütuseks ligi 900 katlas, mille koguvõimsus oli 798 MW.

Otsesed subsiidiume biokütuse kasutamiseks soojus tootmisel ei ole. Mitmeid katlamajade puitkütusele üleviimise projekte on ühekordselt toetatud riikidevaheliste kahepoolsete abiprogrammide raames (nt Rootsi, Soome ja Taani poolt) ja rahvusvaheliste projektide poolt. Viimastel aastatel ka ühisrakenduse mehhanismi abil ning EL struktuuri-fondidest.

Energiasektori pikaajalises arengukavas on seatud sihiks suurendada taastuvate allikate osakaalu primaarenergias 13 – 15 %ni. Biomassi osatähtsuse olulist tõstmist ette ei nähta kuna juba täna kasutatakse suur osa raiutava küttepuidu ja puidutöötlemisjääkide primaarenergiast energia muundamise protsessides, peamiselt soojuse tootmiseks. Teatud määral võib kasvada raiejäätmete kasutamine. Eestist eksporditakse aastas ligi 500 tuh t hakkpuitu, põhiliselt tooraineks tselluloositööstusele. Toodetakse puidubrikette ja -pelletteid (kokku 210 tuh t/a), mis suures osas (83 %) eksporditakse.

Eestis on suured turbavarud – 1,7 mlrd t, s.h kasutatavad 775 mln t, lubatud kasutusmääraks on kinnitatud 2,78 mln t/a. 2003. a toodeti 1 mln t turvast, millest küteturbana kasutati 362 tuh t (248 tuh t frees- ja 114 tuh t tükkturbast). 27 % frees- ja 98 % tükkturbast kasutati kaugküttes. Turbast toodeti ka 120 tuh t turbabriketti, millest 84 % eksporditi.

Leedus oli biomassi osatähtsus primaar-energias suhteliselt madal – 7,6 %. Puitkütuseid kasutatakse 3,4 mln tm aastas. Suurem osa biomassist (70 %) leiab kasutamist küttepuudena kodumajapidamistes. Ainult 12 – 15 % biomassist kasutatakse kaugküttes. Puidukatelde võimsus ületab 250 MW. Alates 1994. aastast valmistatakse hakkpuitu, mida kasutatakse suuremates (üle 1 MW) katlamajades. Toodetakse puidupelletteid (üle 20 tuh t/a) ja -brikette (ligi 100 tuh t/a). Turba varud pole suured (117 mln t). Aastas toodetakse turvast 200 – 400 tuh t,

sealhulgas kütteturvast 46 – 85 tuh t. 2003. a kasutati energia tootmiseks 49 tuh t frees- ja 18 tuh t tükkurvast. Toodetakse ka turbabriketti – 10 – 15 tuh t aastas. Püstitud on eesmärk tõsta taastuvenergia osatähtsus energiabilansis 2010. aastaks 12 %ni. Praeguste kavade kohaselt on eesmärgiks suurendada 2010. aastaks puitkütuste kasutamist umbes viiendiku võrra ja jõuda kogu energiatootmiseks sobiliku potentsiaali (850 tuh toe) ärakasutamiseni 2020. aastaks.

Läti peab kohalike energiaressursside vähesuse tõttu importima 65 – 70 % kasutatavast primaarenergiast. Seetõttu on taastuvate energiaallikate kasutamine tähtis varustuskindluse tõstmise ja energeetilise sõltuvuse vähendamise aspektist. Puitkütuste osatähtsus primaarenergia bilansis on suur – 27 – 28 %. Suurem osa (56,1 %) biomassist tarbitakse kodumajapidamistes. Biomass ja tuul on saanud eeliseisundi elektri tootmisel. Biomassist toodetud soojuse kogus on aga vähenenud 1997 – 2001 keskmiselt 6 % aastas. On alustatud puidupelletite tootmist, tehaste tootmisvõimsus on jõudmas 100 tuh tonnini aastas.

Lätis on suured turbavarud – turbarabad katavad umbes 10 % Läti territooriumist, summaarsed turbavarud on umbes 1,5 mlrd t. Viimastel aastatel on toodetud keskmiselt 500 tuh t turvast aastas, osatähtsus primaarenergias on siiski väike 1,5 – 2,5 %.

Poolas kaeti umbes 5 % primaarenergia vajadusest taastuvressurssidega, millest biomass moodustas (2002. a) 95 %. Ligi 30 % Poola territooriumist on kaetud metsadega, see näitaja peaks hakkama tõusma, kuna on kavas metsastada kasutamata maid. Biomassist (tahke ja vedelkütus, biogaas) saadud energias (104,2 TJ) moodustas puitkütustest toodetu umbes 85 %. Hinnanguliselt kasutatakse puitkütuseid, valdavalt metsatööstuse jäätmeid, paarisajast kaugküttekattlamajas ja üle 110 tuhandes väiksemas (< 500 kW) katlas. Põhiline osa (üle 60 %) biomassist kasutatakse kodumajapidamistes. Viimastel aastatel on alustatud puidu-

pelletite tootmist, tootmisvõimsus ületab 150 tuh t aastas. Taastuvenergeetika projektid on saanud ühekordseid toetusi mõnedest sihtfondidest. Energiasektori arengukavas (2000. a) on püstitatud eesmärk tõsta taastuvallikate osakaal primaarenergias 7,5 %ni 2010. a ja 14 %ni 2020. aastaks.

Rootsis saadi 16 % kasutatud primaarenergiast biomassist. Rootsil (koos Soomega) on suurimad kogemused puitkütuste kasutamisel. Rootsis on mitmeid aastaid soodustatud taastuvate energiaressursside kasutamist. Riiklikul tasandil on toetatud biomassi kasutamist (koos teiste taastuvressurssidega). Rootsi on tuntud kütuse ja energia kõrge maksumuse poolest. Algselt efektiivsuse tõstmiseks ja taastuvenergia kasutamise stimuleerimiseks kasutusele võetud maksud on üha rohkem suunatud keskkonnanahkidele. Kütused on maksustatud energia-, CO₂- ja väävlmaksuga. Näiteks on kütuste süsinikusisaldusel põhineva CO₂ maksu määr vahemikus 95 – 126 EUR/t CO₂. Biokütuseid ei maksustata, turvas on maksustatud ainult väävlmaksuga.

Biomass moodustab kasutatud taastuvressurssidest umbes 60 % ja seda kasutatakse põhiliselt elektri ja soojuse koostootmisel ning kaugküttes. Puitkütuste kasutamine kaugküttes on kasvamas – 1990ndatel aastatel oli kasv ligi viiekordne (13 PJ-lt 1990. a 65 PJ-ni 2001. aastal). 2002. aastal oli puit suurima osatähtsusega (28 %) kütuseks kaugküttes. Siiski kasutatakse suurem osa (ligi 60 %) biomassist soojuse tootmiseks otse, s.t mitte kaugküttes – Rootsis on puiduküttel umbes 400 tuhat pereelamut.

Puidupelletite tootmine ja kasutamine areneb kiiresti. Üle 30 ettevõtte toodab puidupelletideid: tootmisvõimsus 1,2 mln t/a, aastatoodang umbes 800 tuh t. Lisaks imporditi 2004. aastal 310 tuh t. Pelletite kasutamise kasvutempo on kõrge: 2004. aastal oli tarbimise kasv umbes 100 tuh t, jõudes 1,25 mln tonnini aastas. Pelletid leiavad kasutamist nii väikemajades (443 tuh t), keskmise suurusega kaugküttekattla-

majades (151 tuh t, tarbimise kasv 2004. a 20 %) kui suurtes kaugkütte koostootmisjaamades (656 tuh t).

Rootsis on suured turbavarud ja turvast kasutatakse edukalt ka energeetikas. 2002. a toodeti 2,9 mln t energeetilist turvast (1,3 mln t tükk- ja 1,6 mln t freesturvast). Kaugküttes kasutatud kütuste seas oli turba osatähtsus 6,5 %.

Saksamaal oli biomassi osatähtsus kasutatud primaarenergias küllaltki madal – 2,1 %. Biomassi, põhiliselt puidu ja puidujäätmete kujul, kuid ka biogaasina, kasutatakse peamiselt kodumajapidamistes – 57,1 % kogu biomassist. Soojuse tootmine biomassist on ajavahemikus 1997 kuni 2001 suurenenud keskmiselt 6,3 % aastas. Viimastel aastatel on hakatud tootma ja kasutama puidupelletideid, neid ka imporditakse. Kogused on esialgu tagasihoidlikud. Alates 1999. aastast on võimalik saada investeeringutoetust biomassi kasutamiseks soojuse tootmisel. Aastaks 2010 loodetakse biomassi osatähtsust primaarenergias tõsta 3 %ni.

Soomes on biomassi kasutamine väga laialdane. Kuni 1990ndate aastateni kasutati puitu kaugküttes väga tagasihoidlikult. Viimase kümne aastaga on puiduga kütmine mitmekordistunud. Kasv on olnud suurim soojuse ja elektri koostootmisjaamades, kuhu praegu läheb umbes 30 % biomassist. Elektri tootmisel on biomassi kasutamise osatähtsus (umbes 10 %) kõrgeim ELs. Kokku kaetakse biomassiga ligi 20 % riigi primaarenergia vajadusest. Kodumaiseid puidupõhiseid kütuseid kasutati (2003) 5,1 mln toe mahus, sellest ligi poole (47 %) moodustas must leelis, 21,6 % küttepuud ja 31,4 % puidujäätmed. Lisaks imporditi puitkütuseid 1,7 mln toe ulatuses (peamiselt Venemaalt, Eestist ja Lätist). Biomassi lõpptarbisest moodustab suure osa musta leelise kasutamine paberitööstuses. Kodumajapidamised kasutavad umbes 15 % kogu biomassist.

1998. a alustati puidupelletite toomist. Praeguseks on puidupelletite tootjaid üle

10, koguvõimsusega umbes 240 tuh t aastas. 2003. a toodeti 173 tuh t pelletideid, millest 77 % (134 tuh t) eksporditi (põhiliselt Rootsi ja Taani). Soomes kasutatud pelletitest (39 tuh t) põletati alla 25 kW võimsusega kateldes 37 % (14,3 tuh t). Hinnanguliselt kasutatakse puidupelletideid rohkem kui kolmes tuhandes ühepereelamus, kasutajate arv suureneb väga kiiresti. Puitbriketti toodetakse paarikümnes ettevõttes, 2003. a tarbiti kogu toodang (35 tuh t) Soomes.

Biomassi kasutamise kiiret arengut on soodustanud nii riiklik energiapoliitika kui ka soosiv suhtumine omavalitsuste poolt. Biokütuste kasutamisele on kaasa aidanud kütuste süsinikisisaldusel põhinev maksustamine, mille osas Soome on olnud eeskäijaks: CO₂ maks võeti kasutusele juba 1990. aastal. Praegusel ajal on soojuse tootmisel fossiilkütuste CO₂ maks 18,1 EUR/CO₂ t, millest biokütused on vabastatud. Turbale rakendatakse alandatud maksumäära ja alla 25 GWh aastase soojustoodangu korral kehtib maksuvabastus. Lisaks on kasutusel mitmed toetusprogrammid, millest enamik on olnud seotud ka regionaalse arengu ja tööhõivega. Näiteks taastuvressursse kasutava energiaprojekti jaoks on võimalik saada kuni 40 % riiklikku investeeringutoetust. Riik subsideerib puitkütuse tootmist metsatööl (3,5 EUR/MWh) ja noorest metsast hakke tootmisel (2 EUR/MWh). Täpselt suunatud abi on olnud tulemuslik: viimase mõne aastaga on metsahaket kasutavate katelde arv suurenenud 300lt 400le. Ainult 2004. a jooksul suurenes metsahakke kogumine ja kasutamine 600 tuh tm võrra. Riik on aastate jooksul oluliselt toetanud teadus- ja arendustöid taastuvenergeetika, eriti biomassi kasutamise valdkonnas. Näiteks 2004. aastal toetas riik energiamajandust kokku 33,5 MEUR ulatuses, 17,6 MEUR sellest moodustasid puidu kasutamisega seotud toetused: puitkütuste tootmisele 3,4 ja puidust energia tootmisele 14,2 MEUR.

Soomes on suured turbavarud: 1,1 mlrd toe, turbarabad moodustavad 28 % riigi territooriumist. Turba osatähtsus energia-

bilansis on keskmiselt 5 – 7 %, varieerudes palju sõltuvalt ilmastikuoludest: 2000. aastal kasutati energia tootmiseks 1,5 Mtoe ja 2004. a 2,4 Mtoe turvast. Kaugküttes (s.h koostootmisjaamades) oli turba osatähtsus kasutatud kütustest umbes 19 %. Kui seni kasutati turvast valdavalt põhikütusena turbakateldes, siis viimastel aastatel on üha rohkem hakanud levima turba põletamine koos puiduga. Soomes käsitatakse turvast kui aeglaselt taastuvat biokütust ja tema kasutamisel on võimalik saada mõningaid soodustusi.

Energeetika arengustrateegias (1999, 2002) on püstitatud eesmärgiks suurendada 2010. aastaks taastuv-ressursside kasutamist 30 % võrra võrreldes 2001. aastaga, viies taastuvenergia osakaalu primaarenergia bilansis 27 %ni. Põhilise osa suurenemisest peab moodustama biomassi kasvav kasutamine, seejuures metsahakke kasutamist kavatsetakse suurendada ligi kolm korda.

Taanis pöörati 1980ndatel ja 1990ndatel aastatel suurt tähelepanu taastuv-ressursside kasutuselevõtule energeetikas. Alates 1992. aastast andis riik abi – subsiidiumid ja grantid kuni 30 % ulatuses investeeringust – fossiilkütust kasutavate kaugküttekattlamajade rekonstrueerimiseks biomassi kasutavateks koostootmisjaamadeks. Samal perioodil kehtestati kaugküttesüsteemis töötavatele koostootmisjaamadele kohustus kasutada õlgi (kokku 1,2 mln t/a) ja hakkpuitu (0,2 mln t/a). 2002. aastal saadi 12,5 % kogu-tarbimisest taastuvallikatest, seejuures oli elektri tootmisel vastav näitaja isegi üle 20 %. Biomass muutus domineerivaks energiaallikaks soojusvarustuses, kuid seoses 2002. ja 2003. a toimunud muudatusega energiapolitikas on tema osa hakanud vähenema. Siiski prognoositakse lähiaastateks taas kasvu. Taanile on iseloomulik suurema osa (63 %) biomassist kasutamine elektri ja soojuse tsentraliseeritud tootmiseks. Ülejäänud läheb lõpptarbimiseks, millest üle 70 % moodustab puidu kasutamine kodumajapidamistes.

Taanis kasutatakse palju ka pelletteid, juba 1991. aastal ületas tarbimine 100 tuh t aastas. Kiire areng toimus aastatel 2000 – 2002 kui pelletite tarbimine tõusis 100 tuh t võrra, eriti suur hüpe tehti 2003. a kui tarbimine kasvas veel 200 tuh t võrra jõudes 600 tuh tonnini aastas. Kuna omamaist ressursi jätkub umbes 150 tuh t pelletite tootmiseks, siis veetakse ülejäänud (nii toorainena kui pelletitena) sisse – Rootsist, Soomest, Balti riikidest ja isegi Põhja-Ameerikast.

Venemaa on rikas puiduvarude poolest – Vene Föderatsiooni territooriumil paikneb peaaegu 25 % maailma metsadest. Loode-Venemaa, s.h Karjala, kuulub Venemaa suurema metsasusega alade hulka.

Leningradi oblastis on metsafondi kuuluvat maad 4,9 mln ha ja metsavaru on hinnanguliselt 865 mln tm, Praegu leiab kasutamist umbes 6 mln tm küttepuid ja puidujäätmeid. Jäätmetest jääb kasutamata üks kolmandik kuni pool.

Kaliningradi oblastis on vastavad näitajad 307 tuh ha ja 45,5 mln tm. Umbes 12 – 15 % piirkonna kattlamajadest kasutab puitkütuseid. Oblastis on ligi 50 puidutöötlemisettevõtet, mille jäätmed leiavad kasutamist kattlamajades.

Venemaal tervikuna on puidukasutamise efektiivsus madal kuna ainult viiendik langetatud metsast töödeldakse, enamik puidust eksporditakse töötlemata kujul. Energiatootmisel domineerivad fossiilkütused, ainult 8 – 10 % soojusest toodetakse biomassist. Leningradi oblastis (koos Peterburiga) on biokütuste osatähtsus energiabilansis 2,7 %, biokütust kasutatakse 23 munitsipaalkattlamajas, 47 kattlamajas tehakse selleks ettevalmistusi. Arengukavades nähakse ette biokütuse osatähtsuse kiiret suurenemist – aastaks 2010 20 %ni.

Viimastel aastatel on Leningradi oblastis tööd alustanud 9 puidupelletitehast, mille tootmisvõimsus ületab 120 tuh t aastas.

2. TAHKETE BIOKÜTUSTE JA TURBA OMADUSED

Balti mere äärsete maade katlamajades kasutatakse laialdaselt mitmesuguseid puidupõhiseid kütuseid. Vähesel määral leiavad kütusena kasutamist veel õled ja üksikjuhtudel veel mõned muud loodusliku biomassipõhised kütused. Kõiki neid biokütuseid käsitletakse kui taastuvaid kütuseid, mille põletamisel tekkivat süsihappegaasi kasvuhoonegaasidena rahvusvahelise kokkuleppe kohaselt arvele ei võeta.

Käsiraamatus vaadeldakse koos tahkete biokütustega ka turvast, mida võib tinglikult käsitleda kui aeglaselt taastuvat bioloogilise päritoluga kütust. Turba põletamisel tekkiv süsihappegaas võetakse kasvuhoonegaasina arvele. Sageli kasutatakse turvast koos hakkpuiduga samas katlas kas vaheldumisi või koos ja sellepärast tuleb nende kütuste omaduste erinevusi põletustehnoloogia valikul teada ja arvesse võtta.

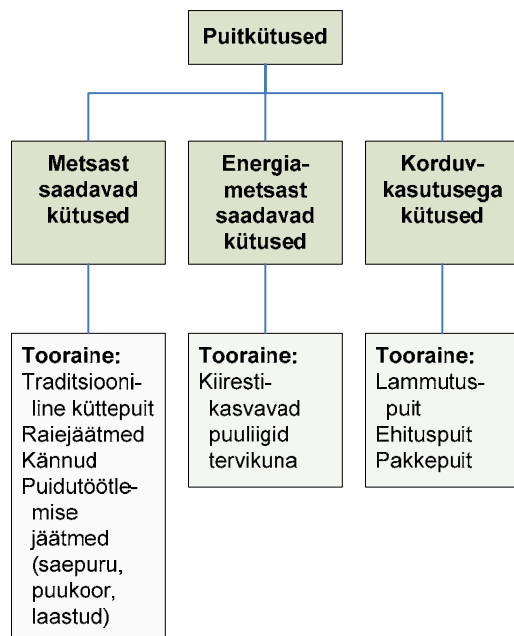
Põletustehnoloogilisest ja kütuse praktilise kasutamise seisukohast pakuvad enam huvi järgmised kütuse omaduste näitajad: keemiline koostis, niiskus, tihedus, lendosadesisaldus, tuhasisaldus ja tuha sulamiskarakteristikud ning lisandite (pinnas, tolm jm) sisaldus kütuses.

2.1. Puitkütuste liigid

Puitkütuseid võib liigitada tooraine päritolu järgi (vt Joonis 2.1) metsast ja energiametsast saadavateks ning korduvkasutusega kütusteks.

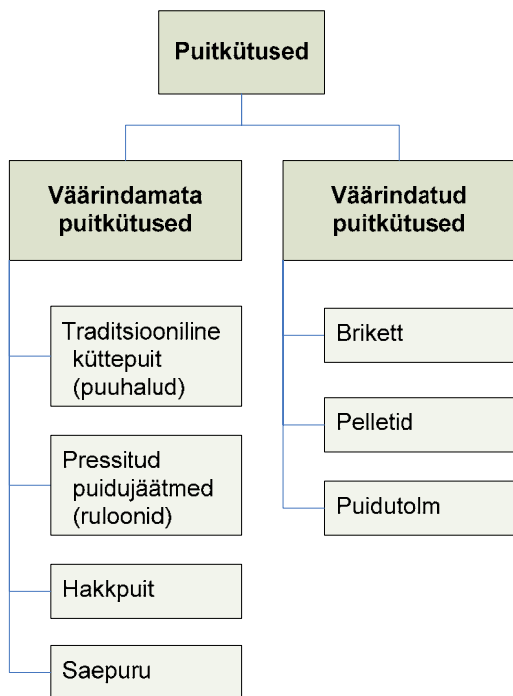
Kui metsast ja energiametsast saadavaid kütuseid võib pidada loodussõbralikeks kütusteks, siis korduvkasutusega puitkütused seda kindlasti ei ole. Nad on tavaliselt immutatud ja värvitud ning sisaldavad mitmesuguseid lisandeid (metall, klaas, plastik jne.), seetõttu nende töötlemine on komplitseeritud. Lisandite tõttu tuleb sellise materjali peenestamiseks kasutada puiduhakkurite asemel purusteid ning kõrgendatud nõuded on ka põletus-

seadmetele ja nende heitmetele. Korduvkasutusega puitkütuste kasutamist võib seega vaadelda pigem jäätmete utiliseerimisena.



Joonis 2.1. Puitkütuste liigitus tooraine päritolu järgi

Teiseks võimaluseks puitkütuseid liigitada on väärindamise astme järgi (vt Joonis 2.2). Väärindamata kütusteks loetakse selliseid, mida töötlemise käigus on vaid peenestatud või pakitud, kuid mille mehhaanilised omadused on jäänud muutmata. Väärindamata puitkütusteks on traditsiooniline küttepuit, hakkpuit, pressitud puidujäätmad ja puidutöötlemise jäätmed (saepuru ja laastud). Väärindatud puitkütuste tüüpilisteks esindajateks on puidubrikett ja pelletid (graanulid).



Joonis 2.2. Puitkütuste liigitus
väärindamise astme järgi

2.2. Puidupõhiste kütuste omadused

Puit, täpsemalt puidurakkude kest, koosneb põhiliselt tselluloosist, ligniinist ja hemitselluloosist. Ligniin on tänu suurele süsiniku ja vesinikusisaldusele kõrgema kütteväärtusega kui tselluloos ja hemitselluloos. Puit sisaldab vähesel määral ka tõrva, vaikusid ja fenoole, mis teatud tingimustes võivad suitsugaasidest külmadele kütte- või korstnapindadele raskesti eemaldatavaid sadestisi moodustada.

2.2.1. Keemiline koostis, tuha-, niiskuse-, kuivaine- ja lendaine sisaldus

Kõik käsiraamatus vaadeldavad puit- ja teised biokütused ning turvas kuuluvad tahkete kütuste hulka, mis koosnevad põlevosast ja ballastist. Ballasti moodustavad tuhk ja niiskus. Tuhk ja

põlevosa kokku (ilma niiskusest) moodustavad kütuse kuivaine

Puitkütuste elementaarkoostises on valdavad kolm keemilist komponenti: süsinik (C), vesinik (H) ja hapnik (O), mis kokku moodustavad kuivainest umbes 99 %. (vt Tabel 2.1 [6]). Lämmastikuisaldus (N) jääb tavaliselt alla 0,2 % ja väävlisisaldus (S) alla 0,05 % kuivainest. Väävlisisaldus pakub kütuses huvi eelkõige väävliheite tekkimise seisukohalt, kuid kõrgema väävlisisalduse korral võib mõjutada ka madalatemperatuurilist korrosiooni suitsukäikudes ja korstnas. Kuna kloor võib samuti põhjustada küttepindade korrosiooni, siis on oluline teada ka kütuse kloorisisaldust. Kloorisisaldus võib probleeme põhjustada näiteks okaspuu hakke põletamisel, kui okaste osatähtsus kütuses on suur.

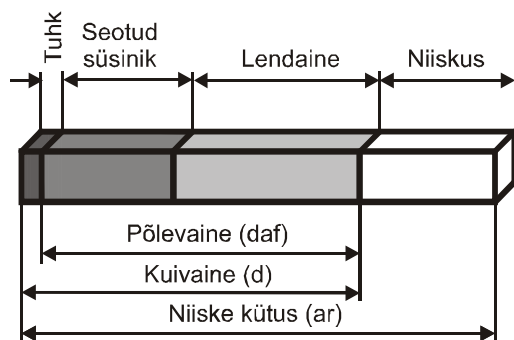
Kuigi raskete metallide sisaldus puidumassis ei ole ohtlikult kõrge, võib rangemate keskkonnanõuete korral ka nende sisaldusega arvestada. Puu eri osade koostises leidub vähesel määral niklit, arseeni, kaadmiumi, kroomi, vaske, elavhõbedat, pliid ja tsinki.

Tabel 2.1. Puidu elementaarkoostis [6]

Element, % kuivaines	Puit	Koor
C	48 – 50	51 – 66
H	6,0 – 6,5	5,9 – 8,4
O	38 – 42	24,3 – 40,2
N	0,5 – 2,3	0,3 – 0,8
S	0,05	0,05
Cl	< 0,01	0,01 – 0,03

Kütuse tuha-, niiskuse-, lendaine- ja seotud süsiniku² sisalduse väljendamiseks on mitu võimalust (vt Joonis 2.3):

- sisaldus massiprotsentides kuivaine (d) kohta;
- sisaldus massiprotsentides niiske kütuse e tarbimiskütuse (ar) kogumassi kohta;
- sisaldus massiprotsentides tuhavaba kuivaine e põlevaine (daf) kohta.



Joonis 2.3. Tahke kütuse komponendid

Kütuse niiskusesisaldus on muutuv suurus ning sellepärast eelistatakse teatmetabelites kütuse tuha- ja lendosadesisalduse esitamist kuivaine (d) massiühiku kohta, kuid praktilistes arvutustes katlamajas esitatakse niiskusesisaldus enamasti siiski vastuvõetud niiske kütuse e tarbimiskütuse (ar) massiühiku kohta.

Kuivaine tuhasisalduse ja tarbimiskütuse tuhasisalduse vahel kehtib järgmine seos [7]:

$$A_d = A_{ar} \cdot 100 / (100 - M_{ar}),$$

kus A tähistab tuha- ja M niiskusesisaldust.

Kütuse niiskusesisaldus määratakse kütuseproovi kuivatamisel kuivatuskapis 105±2°C juures püsiva massini [8-10]:

$$M_{ar} = (m_1 - m_2) / m_1 \cdot 100, \text{ kus}$$

M_{ar} on niiskusesisaldus tarbimiskütuses, st märjas kütuses (%),

m_1 on tarbimiskütuse proovi mass (g),

m_2 on kuivatatud kütuseproovi mass (g).

Kütuse niiskusesisalduse määramine on oluline protseduur kütuse vastuvõtul katlamajja, eriti kui kütuse kogus määratakse kaalumise teel.

Kasvava puu niiskusesisaldus on tavaliselt vahemikus 40 – 60 % ja see sõltub paljudest asjaoludest, sh kasvupaigast, puuliigist, aastaajast (kasvuajal kõrgem, talvel madalam), lisaks erineb niiskusesisaldus puu eri osades (vt Tabel 2.2). Kuivatamisel eraldub puidust kõigepealt nn vaba vesi ja hiljem ka seotud vesi e rakuvesi. Rakuvee väljaaurustamise korral hakkavad puu füüsikalised omadused muutuma. Puu kuivamisel selle maht kahaneb.

Tabel 2.2. Okaspuude eri osade niiskusesisaldus [6]³

	Niiskusesisaldus tarbimiskütuses, M_{ar} , %	
	Mänd	Kuusk
Tüvi	45 – 50	40 – 60
Oksad	50 – 56	42 – 46
Latv	60	60
Koor	36 – 67	38 – 63

Puidu kuivamisel saavutab puit sõltuvalt kuivamistingimustest küllastusolukorra, st püsiva niiskuse taseme. Välingimustes kuivavad halupuud umbes 20 – 25 % niiskuseni ja sellise niiskusega puid nimetatakse õhukuivaks. Toatingimustes kuivaksid puud umbes 8 – 15 % niiskuseni ja selleni kuivatatud puid nimetatakse mõnikord toakuivaks.

Lendainesisaldus määratakse standardiseeritud meetodiga [11], mis kujutab

² seotud süsinikuks loetakse seda süsinikku, mis jääb järele pärast lendaine (süsvesinike) eraldamist

³ Viidatud aruandes on koondatud teistest allikatest pärit andmed

endast kuiva kütuseproovi kuumutamist õhu keskkonnas $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ juures 7 minuti jooksul. Lendainesisaldus (VM) leitakse massi muutusest samal põhimõttel nagu niiskusesisalduski ja väljendatakse protsentides kas kuiva (d) või kuiva tuhavaba kütuse massi suhtes.

Lendaine- ja seotud süsiniku (C_{fix}) vahetamine kütuses määrab põlemisel vahetamise, milline osa põlemissoojusest eraldub leegis (kolde mahus) ja milline kütuse kihis. Kuna puit- ja teiste biokütuste lendainesisaldus on kõrge ($VM_d = 80 - 90\%$), eraldub nende kütuste põletamisel valdav osa soojusest kolde mahus ja seetõttu vajatakse lendosade täielikuks põlemiseks suurt kolde mahtu.

Seotud süsiniku sisaldus väljendatakse protsentides ja arvutatakse lendainesisalduse kaudu kui tuhavabast kuivainest lendosade eraldumisel järelejääv osa:

$$C_{\text{fix},d} = 100 - A_d - VM_d$$

$$C_{\text{fix},daf} = 100 - VM_{daf}$$

$$C_{\text{fix},ar} = 100 - A_{ar} - M_{ar} - VM_{ar}$$

2.2.2. Kütteväärtus

Kütteväärtuseks nimetatakse kütuse massiühiku põlemisel vabanevat soojushulka ja tema määramine toimub nn „kalorimeetriselises pommis“ [12]. Kalorimeetriselises pommis määratud kütteväärtuse kaudu arvutatakse kütuse ülemine ehk bruto ja alumine ehk neto kütteväärtus (vastavalt q_{gr} ja q_{net}).

Ülemine kütteväärtuse arvutamisel eeldatakse, et nii kütuse niiskusest kui vesiniku põlemisproduktina suitsugaasidesse sattunud veeaur täielikult kondenseerub. Alumises kütteväärtuses suitsugaasides sisalduva veeauru kondenseerumissoojust ei arvestata. Mida suurem on kütuse niiskus ja vesinikusisaldus, seda suurem on erinevus ülemise ja alumise kütteväärtuse vahel.

Enamasti väljuvad suitsugaasid katlast korstnasse üle 100°C temperatuuril, st kastepunktist tunduvalt kõrgemal temperatuuril ja sellistes tingimustes

veeauru kondensatsioonienergia jääb kasutamata. Mõnede nn „puhaste kütuste“, näiteks maagaasi ja puitkütuste korral on võimalik suitsugaase $40 - 60^\circ\text{C}$ -ni jahutades saada veeauru kondenseerumise tõttu umbes $15 - 20\%$ täiendavat soojust. Seega „tavalistes“ kateldes kasutatakse alumist (neto) kütteväärtust ja suitsugaasidest veeauru kondenseerimisega seadmetes ülemist kütteväärtust.

Praktikas on juurdunud tava, et katla kasuteguri arvutamisel võetakse kütuse kütteväärtuseks alumine kütteväärtus, mille korral veeauru kondenseerimisega katelde kasuteguriks võib kujuneda üle 100% ! Loomulikult pole tegemist energia jäävuse seaduse rikkumisega, vaid traditsiooni ja kokkuleppega, mis võimaldab katlatüüpide efektiivsust omavahel võrrelda.

Kütteväärtus väljendatakse enamasti MJ/kg või kJ/kg, kusjuures mass võib olla nii niiske (ar), kuiva (d) kui kuiva tuhavaba (daf) kütuse mass. Kasutades kuiva kütuse vesinikusisalduse tähistamiseks massiprotsentides tähist H_d , saaksime alumise ja ülemise kütteväärtuse jaoks kasutada järgmisi seoseid (kütteväärtus MJ/kg):

$$q_{gr,ar} = q_{gr,d} \cdot (1 - M_{ar}/100)$$

$$q_{gr,d} = q_{gr,daf} \cdot (1 - A_d/100)$$

$$q_{net,d} = q_{gr,d} - 2,442 \cdot 8,936 \cdot H_d/100$$

$$q_{net,ar} = q_{net,d} \cdot (1 - M_{ar}/100) - 2,442 \cdot M_{ar}/100$$

$$q_{net,ar} = q_{gr,ar} - 2,442 \cdot \{8,936 \cdot H_d/100 \cdot (1 - M_{ar}/100) + M_{ar}/100\}$$

Puidu kuivaine kütteväärtus sõltub puuliigist suhteliselt vähe (vt Tabel 2.3), kusjuures koore kütteväärtus ületab mõnede lehtpuuliikide korral (kask ja lepp) märgatavalt puidu põhimassi vastavat näitajat. Kasutades tabelis toodud andmeid ja toodud kütteväärtustevahelisi seoseid on võimalik iga niiskuse- ja tuhasisalduse korral arvutada puitkütuse eeldatav kütteväärtus etteantud tingimustel.

Kui kütteväärtus määratakse ja tuuakse käsiraamatutes enamasti massiühiku kohta, siis katlamajas on sageli otstarbekas väljendada kütteväärtust selle koguseühiku kohta, mida saabuva kütuse arvelevõtuks

kasutatakse, näiteks on selleks ühikuks puiduhakke korral sageli puistekuupmeeter või tihumeeter. Et massi- ja mahuühiku

kohta esitatud kütteväärtuste andmeid omavahel seostada, peaksime teadma vastava kütuse mahukaalu ja tihedust.

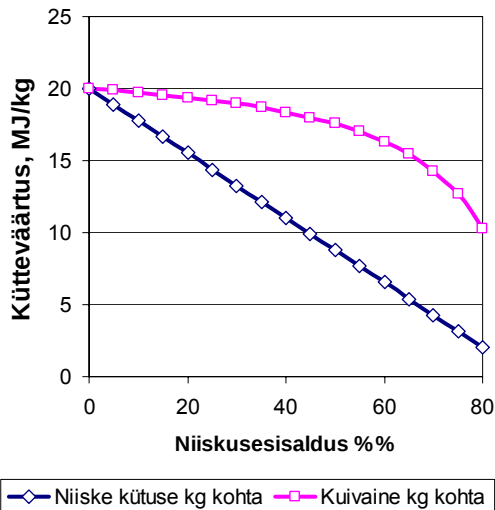
Tabel 2.3. Enamlevinud puuliikide kuivaine alumine kütteväärtus, $q_{net,d}$, MJ/kg [13]

Puuliik	Tüvi ilma kooreta	Koor	Kogu tüvi	Oksad ja latv	Kogu puu
Harilik mänd (<i>Pinus sylvestris</i>)	19,31	19,53	19,33	20,23	19,52
Harilik kuusk (<i>Picea abies</i>)	19,05	18,80	19,02	19,17	19,29
Sookask (<i>Betula pubescens</i>)	18,68	22,75	19,19	19,94	19,30
Arukask (<i>Betula pendula</i>)	18,61	22,52	19,15	19,53	19,29
Hall lepp (<i>Alnus incana</i>)	18,67	21,57	19,00	20,03	19,18
Sanglepp (<i>Alnus glutinosa</i>)	18,89	21,48	19,31	19,37	19,31
Haab (<i>Populus tremula</i>)	18,67	18,57	18,65	18,61	18,65

Enamasti esitatakse kütuse kütteväärtus niiske kütuse massiühiku kohta, kuid kütuse niiskusesisalduse kõikumiste korral võib selline esitusviis põhjustada tuntavat ebatäpsust. Teiseks võimaluseks on väljendada kütteväärtus kuivaine kilogrammi kohta. Puitkütuste niiskuse tüüpilises piirkonnas (kuni 50 %), on niiskuse mõõtmisel tehtava vea mõju kuivaine massi kohta esitatud kütteväärtusele oluliselt väiksem kui märja kütuse massi kohta toodud kütteväärtusele (vt Joonis 2.4).

Kirjeldatud asjaolu arvesse võttes on kasulik teada, et nii puidu tihumeetri kui hakkpuidu puistekuupmeetri kuivainesisaldus praktiliselt ei sõltu niiskusest. Seega, mõõtes katlamajja saabuva kütuse (näiteks puiduhakke) kogust mahuühikutes ja teades mahuühikus sisalduva kuivaine kütteväärtust, saab kütuse energiasisaldust suhteliselt täpselt määrata ja niiskusesisalduse väga täpselt määramiseks puudub tungiv vajadus. Vastuvõetava kütuse kaalumise ja niiskuse täpne ja operatiivne määramine pole seega ainuke võimalus kütuse energiasisalduse määramiseks ja kütuseautode kallite kaalumisseadmete paigaldamine pole kütusetarnijatega korrektseks arveldamiseks sugugi ilmingimata vajalik.

Kütteväärtuse arvutamise täpsus hakkpuidu kuivaine massiühikuühiku kohta niiskusel 35 % võimaliku vea ± 5 % korral on vähem kui 1,7 %, sama tarbimisaine massiühiku kohta aga 9,24 %.



Joonis 2.4. Puitkütuse alumise kütteväärtuse sõltuvus niiskusest (niiskusesisaldus kütuse kuivaine ja tarbimiskütuse kg kohta)

2.2.3. Tuha sulamiskarakteristikud

Kuigi puitkütuste ja ka muude tahkete biokütuste tuhasisaldus on madal (kuni mõni protsent), mõjutavad tuha sulamiskarakteristikud otseselt katla tööd. Tuha sulamine võib põhjustada kolde šlakkumist ja konvektiivküttepindadele tugevate sadestiste tekkimist.

Tuha sulamiskarakteristikute määramiseks on olemas mitmeid standardeid, sh ASTM D 1857, ISO 540, ja DIN 51730.

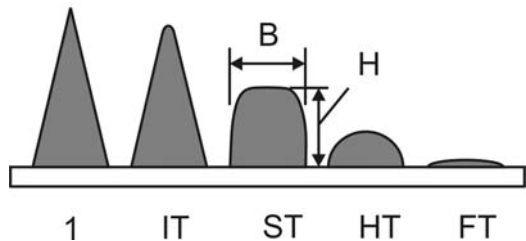
ASTM standardi korral määratakse standardse kujuga tuhakoonuse kuju muutused kuumutamisel hapendavas (oksüdeerivas) keskkonnas (vt Joonis 2.5):

- 1 – lähteolukord, enne kuumutamist on tuhakoonuse tipp terav;
- IT – deformatsiooni alguspunkt, koonuse terav tipp ümardub;
- ST – pehmenemistemperatuur, tuhakoonus deformeerub sel määral, et koonus vajub kokku ja moodustise kõrgus kahaneb selle läbimõõduni ($H = B$);
- HT – hemisfääriline e poolsfääri moodustumise punkt, koonus vajub kokku poolkeraks ($H = 1/2 \cdot B$);
- FT – voolamistemperatuur vedel tuh� valgub pinnale laiali.

Puidu tuha sulamiskarakteristikud võivad sõltuvalt puuliigist, kasvukohast, puitkütustesse sattunud lisanditest (näiteks pinnasest) kõikuda päris suurtes piirides, lisaks on olulised erinevused ka puu eri osade tuhal. Eri kirjandusallikate järgi kõiguvad puidu tuha sulamiskarakteristikud järgmistes piirides [6]:

- deformatsiooni algus IT = 1150 – 1490°C;
- pehmenemistemperatuur ST = 1180 – 1525°C;
- poolsfääri moodustumise punkt HT = 1230 – 1650°C;

- voolamistemperatuur FT = 1250 – 1650°C.



Joonis 2.5. Standardse tuhakoonuse kujumuutused kuumutamisel oksüdeerivas keskkonnas

Mõningate kütuste tuha sulamiskarakteristikud on toodud tabelis (vt Tabel 2.4 [6]). Kui koore puhul on tuha pehmenemistemperatuurid tavaliselt üsna kõrged (üle 1500°C) ja kolde ning resti šlakkumist reeglina ei põhjusta, siis saepuru ja puiduhakke märksa madalamad pehmenemistemperatuurid nõuavad šlakkumise vältimiseks hoolikat põlemisrežiimide jälgimist.

Tuha sulamine sõltub tema mineraalsest koostisest ja isegi väikesed erinevused koostises võivad tunduvalt muuta sulamiskarakteristikuid. Kütuse ja tuha koostise järgi pole praktikas võimalik tuha sulamist usaldusväärselt ennustada.

Kui katlamaja on sunnitud kasutama kütuseid, mille tuha omadusi täpselt ei teata, võib olla otstarbekas kasutada ekspressanalüüsi võtteid, mida kavatakse tulevikus standardiseerida [14]. Meetod kujutab endast väikese koguse (2 kg) kütuse katsepõletamist puhtal restil, mille järel kontrollitakse resti šlakkumist kas visuaalselt või mingi lihtsa empiirilise meetodiga. Kuna praktikas jaoks on madalast tuha sulamisest tingitud resti šlakkumine tõsine probleem, võib lihtsa ekspressmeetodi juurutamine katlamaja laboris võimaldada pärast katsetamist kasutada kütuseid, millest varem tuli võimaliku šlakkumise kartuses loobuda.

Tabel 2.4. Puu tuha sulamiskarakteristikud [6]

Kütus	Sulamiskarakteristikute väärtused, °C			
	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

2.2.4. Kütuste maht ja mahukaal

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

Väga oluline on teada hakkpuidu mahukaalu, sest väga paljud keskmised ja väikesed hakkpuitu kasutavad katlamajad mõõdavad saabuva kütuse koguseid mahu järgi. Oluline on teada, et kütusekoguse energiasisalduse määramise täpsus mahuühiku kohta on vähem sõltuv kütuse niiskusesisalduse arvutamise täpsusest kui energiasisalduse määramine kütuse massi (kaalu) kohta. Tarbimiskütuse kuivainesisaldus mahuühiku kohta sõltub vähe kütuse niiskusest, samas on kütteväärtus kuivaine massiühiku kohta niiskusesisaldusest vähem sõltuv kui kütteväärtus tarbimiskütuse massiühiku kohta (vt Joonis 2.4 ja lõik 2.2.2).⁴

Katlamajja saabuva kütuse mahtu on otstarbekas määrata kütuseveoki mahu ja täituvuse järgi enne mahalaadimist. Tuleb märkida, et transpordi ajal võib koorma tihedus mõnevõrra suurened, st kütuse mahukaal pärast kütuse veokile laadimist

on veidi väiksem kui saabumisel katlamajja.

Kütuse mahukaalu määramiseks on võimalik kasutada näiteks tüüp mõõtetega kasti, mis täidetakse kütusega ja kaalutakse. VTT soovitude kohaselt (ENE38/24/97 [6]) tuleks kasutada 125 liitrist kasti mõõtetega 0,5 x 0,5 x 0,5 m. Kastimeetodi kasutamisel saadakse veidi väiksem kütuse mahukaal kui on kütusel saabus veokis, sest kasti ei vibreerita ega raputata.

Mahukaalu määramiseks eri olukordades on rakendatavad mitmed standardid: ASTM E 1109, DIN 517052, ISO 1013 ja ISO 567, lisaks sellele on väljatöötamisel CEN standard [15].

Nii tarbepuidu kui puitkütuste koguseid esitatakse statistikas tavaliselt puidumassi kuupmeetrites e tihumeetrites. Selle ühiku kasutamisel on oluline teada puidu massi tihedust (tarbimiskütuse tihedus ρ_{ar}).

2.3. Õled ja nende omadused

Puidupõhiste kütuste kõrval on teiseks katlamajades kasutamist leidvaks tahkete biokütuste rühmaks õled ja energiahein, mis mõlemad saadakse põllumajanduslikult maalt. Põllumajandusest on võimalik saada veel mitut liiki biomassi, mis enamasti kasutatakse vedelateks biokütusteks või gaasiks ümbertöötamiseks. Käesolevas väljaandes vaadeldakse ainult õlgede kasutamist kütusena, sest muude põllumajandusliku päritoluga tahkete

⁴ Väide kehtib kütuse tüüpilise niiskusesisalduse korral, st niiskuseni umbes 60 – 65 %.

biokütuste tootmine ja praktiline rakendamine on katsetuste staadiumis.

Balti mere äärsetes maades kasvatatakse nisu, rukist, otra ja kaera ning kõigi nende viljade õlgi saab kütusena kasutada. Mõnel maal (näiteks Rootsis) on põletatud ka nende viljade teri. Viimane asjaolu on seotud riigipoolse toetusega põllupidajatele, kelle realiseerimata teravilja ülejäägid sel viisil teatud kasutust leiavad. Kuna teravilja reeglina ei kasvatata selleks, et saak hiljem ära põletada, siis ei ole otstarbekas teravilja põletamist laiemalt propageerida ja käesolevas käsiraamatus nende põletamist ei käsitleta.

Õlgede kuivaine elementaarkoostis (vt Tabel 2.5) ja kütteväärtus ei erine oluliselt puidu vastavatest näitajatest, kuid kütteväärtus on siiski veidi madalam (vt Tabel 2.6). Arvestades õlgede tarbimisaine tüüpilist niiskusesisaldust, mis jääb alla 20 %, on õlgede tarbimisaine kütteväärtus isegi pigem kõrgem kui metsahakke kütteväärtus (metsahakke tüüpiline niiskus on 35 – 55 %).

Õlgede omadused sõltuvad tugevasti nii kasvukohast, kasvuajast ja kasvuaja ilmastikust, kui ka mullastikust ning väetamisest. Näiteks varakult koristatud vilja õlgede (nn kollaste õlgede) kloorisisaldus on kuni 4 korda kõrgem kui hilja koristatud õlgedes, kusjuures maksimaalne Cl sisaldus ulatub isegi kuni 0,97 %-ni ja

see mõjutab tugevasti küttepindade korrosiooni.

Tabel 2.5. Õlgede kuivaine elementaarkoostis [6]

Elemendi sisaldus kuivaines, %	Vahemik	Kesk- väär- tus
C	45 – 47	46
H	5,8 – 6,0	5,9
N	0,4 – 0,6	0,5
O	39 – 41	40
S	0,01 – 0,13	0,08
Cl	0,14 – 0,97	0,31

Õlgede lendainesisaldus kõigub piirides 60 – 70 %, mis on veidi madalam kui puidupõhistel kütustel. Tuhasisaldus on õlgedes võrreldes puidupõhiste kütustega kõrge – kuivaine tuhasisaldus jääb piiridesse 4,5 – 6,5 %. Samas võib õlgede tuha sulamistemperatuur olla tunduvalt madalam puidupõhiste kütuste tuha sulamistemperatuuridest (vt Tabel 2.7). Rukki, odra ja kaera õlgede pehmenemine algab väga madalatel temperatuuridel (735 – 840°C), mida tuleb põletustehnoloogia valikul ja kolde põlemisrežiimi seadistamisel arvestada.

Tabel 2.6. Eri viljade õlgede tuhasisaldus ja alumine kütteväärtus [6]

Vili	Kuivaine tuhasisaldus, A_d , %	Kuivaine alumine kütteväärtus, $q_{net,d}$, MJ/kg	Tarbimisaine alumine kütteväärtus 20 % niiskuse juures, $q_{net,ar}$, MJ/kg
Rukis	4,5	17,0	13,6
Nisu	6,5	17,8	13,8
Oder	4,5 – 5,88	17,4	13,4
Kaer	4,9	16,7	12,9
Õled keskmiselt	5,0	17,4	13,5

Tabel 2.7. Eri viljade õlgede sulamiskarakteristikud [6]

Vili	ST, °C	HT, °C	FT, °C
Nisu	1050	1350	1400
Rukis	840	1150	1330
Oder	765	1035	1190
Kaer	735	1045	1175

Õlgede praktilise kasutamise suurim probleem on väike mahukaal, mis pressimata õlgede korral on ainult 30 – 40 kg puistekuupmeetri kohta, mis teeb õlgede ladustamise ja transpordi kalliks. Valdavalt varutakse õlgi pressitud kujul.

Vilja koristamisel on õlgede niiskus tavaliselt 30 – 60 %, põletamiseks sobiv niiskusesisaldus on aga alla 20 %. Kuna hoidlas langeb õlgede niiskus 2 – 6 % võrra, siis põletamiseks sobivate õlgede saamiseks ei tohiks nende niiskusesisaldus koristamisel olla mitte suurem kui 25 %. Kõrgema niiskusesisalduse õlgi tuleb enne hoidlasse paigutamist või hoidlas kuivatada, mis ühtlasi hoiab ära niiskemate õlgede võimaliku isekuumenemise ja mädanemise säilitamisel.

2.4. Turba omadused

Turvas on maavara, mis on tekkinud taimejäänustest nende osalisel lagunemisel hapnikuvaeses veerohkes keskkonnas. Turvas koosneb peamiselt osaliselt lagunenenud taimejäänustest ja huumusest. Turba iseloomustamiseks kasutatavatest näitavudest on olulisemad turba lagunemisaste, niiskus, mineraalosa-(tuha-)sisaldus, tihedus ja kütteväärtus.

Kuigi turvas on bioloogilise päritoluga, ei loeta teda tavaliselt taastuvaks biokütuseks, vaid aeglaselt taastuvaks bioloogilise päritoluga kütuseks, mille põletamisel tekkinud CO₂ võetakse kasvuhoonegaasina arvele nagu fossiilse päritoluga kütustelgi.

Turba lagunemisastet väljendatakse tavaliselt von Posti 10-pallilise lineaarse skaala abil ja tähistatakse H1 – H10. Sealjuures H1 on morfoloogiliselt mittelagunenud ja H10 on sedavõrd lagunenud, et materjali esialgset struktuuri pole palja silmaga võimalik eristada.

Kütteturbana kasutatakse peamiselt suurema lagunemisastmega vanemat turvast, kus taimestruktuur on kas ei ole üldse äratuntav või on mingil määral äratuntav.

Põhilised kütteturba liigid on freesturvas (vt Joonis 2.6), tükkturvas (vt Joonis 2.7), turbabriketid ja pelletid, mille tootmise tehnoloogiaid tutvustatakse lühidalt kolmandas peatükis (vt jaotus 3.7).

Kütteturba tüüpiline koostis on järgmine [6]:

- tuhasisaldus 4 – 6 %;
- seotud süsiniku (C) sisaldus kuivaines 23 – 31 %;
- lendaine sisaldus kuivaines 65 – 70 %;
- niiskusesisaldus tarbimisaines:
 - o freesturbal keskmiselt 48 %,
 - o tükkturbal keskmiselt 35 %,
 - o turbabrikettidel keskmiselt 10 %.

Turba koostis ja omadused sõltuvad väga tugevasti lagunemisastmest (vt Tabel 2.8 ja Tabel 2.9 [6]).



Joonis 2.6. Freesturvas



Joonis 2.7. Tükkturvas

Tabel 2.8. Lagunemisastme mõju turba tarbimisaine koostisele protsentides [6]

Koostisosad	Vähelagunenud (H1 – H2)	Keskmiselt lagunenud (H5 – H6)	Tugevasti lagunenud (H9 – H10)
Tselluloos	15 – 20	5 – 15	–
Hemitselluloos	15 – 30	10 – 25	0 – 2
Ligniin	5 – 40	5 – 30	5 – 20
Huumus	0 – 5	20 – 30	50 – 60
Bituminoossed ained	1 – 10	5 – 15	5 – 20
Lämmastikurikkad ained taandatudna proteiiniks	3 – 14	5 – 20	5 – 25

Tabel 2.9. Lagunemisastme mõju turba kuivaine elementaarkoostisele protsentides [6]

Lagunemisaste	Keemiliste elementide sisaldus kuivaines, %			
	Süsinik, C	Vesinik, H	Lämmastik, N	Hapnik, O
Vähelagunenud (H1 – H2)	48 – 50	5,5 – 6,5	0,5 – 1	38 – 42
Keskmiselt lagunenud (H5 – H6)	53 – 54	5,0 – 6,0	1 – 2	35 – 40
Tugevasti lagunenud (H9 – H10)	58 – 60	5,0 – 5,5	1 – 3	30 – 35

Turvas kuulub nn huumuskütuste tekkeritta (maismaataimed – turvas – pruunsüsi – kivisüsi – antratsiit) ja selle rea kütuste koostise ja omaduste võrdlemisel näeme, et kütuste süsinikusisaldus suureneb koos lagunemisastme tõusuga, mis loomulikult

kehtib ka turba osas (vt Tabel 2.9). Vähelagunenud turba mõned omadused raskendavad tema kasutamist küteturbana. Vähelagunenud turvas on hügrokoopne ja võib hoidlas õhuniiskuse toimele niiskemaks muutuda, tema väikene mahukaal ja kokkusurutavus raskendavad

transportööridega edastamisest ning põletamist. Seega, nagu eespool juba mainitud, kütteturbana kasutatakse enamlagunenud turvast.

Turba tuha sulamiskarakteristikud (vt Tabel 2.11) on veidi madalamad puidu vastavatest karakteristikutest. Turba tuhasisaldust ja tuha omadused sõltuvad

soo tüübist, turba moodustumise tingimustest ja sinna sattunud lisandite (liiva) kogusest ja omadustest. Seega tabelis esitatud näitajad vajavad iga konkreetse turba korral täpsustamist.

Tabel 2.10. Frees- ja tükkturba omaduste keskmised väärtused VTT andmetel [6]

	Niiskus, M_{ar} , %	Tuha- sisaldus, A_d , %	Lendaine- sisaldus kuivaines, %	Tarbimis- kütuse kütteväärtu $S, q_{net,ar}$, MJ/kg	Tarbimisain e mahukaal, kg/m^3	Mahuline energia- sisaldus, MWh/m^3
Freesturvas	48,5	5,1	68,6	9,6	341	0,89
Tükkturvas	38,9	4,5	68,9	11,9	387	1,27

Tabel 2.11. Turbakütuste tuha sulamiskarakteristikud VTT ja Vapo andmetel [6]

	Sulamiskarakteristikute (min – kesk – max) väärtused °C,		
	Pehmenemispunkt	Poolsfääri moodustumine	Voolamispunkt
Freesturvas (VTT)	1100 – 1130 – 1190	1200 – 1253 – 1375	1205 – 1290 – 1430
Tükkturvas (VTT)	1040 – 1136 – 1335	1145 – 1273 – 1415	1175 – 1308 – 1490
Tükkturvas (Vapo)	1130 – 1218 – 1340	1160 – 1252 – 1380	1180 – 1292 – 1470

2.5. Tahkete biokütuste kvaliteedi sertifikaadid ja klassid

Euroopa Standardiseerimise Komitee⁵ CEN korraldab käesoleval ajal paljude tahkeid biokütuseid puudutavate tehniliste tingimuste väljatöötamist. Tehniliste tingimustega püütakse ühtlustada:

- terminoloogia ja definitsioonid;
- kütuste tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid;

- kütuseproovide võtmine;
- mehaaniliste, füüsikaliste ja keemiliste omaduste määramine.

Tehniliste tingimuste kehtestamise vajadus tuleneb tahkete biokütuste kasutusala laienemisest ja mitmete kütuseliikide muutumiseks rahvusvahelise kauplemise objektiks. Kütuste kvaliteedi klassid lihtsustavad kütuste 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.

⁵ inglise keeles *The European Committee for Standardisation*, lühendatult CEN

Siinkohal kirjeldatakse lühidalt tahkete biokütuste kohta käivaid tehnilisi tingimusi ja kvaliteedi klasse [16], [17].

2.5.1. Tahkete biokütuste klassifitseerimise alused

Tahkete biokütuste klassifitseerimine algab päritolu määramisest, mille alusel kütused jaotatakse järgmisteks gruppideks:

- puidupõhine biomass;
- rohtne biomass;
- puuviljade biomass;
- lisanditega ja segatud biokütused.

Katlakütusena on Balti mere äärses maades praktilises kasutuses väga mitmesugused puidupõhised kütused ning mõned rohtse päritoluga kütused (eelkõige õled).

Puidupõhine biomass kujutab endast puudest või põõsastest pärinevat biomassi, kusjuures biomass võib olla saadud otse metsast või istandusest (nn energiametsast), puidutööstuse jääkidest, korduvakasutusega biomass jne (vt Joonis 2.1).

Nii puidupõhised kui rohtsed (*herbaceous*) kütused võivad olla keemiliselt töödeldud ja sisaldada lisandeid ja kemikaale, mis mõjutavad nende materjalide kasutatavust kütusena. Korduvakasutusega puidus võivad lisanditeks olla näiteks naelad, elektrijuhtmete metall ning vaigud ja liimid (lammutuspuit), puidutööstuse jäätmetes vaigud ja liimid jne. Selliste lisandite sisaldus tuleb lähtuvalt keskkonnohhtlikkusest eriti täpselt klassifitseerida.

Biokütuseid toodetakse, turustatakse ja kasutatakse küllaltki mitmesugustes nn kaubanduslikes vormides, mille tüüpilised näited on esitatud tabelis (vt Tabel 2.12).

Sõltuvalt biokütuse liigist rakendatakse kütuste klassifitseerimisel näitajaid kahes kategoorias:

- normatiivsed e kohustuslikud näitajad;
- informatiivsed näitajad, mille esitamine on soovitatav, kuid mitte kohustuslik.

Klassifitseerimisel rakendatavate kütuse omaduste näitajate (kas normatiivsete või informatiivsete) hulka võivad kuuluda (vt Tabel 9.3 – Tabel 9.9):

- kütuse päritolu ja allikas;
- kütuse kaubanduslik vorm (vt Tabel 2.12);
- tarbimiskütuse niiskus (M_{ar});
- kütuse tuhasisaldus (A);
- kütuse osakeste suuruste jaotus (P);
- kütuse osakeste tihedus (DE);
- kütuse puistetihedus (BD);
- pelletite mehaaniline püsivus (DU);
- kütuse süsiniku- (C), vesiniku- (H) ja lämmastiksisaldus (N);
- vees lahustuva kloori (Cl), naatriumi (Na) ja kaaliumisisaldus (K);
- summaarne väävlisisaldus (S) ja kloorisisaldus (Cl);
- keemiliste elementide sisaldus (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Na ja Ti). Sellesse gruppi kuuluvad need keemilised elemendid, mille sisaldus on tavaliselt teatud minimaalsest tasemest kõrgem;
- mikroelementide sisaldus (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V ja Zn). Nende keemiliste elementide sisaldus on madal, kuid võib olla nõutav keskkonkakaitsele nõuete tõttu.

Tabel 2.12. Biokütuste kaubanduslike vormide tüüpilised näited

Kütuse nimetus	Tüüpilised osakeste mõõtmed	Levinud ettevalmistuse viis
Briketid	$\varnothing > 25 \text{ mm}$	Mehaaniline kokkupressimine
Pelletid	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Mehaaniline kokkupressimine
Tolmkütus	$< 1 \text{ mm}$	Jahvatamine
Saepuru	1 mm – 5 mm	Puidu töötlemisel terava lõikeriistaga
Hakkpuit	5 mm – 100 mm	Puidu töötlemisel terava lõikeriistaga
Purustatud puit	Varieeruv	Puidu purustamine nüri seadmega
Halupuit	100 mm – 1000 mm	Puidu tükeldamine terava lõikeriistaga (saega)
Puukoor	Varieeruv	Palkide koorimine. Koor võib olla purustatud
Pressitud õled väikestes pakkides	0,1 m ³	Kokku pressitud ja seotud kandilisteks pakkideks
Pressitud õled suurtes pakkides	3,7 m ³	Kokku pressitud ja seotud kandilisteks pakkideks
Pressitud õled silindrilistes pallides	2,1 m ³	Kokku pressitud ja seotud silindrilisteks pallideks

2.5.2. Kütuste klassifitseerimise näiteid

Enamkasutatavate biokütuste klassifitseerimiseks on enamik kütuse kvaliteedi näitajaid jagatud vahemikeks, mille ulatuses kütuse vastav omadus võib kõikuda tarbijale ebaolulistes piirides. Näiteks hakkpuidu niiskusesisalduse klass M20 näitab, et tarbimiskütuse niiskus ei tohi ületada 20 %. Järgmine niiskuseklass M30 määrab tarbimiskütuse niiskuse piirideks 20 – 30 %. Samal põhimõttel tähistatakse ka teiste kütuse omaduste klasse (vt Tabel 9.3 – Tabel 9.9).

Iga tarbijagrupp ja põletusseadmete tüüp vajab või eelistab teatud omadustega kütuseid. Mida väiksemad on põletusseadmed, seda kvaliteetsemat kütust oleks seal vajalik või otstarbekas kasutada.

Kodutarbijatele soovitatava kõrge-kvaliteediliste puidubrikettide ja puidupelletite omadused peaksid üldjuhul vastama toodud tabelite (vt Tabel 2.13 ja Tabel 2.14) andmetele [16], [18].

Tabel 2.13. Kõrgekvaliteediliste puidubrikettide kvaliteediklassid kodutarbijatele

<i>Päritolu</i>	Keemiliselt töötlemata puit ilma kooreta
<i>Niiskus</i>	M10 (alla 10 %)
<i>Briketi tihedus</i>	DE1.0 (tihedus 1,00 – 1,09 kg/dm ³)
<i>Mõõdud</i>	Tabel 9.4
<i>Tuhasisaldus</i>	A0.7 (< 0,7 % kuivaines)
<i>Lisandid</i>	< 2 % kuivaine massist võib sisaldada muud biomassipõhist keemiliselt töötlemata materjali, mille tüüp ja sisaldus peavad olema näidatud
<i>Alumine kütteväärtus</i>	E4.7 (> 4,7 kWh/kg = 16,9 MJ/kg)

Tabel 2.14. Kõrgekvaliteediliste puidupelletite kvaliteediklassid kodutarbijatele

<i>Päritolu</i>	Keemiliselt töötlemata puit ilma kooreta
<i>Niiskus</i>	M10 (alla 10 %)
<i>Mehaaniline püsivus</i>	DU97.5 (> 97,5 % pelletite kaalust peab selle näitaja määramise testis jääma terveks)
<i>Peenfraktsiooni sisaldus</i>	F1.0 või F2.0 (alla 3,15 mm peenfraktsiooni sisaldus alla 1 % või 2 %)
<i>Mõõdud</i>	D06 või D08 (pelleti diameeter 6±0,5 mm ja pikkus alla 5 diameetri või pelleti diameeter 8±0,5 mm ja pikkus alla 4 diameetri) Kuni 20 % pelletite kaalust võib olla pikkusega 7,5 diameetrit
<i>Tuhasisaldus</i>	A0.7 (< 0,7 % kuivaines)
<i>Väävlisisaldus</i>	S0.05 (< 0,05 % kuivaines)
<i>Lisandid</i>	< 2 % kuivaine massist võib sisaldada muud biomassipõhist keemiliselt töötlemata materjali, mille tüüp ja sisaldus peavad olema näidatud
<i>Alumine kütteväärtus</i>	E4.7 (> 4,7 kWh/kg = 16,9 MJ/kg)

Kaugkütte katlamajade ja teiste suuremate kütusetarbijate nõuded kütuse omadustele sõltuvad kasutatavate põletusseadmete, transportööride ja hoidla konstruktsioonilistest iseärasustest ja kasutusviisist. Näiteks, kui kodutarbijale on üldreeglina sobivaim võimalikult kuivem kütus, siis katlamaja võib olla üles seatud katel, mille kolde ehitus eeldab niiske kütuse kasutamist.

Väärindamata naturaalse puitkütuste väga tähtsaks näitajaks on kütuseosakese suuruste vahemik, mis kajastub juba kütuse kaubandusliku vormi nimetuses ja määrab suures osas ka põletustehnoloogia.

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

- peen fraktsioon – alla 5 % kütuse massist on osakesed suurusega kuni 1 mm;
- 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.

Nagu jaotusest näha, määratleb klassifikatsioon peenfraktsiooni ja suurte tükkide sisaldust kütuses, sest mõlemad kõrvalekalded põhifraktsiooni mõjutavad

kütuse konveierite tööd ja samuti ka kütuse põlemist koldes.

2.5.3. Turbakütuste klassifitseerimine

Turbakütuste klassifitseerimine on põhimõtteliselt sarnane tahkete biokütuste klassifitseerimisest, erinev on muidugi kütuse päritolu ja osaliselt ka kaubanduslik vorm. Küteturba enamlevinud kasutusvormid on toodud tabelis (vt Tabel 2.15) [19].

Tabel 2.15. Turbakütuste levinumad kaubanduslikud vormid [19]

Kütuse nimetus	Tüüpiline kuju ja osakese suurus	Levinud ettevalmistamise viis
Briketid	Diameeter või väikseim osakese mõõt $> 25 \text{ mm}$	Mehaaniline kokkupressimine
Pelletid	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Mehaaniline kokkupressimine
Tükkturvas	$\varnothing < 80 \text{ mm}$ silindrilised	Lõikamine, vormimine, looduslik kuivatamine ja segamine, koristamine, ladustamine
Freesturvas	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Freesimine, looduslik kuivatamine ja segamine, kooristamine, ladustamine
Turba segud puidupõhise või rohtse biomassiga	Varieeruv	Peenestatud ja turbaga segatud puit, õled või muu rohtne biomass

Turbakütuse kvaliteedi sertifikaat peab sisaldama lisaks tarnija andmetele ning vastutava isiku nimele ja allkirjale koos allakirjutamise kuupäeva ja kohaga sisaldama tabeli kütuse normatiivsete ja informatiivsete näitajatega.

2.6. Kütuseproovide võtmine ja kvaliteedi määramine

Kütuse kvaliteedi määramine peab toimuma kokkulepitud standardite kohaselt, mida põgusalt kirjeldati eespool punktis 2.2. Iseenesest pole omaduste määramiseks vaja kuigi suurt kogust

kütust, samas peab väike kütuseproov peegeldama suurema kütusekoguse (näiteks raskeveoki koorma) keskmisi näitajaid. Seetõttu tuleb võtta kütuseproove mitmetest erinevate omadustega kohtadest, proovid omavahel segada ja jagada väiksemateks osadeks nii, et lõpptulemusena saaks esindusliku proovi, mille analüüsitulemused oleksid üle kantavad kogu kütusekogusele [20].

3. TAHKETE BIOKÜTUSTE TOOTMINE

3.1. Biomassi jagunemine metsas, kütuste tootmise tehnoloogilised ja keskkonnakaitselised piirangud

3.1.1. Puude biomassi jaotus

Eestis metsakorraldus tavaliselt tegeleb likviidse puidu (saepalk, paberipuu, traditsiooniline küttepuit) ressurrssidega ja raiejäätmetele tähelepanu ei pööra, kuigi energeetika seisukohalt on tegemist väga väärtusliku toorainega. Põhjalikult on aga puude biomassi jaotust ja raiejäätmete energeetilist potentsiaali uuritud Soomes. Joonisel (vt Joonis 3.1) esitatud andmetest nähtub, et ladvad, oksad, kändud ja juured moodustavad puu biomassist väga olulise osa.

Traditsioonilise küttepuidu kasutamine energeetiliselt otstarbel on hakanud vähenema. Sellel on mitu põhjust – tselluloosi- ja saetööstuse poolt kasutatava puidu minimaalne diameeter on vähenenud, sama toorainet on hakanud kasutama plaadi- ja söetööstused, tekkinud on mitmesuguseid muid peenpuitu väärdandavaid puidutöötlejaid. Seetõttu energeetikas tuleb järjest rohkem hakata otsima alternatiivseid võimalusi, neist perspektiivsemaks on raiejäätmete kasutamine. Võimalus puitu kütteks varuda tekib juba valgustusraiel, kuid veelgi suuremates kogustes saab seda teha harvendus- ja uuendusraiel. Nii näiteks andmed Lõuna-Soome metsade kohta näitavad (vt Tabel 3.1), et kogu raieringi jooksul võib koguda raiejäätmek 155 – 310 m³/ha.

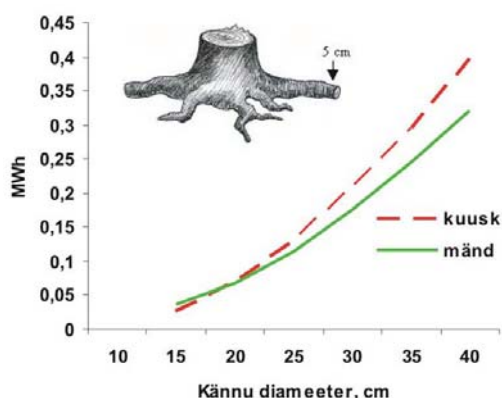
Kuigi olulise osa puu biomassist moodustavad ka juured ja kändud, pole nende kogumine liigse energiakulu seni olnud otstarbekas. Viimaste aastate uuringud Soomes on näidanud, et nad võivad siiski olla oluliseks täienduseks küttepuidu traditsioonilistele ressurrssidele. Andmed kändude kuivaine massi ja

kütteväärtuse kohta on esitatud joonisel (vt Joonis 3.2). Nendest lähtudes on hinnatud ühelt hektarilt saadavate kändude energiasisalduseks 140 – 160 MWh.



	Biomassi jaotus, %			
	Mänd		Kuusk	
Tüvi	100	69	100	59
Latv, oksad	23	16	45	27
Känd, juured	22	15	24	14
Kokku	145	100	169	100

Joonis 3.1. Puu biomassi jaotus [21]



Joonis 3.2. Kändude kuivaine mass ja kütteväärtus sõltuvalt kännu diameetrist [21]

3.1.2. Kütuste tootmise tehnoloogilised ja keskkonnakaitsepiirangud

Puitkütuste tootmisel on viimastel aastatel hakatud tähelepanu pöörama mineraalainete kaole, mis tekib biomassi välja viimisel metsast. Kuna mineraalainete jagunemine puidu eri osade vahel on erinev, saab tehnoloogia valikuga mõjutada mineraalainete kadu. Taani andmed selle kohta on esitatud tabelis (vt Tabel 3.2). Tabeli andmetest saab teha järelduse, et kui raiejäätmel enne hakkimist kuivatada ja anda sellega võimalus okaste ja lehtede pudenemiseks, väheneb mineraalainete kadu oluliselt.

Täiendavaks meetmeks mineraalainete kao kompenseerimisel on puidu põletamisel tekkiva tuhka metsa tagasi viimine. Puidu tuhk sisaldab vähesel määral raskemetalle (Cd 0 – 0,08 g/kg tuhka kohta, Pb 0,02 – 0,6 g/kg tuhka kohta) ja see ei võimalda puidu tuhka metsa viia suurtes kogustes [22]. Soovitatav on viia tuhk tagasi sinna, kust raiejäätmel koguti.

Tabel 3.1. Puidu saak okasmetsadest Soomes [21]

Raie liik	Puistu vanus	Saak, m ³ /ha	Raiejäätmel	
			m ³ /ha	toe/ha
Valgustusraie	10 – 20	–	15 – 50	3 – 9
1.harvendusraie	25 – 40	30 – 80	30 – 50	6 – 9
2.harvendusraie	40 – 60	50 – 90	20 – 40	4 – 8
3.harvendusraie	50 – 70	60 – 100	20 – 40	4 – 8
Uuendusraie	70 – 100	220 – 330	70 – 130	13 – 24
Kokku raieringi jooksul		360 – 600	155 – 310	30 – 58

Tabel 3.2. Mineraalainete kadu 70-aastase rotatsiooniperioodi jooksul erinevate tehnoloogiate korral [22]

	N	P	K	Mg	Ca
Mineraalainete kadu, kg/ha					
Tüvepuit	170	54	205	23	234
Hakkimine eelneva kuivatusega	214	58	213	26	259
Toore puidu hakkimine	252	61	230	30	294
Mineraalainete kao suurenemine, %					
Hakkimine eelneva kuivatusega	26	7	4	13	11
Toore puidu hakkimine	48	13	12	30	26

3.2. Puitkütuste tootmise tehnoloogiad ja seadmed

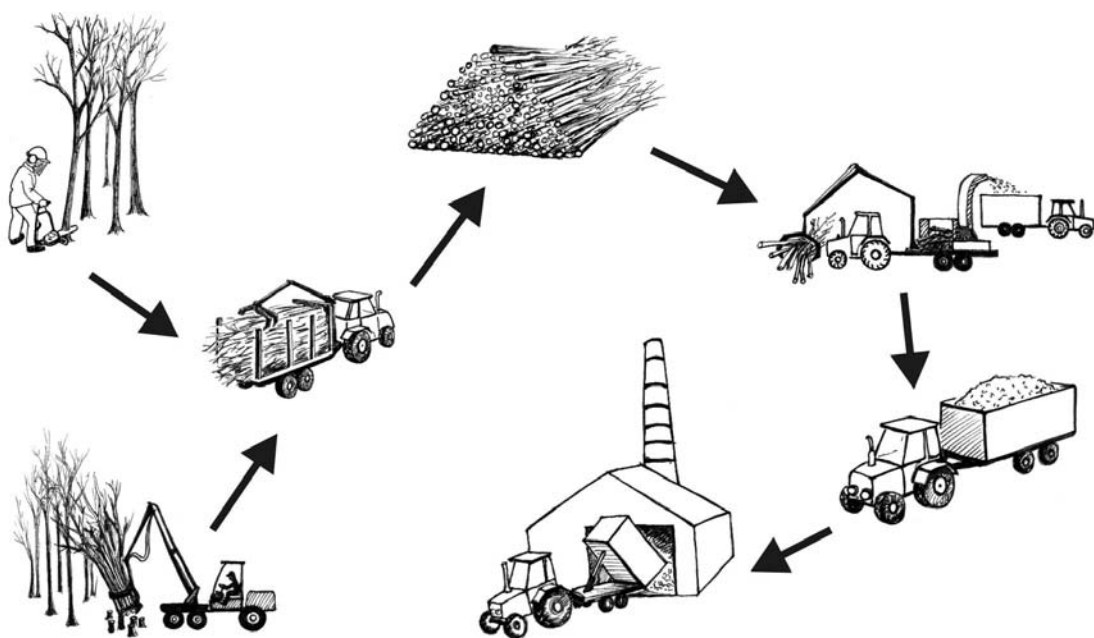
Traditsiooniline küttepuit (halupuud) leiab harva kasutamist suurtes katlamajades, eramajapidamistes on see jäänud aga üheks peamiseks kütuseliigiks. Halupuude tootmises viimastel aastakümnetel olulisi muutusi pole toimunud. Enamus küttepuude raiest talumetsades tehakse seniajani käsitsi mootorkettsaagidega, metsalangetusmasinaid (harvestere) on hakatud kasutama uuendusraiel, kui küttepuit raiutakse koos likviidse puiduga. Uuenduseks on viimastel aastatel olnud vaid see, et masinaid on rohkem hakatud kasutama küttepuu palkide järkamiseks, pakkude lõhkumiseks ja halgude laadimiseks. Selleks kasutatavaid seadmeid tutvustatakse järgmises osas (vt punkt 3.3).

Kiire areng on aga toimunud hakkpuidu tootmise tehnoloogiate väljaarendamisel. Tõuke selle valdkonna arendamiseks andis 1970-ndate aastate naftakriis, mis sundis importkütustest sõltuvaid tööstusriike üle vaatama oma taastuvate kütuste varud ja

välja arendama tehnoloogiad selliste kütuste tootmiseks. Seni kasutamata taastuva kütusena võeti kasutusele raiejäätmel, seda eriti Rootsis ja Soomes. Pikaajalise teadus- ja arendustegevuse tulemusel on nüüdseks hästi välja arendatud hakkpuidu tootmise tehnoloogiad nii tüvestest ja kui ka raiejäätmetest. Likviidse ja küttepuidu kogumine nn "puu seksioonidenä" edukaks ei osutunud.

3.2.1. Tüvestehake

Noore metsa valgustusraiel tekib suures koguses puitmaterjali, mis tööstuslikku kasutust ei leia, küll on aga kasutatav kütusena. Ka küpseva metsa harvendusraiel võib saadav likviidse puidu kogus olla nii väike, et otstarbekam on kogu raiutav materjal kasutada hakkpuidu tootmiseks. Sellistest laasimata peentüvedest toodetud hakkpuitu nimetatakse tüvestehakkeks ehk kogupuu hakkeks [23]. Tehnoloogia üldistatud skeem on esitatud joonisel (vt Joonis 3.3).



Joonis 3.3. Tüvestehakke tehnoloogia

Valgustusraiet talumetsades tehakse tavaliselt käsitsi, kas võsasae või mootorsaega. Suurtootmises on selle töö mehhaniseerimiseks ja tööviljakuse tõstmiseks hakatud kasutama harvesterile paigaldatavat akumul eerivat lõikepead (vt punkt 3.3.4), mis on ette nähtud lõigatavate peentüvede koondamiseks kimpudeks. Lõikeseadmeks on giljotiini põhimõttel töötav lõiketera. Harvendusraieks saab kasutada ka koormatraktorit, mille manipulaatori haarats on asendatud lõikepeaga (vt Joonis 3.4). See võimaldab ühe masinaga teha nii raie kui ka koondada lõigatud tüvesed.



Joonis 3.4. Tüveste lõikamine ja kogumine harvendusraiel, P.Muiste fotod

Tüveste koondamist võib teha käsitsi, kuid suuremate mahtude korral kasutatakse kokkuveoks forvarderit või mõnda muud metsaveotraktorit. Kogutud materjali võib hakkida toorelt (vt Joonis 3.5) või ladustada kuhjadesse (vt Joonis 3.6) ja hakkida siis, kui on tekkinud nõudlus hakkpuidu järele. Puidu säilitamine suurtes kuhjades kindlustab kütuse väiksema niiskuse-sisalduse ja sellega ka kõrgema kütteväärtuse. Kuivamisel okkad ja lehed varisevad ja seetõttu väheneb ka mineraalainete kadu metsast.



Joonis 3.5. Tüveste hakkimine, P.Muiste foto



Joonis 3.6. Ladustatud laasimata peentüved, P.Muiste foto

3.2.2. Hakkpuit raiejäätmetest

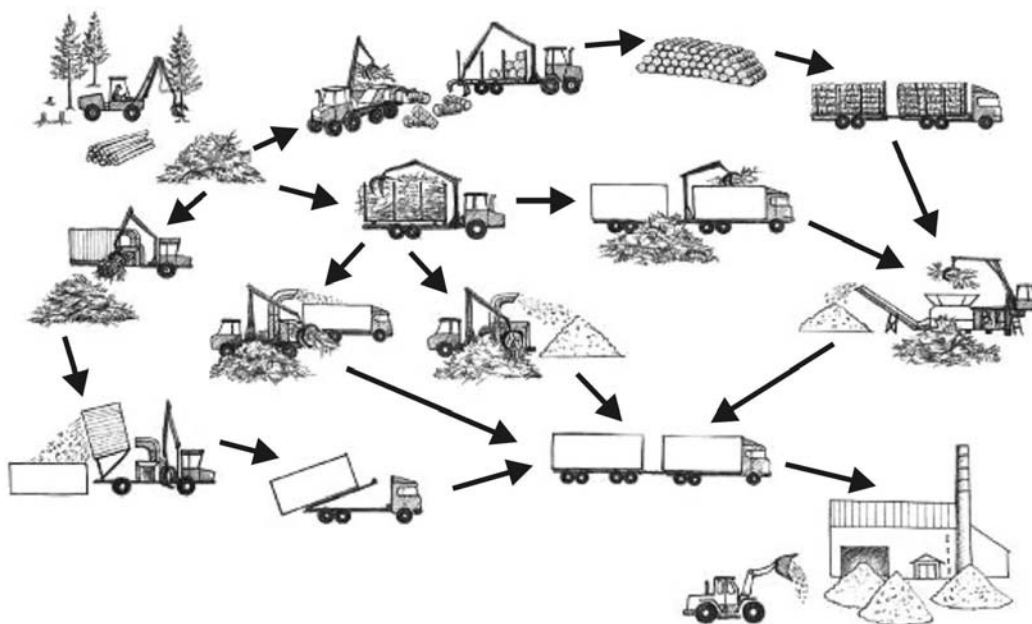
Võrreldes likviidse puidu ülestöötamisega peab raiejäätmete kogumisel arvestama järgmiste asjaoludega:

- raiejäätmed on väikese mahukaaluga ja nad on langil hajutatud, seetõttu nende kogumine ja töötlemine on töömahukas, kasutatavad seadmed kallid;
- väikese energiasisalduse tõttu on transport kallis ja majanduslikult tasuv veokaugus piiratud.

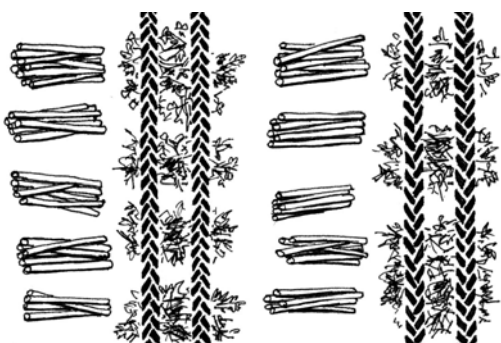
Nimetatud asjaolude tõttu tuleb kogu logistiline ahel hoolikalt planeerida, et vähendada tootmiskulusid. Eelkõige tuleb määrata sobiv koht ja viis raiejäätmete hakkimiseks. Tehnoloogiatest enamkasutatavad on järgmised (vt Joonis 3.7):

1. raiejäätmete hakkimine langil;
2. raiejäätmete hakkimine vahelaos;
3. raiejäätmete transport töötlemata kujul ja hakkimine lõpplaos;
4. raiejäätmete pallimine.

Kui soovitakse pärast uuendusraiet koguda ka raiejäätmed, siis peaks seda arvestama juba raietööde käigus [24]. Pehme pinnasega lankidel tuleks raietööd planeerida talveks, et vältida laasitud okste kasutamist oksapadjaks kokkuveoteedel kandvuse suurendamiseks (vt Joonis 3.8). Kui seda on siiski tehtud, siis selliselt langilt raiejäätmeid koguda pole otstarbekas, sest mulla ja kividega segunenud materjali peenestamiseks tuleks puiduhakkurite asemel kasutada puidupurusteid ja ka saadava kütuse kvaliteet ei vastaks nõuetele.

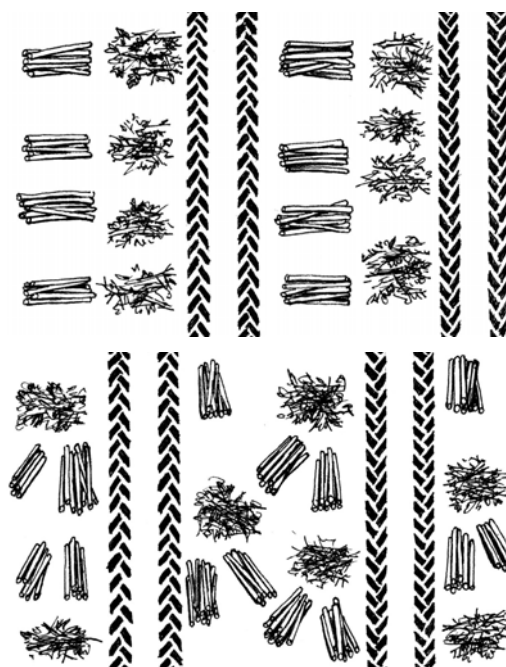


Joonis 3.7. Hakkpuidu tootmine raiejäätmetest



Joonis 3.8. Raiejäätmete kasutamine oksapadjaks kokkuveo teedel

Hea kandvusega pinnastel raiejäätmete kasutamine oksapadjaks pole vajalik ja siis on ka võimalik hakkpuitu toota. Raiejäätmete kogumine on hõlpsam, kui raiet viia läbi harvesteriga ja laasitud oksad ning ladvad paigutada kokkuveoteede kõrvale vaaludesse või hunnikutesse (vt Joonis 3.9).

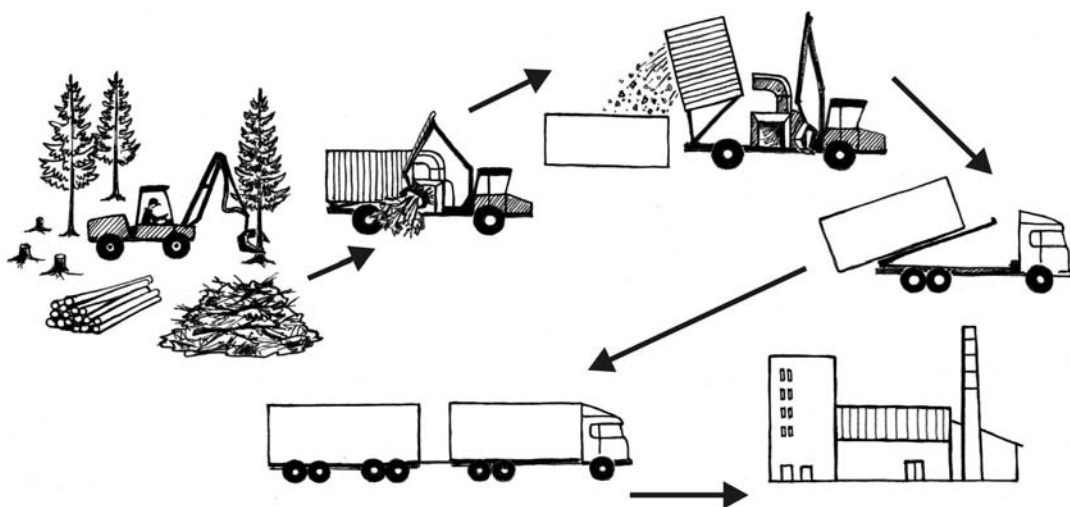


Joonis 3.9. Raietööde käigus on soovitatav laasitud oksad paigutada eraldi

3.2.2.1. Puidu hakkimine langil

Langil hakkimise meetodi korral kasutatakse raiejäätmete kogumiseks ja hakkimiseks mobiilset hakkurit (vt Joonis 3.10 ja Joonis 3.11). Hakkuri konteiner peab olema kõrgele tõstetav ja kallutatav, et teda oleks võimalik tühjendada veoki kasti (vt Joonis 3.12). Kui kasutada

konteinerveokeid (vt Joonis 3.13), saab hakkpuidu transporti korraldada sõltumatult selle kogumisest ja seega on võimalus vähendada veokijuhi ooteaega. Konteinerveokid on küll kallimad võrreldes tavaliste hakkpuidu veoks kohandatud veoautodega, kuid tööjõu kõrge hinna korral on nende kasutamine majanduslikult õigustatud.



Joonis 3.10. Raiejäätmete kogumine ja hakkimine langil mobiilse hakkuriga, transport konteinerveokiga



Joonis 3.11. Raiejäätmete kogumine ja hakkimine mobiilse hakkuriga Chipset 536C, P.Muiste foto



Joonis 3.12. Mobiilse hakkuri konteineri tühjendamine, P.Muiste foto



Joonis 3.13. Täidetud konteineri tõstmine veokile, P.Muiste foto

Langil hakkimise meetod oli väga levinud kuni 90-ndate aastate keskpaigani, kuid nüüd on see hakanud tähtsust kaotama, sest on tootlikkuselt ja efektiivsuselt alla jäämas vahelaos hakkimise ning pallimise meetoditele. Nii näiteks Rootsis on selle meetodi osatähtsus langenud 10 %-ni [25]. Raiejäätmete langil kogumiseks kasutatavad mobiilsed hakkurid on väga kallid masinad. Kuna nende tööajast suur osa kulub langil sõitmisele ja raiejäätmete kogumisele, siis seda tööd oleks odavam teha tavaliste metsaveo traktoritega (forvarderitega). Tootlikkuse tõstmiseks on mobiilsed hakkurid läinud suuremaks, kuid ühtlasi ka kohmakamateks ja raskemateks, seetõttu Eesti nõrga kandvusega pinnastel saaks neid kasutada vaid talvel. Langil hakkimise korral on tooraineks toored oksad ja ladvad ning seetõttu saadav hakkpuit on kõrge niiskusesisaldusega.

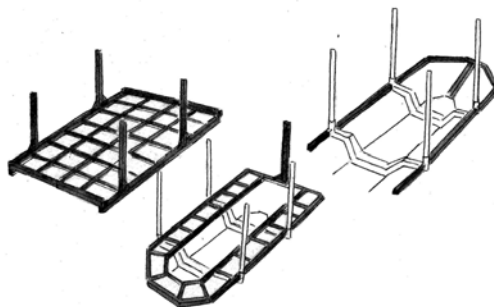
3.2.2.2. Puidu hakkimine vahelaos

Põhjamaades kõige levinumaks on vahelaos hakkimise meetod (vt Joonis 3.16), mille osatähtsus Rootsis ulatub 80 %-ni [25]. Seda võib pidada sobivaimaks ka Eesti tingimustes. Selle meetodi korral raiejäätmete koondamine toimub tavalise metsaveotractoriga, mille veokast kandevõime paremaks ära kasutamiseks on laiemaks ehitatud (vt

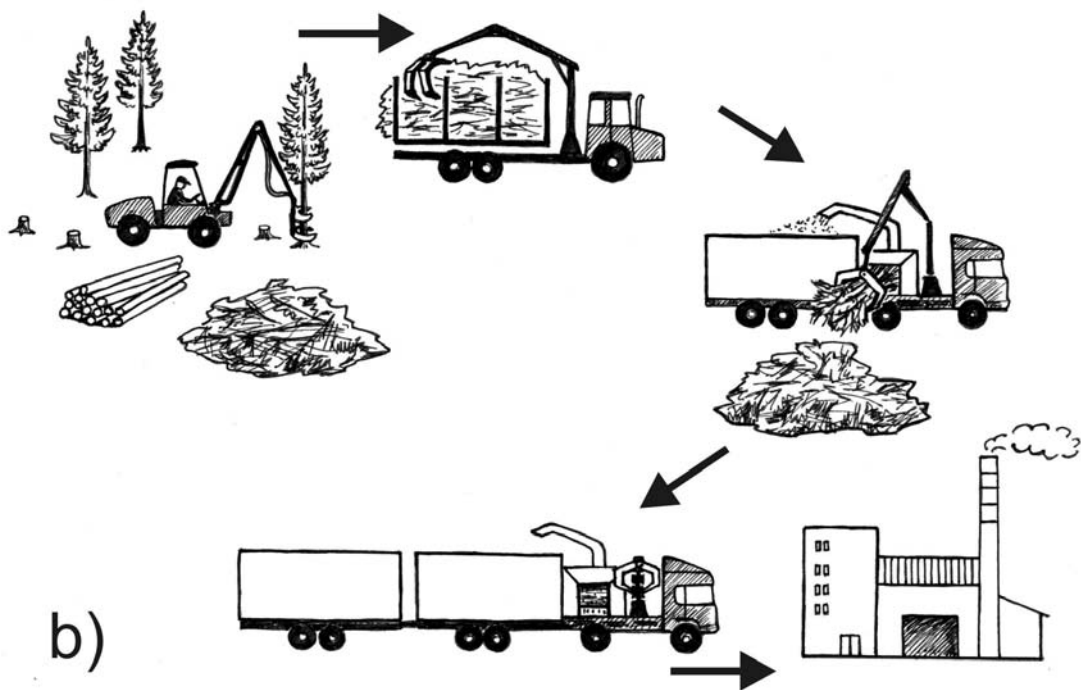
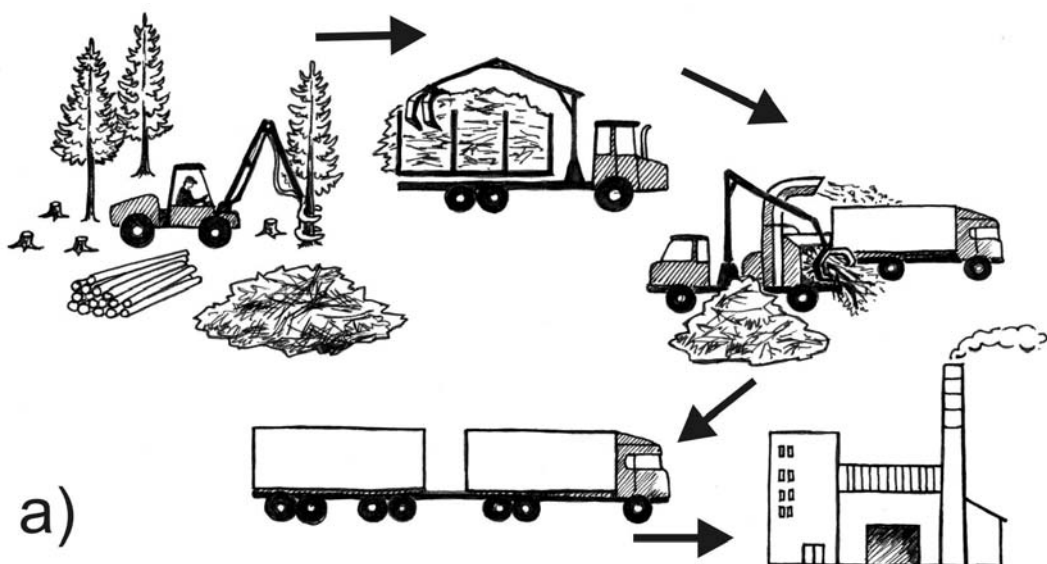
Joonis 3.14 ja Joonis 3.15). Tee äärde kõrgetesse kuhjadesse veekindla kattepaberi alla kuivama kogutud raiejäätmete hakkimine toimub järgmisel talvel mobiilse hakkuriga (vt Joonis 3.17, Joonis 3.18 ja Joonis 3.19) ja transport raiejäätmete veoks kohandatud eriveokiga (vt Joonis 3.20). Kui veokaugus vahelaost tarbijani on väike, võib osutuda otstarbekaks hakkuri paigaldamine hakkeveokile (vt Joonis 3.16b).



Joonis 3.14. Raiejäätmete kogumine langil, P.Muiste foto



Joonis 3.15. Võimalusi metsaveotractori kohandamiseks raiejäätmete veoks [26]



Joonis 3.16. Raiejäätmete hakkimine vahelaos

a) raiejäätmete koondamine forvarderiga, hakkimine vahelaos mobiilse hakkuriga ja transport eriveokiga;

b) raiejäätmete koondamine forvarderiga, hakkimine vahelaos ja transport hakkur-veokiga.



Joonis 3.17. Raiejäätmete ladustamine,
P.Muiste foto



Joonis 3.20. Hakkpuidu transport
konteinerveokiga, P.Muiste foto



Joonis 3.18. Veekindla paberi alla
ladustatud raiejäätmed,
P.Muiste foto



Joonis 3.19. Raiejäätmete hakkimine,
P.Muiste foto

3.2.2.3. Raiejäätmete hakkimine lõpplaos tarbija juures

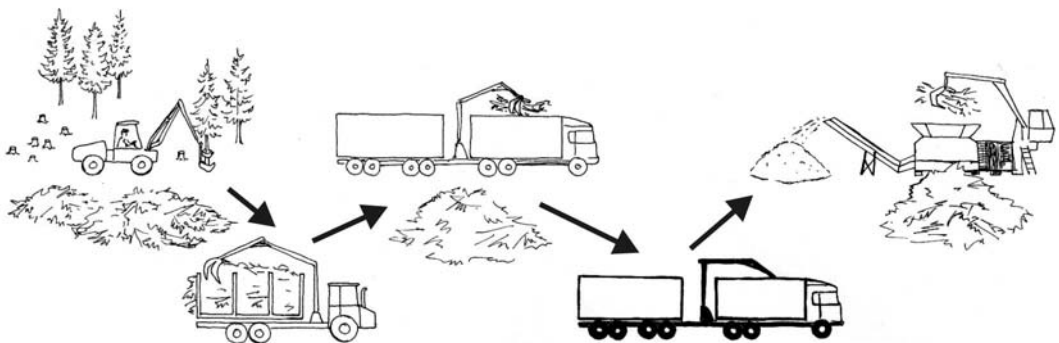
Raiejäätmete töötlemisel lõpplaos tarbija juures tekib võimalus kasutada statsionaarseid suure tootlikkusega elektriagamiga seadmeid, mis muudab hakkimise odavamaks. Suurtes terminalides on ka võimalik paremini kontrollida kütuse kvaliteeti ja sorteerida toodetud kütuseid fraktsioonidesse. Raiejäätmete transport lõpplattu võib toimuda kas töötlemata kujul (vt Joonis 3.21 [23]) või tihendatult pallideks (vt Joonis 3.22).

Esimese variandi korral raiejäätmete koondamine toimub metsaveo traktoriga ja maantee transport selleks kohandatud veokitega. Kuna raiejäätmete mahukaal on väike ei saa veokite kandevõimet täielikult ära kasutada. Koorma tihendamiseks on sellised veokid varustatud hüdrauliliselt liigutatavate käppadega, mis võimaldavad oksamassi kokku suruda. Kuna Põhjamaades on lubatud kasutada suuremaid veokeid (kogukaaluga kuni 60 tonni ja pikkusega kuni 24 meetrit), siis sageli on ka töötlemata raiejäätmete transport majanduslikult õigustatud. Siiski selle meetodi kasutamine on vähelevinud ja näiteks Rootsis on selle osatähtsus vähem kui 10 %. Eestis kehtivate normide alusel on veoki lubatavaks kogukaaluks 40 tonni ja pikkuseks 18,35 meetrit ning seetõttu töötlemata raiejäätmel üldjuhul transportida pole tasuv.

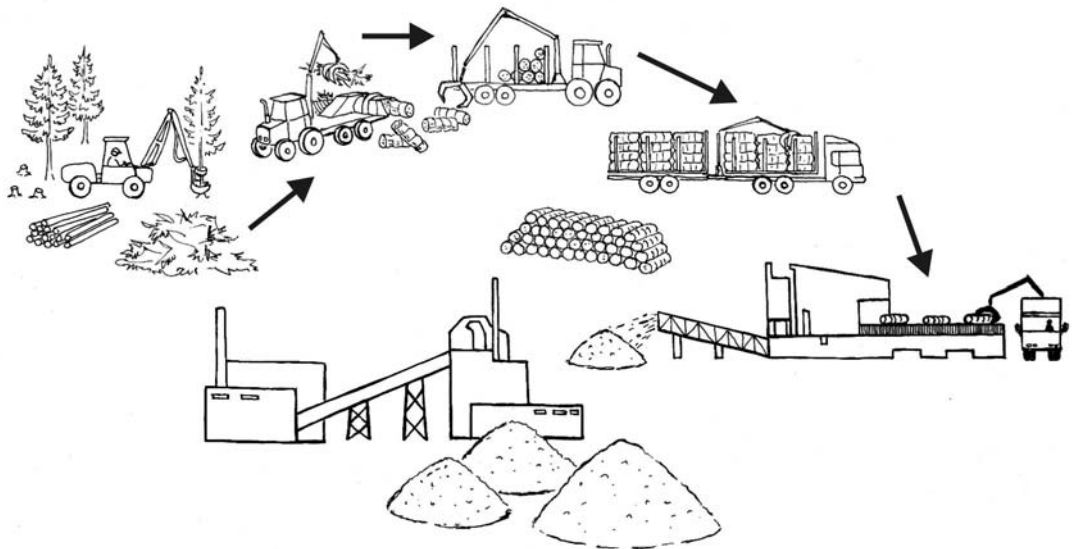
Uudseks tehnoloogiliseks lahenduseks raiejäätmete transpordikulude vähendamisel on nende kokkupressimine enne transporti (vt Joonis 3.22). Raiejäätmete pallija alusmasinaks on tavaliselt forvarder, et võimaldada pallida jäätmeid otse langil. Võrreldes teistega on sellel tehnoloogial rida eeliseid:

- oksapallide transpordiks saab kasutada olemasolevaid metsaveo-traktoreid ja -autosid;
- oksapalle on lihtne ladustada ja kuivatada ning nad on saavad aastaringelt;

- oksapallide ladustamisel lõpplaos tarbija juures vähendab kahjurite ja tulekahju ohtu;
- oksapallide hakkimiseks saab kasutada suure tootlikkusega statsionaarseid hakkureid;
- efektiivne logistika võimaldab suurendada varumispiirkonda kuni 200 km-ni (hakkpuidu korral on see näiteks Roots 60 – 75 km [25]).



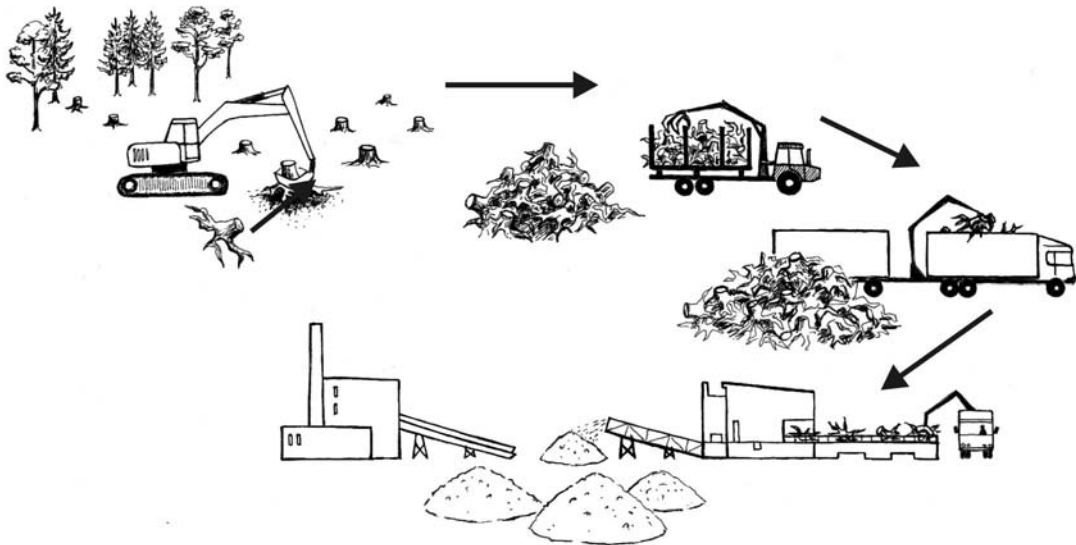
Joonis 3.21. Hakkpuidu transport konteinerveokiga



Joonis 3.22. Raiejäätmete pallimine, transport tavaliste forvarderite ja metsaveomasinatega, hakkimine lõpplaos

Seni kasutamata ressursiks on juured ja kändud, mille kasutamine võib muutuda majanduslikult tasuvaks kütuste hindade jätkuva tõusu korral. Kändude juurimiseks kasutakse ekskavaatoreid, kogumiseks forvardereid ja transpordiks maanteel kinnise kastiga veoautosid (vt Joonis 3.23 [21]). Toorme peenestamiseks tuleb

hakkurite asemel kasutada purusteid, sest lisandiks olevad kivid ja muld rikuvad hakkurite terasid. Lisandid tekitavad probleeme ka kütuse põletamisel, sest suureneb tuhasisaldus ja tekib kolde restide šlakiga kattumise ning ummistumise oht.

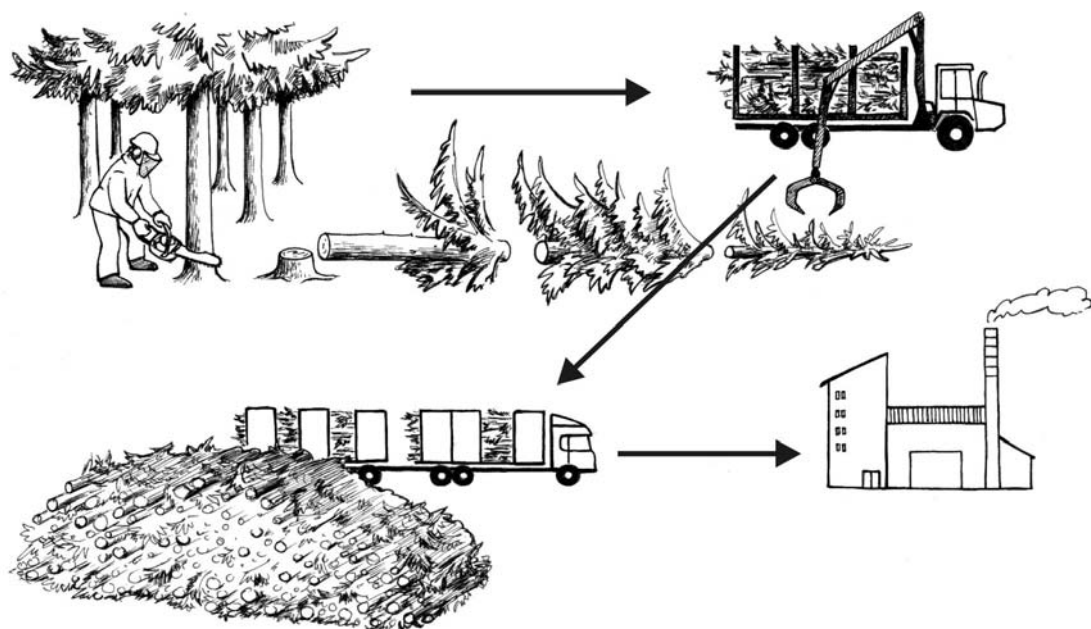


Joonis 3.23. Kändude juurimine, koondamine forvarderiga, transport eriveokiga ja purustamine lõpplaos

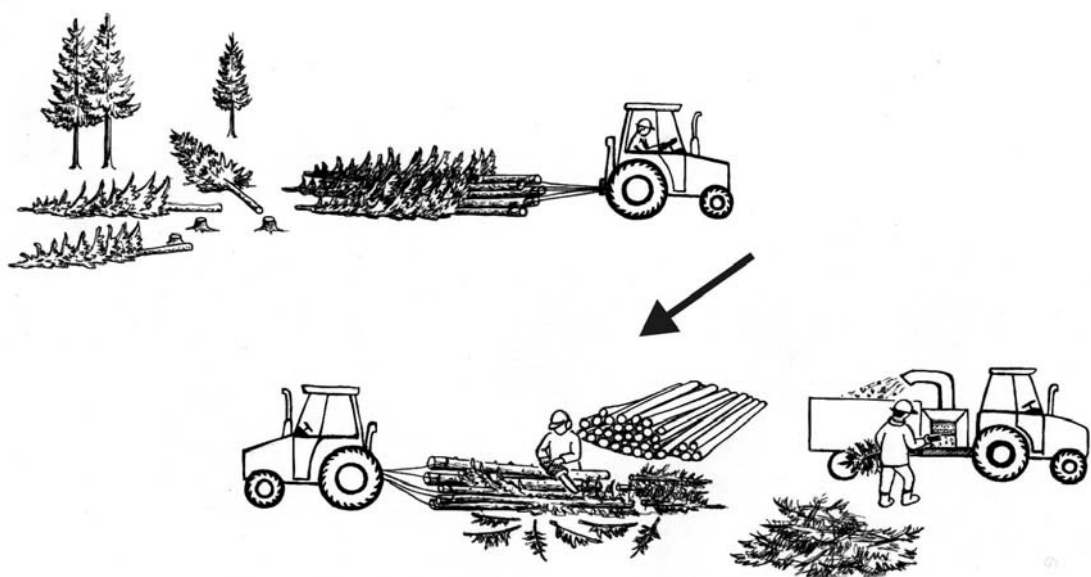
3.2.3. Puu sektsioonide ja kogupuu tehnoloogiad

1980-ndatel aastatel katsetati puu sektsioonide ja kogupuu tehnoloogiaid (vt Joonis 3.24 ja Joonis 3.25), mille eesmärgiks oli ühe tehnoloogilise võttega tuua metsast välja nii saepalk, paberipuu kui ka küttepuu [27]. Neist esimese korral järgati langetatud tüved mootorsaega või harvesteriga sobiva pikkusega sektsioonideks, teise korral aga jäeti järkamata. Erinevalt traditsioonilistest metsaraiest jäeti selliste tehnoloogiate korral langetatud puud laasimata ja nende lõplik töötlemine toimus vahe- või lõpplaos. Puidu koondamiseks metsas sai kasutada

tavalisi metsaveo traktoreid, transpordiks maanteel vajati aga erikonstruktsiooniga veokeid, mille veokast oli küljelt avatav. Tehnoloogia peamiseks eeliseks oli väiksemad kulud tooraine töötlemisel, sest lõpplaos sai seadmete ajamitena kasutada sisepõlemismootorite asemel odavamaid elektrimootoreid. Meetodi peamiseks puuduseks oli see, et lõpplaos töötlemisel oli keeruline tagada likviidsele puidule kehtivaid kvaliteedinõudeid. Eesti tingimustes oleks täiendavaks probleemiks veel veokitele kehtestatud massi ja pikkuse piirangud, mis tõstavad puu sektsioonide transpordikulusid ja keelavad pikkade tüvede transpordi.



Joonis 3.24. Puu seksioonide tehnoloogia



Joonis 3.25. Kogupuu tehnoloogia

3.3. Puitkütuse tootmise masinad ja seadmed

3.3.1. Puidu hakkurid ja purustid

Puidu hakkimine on tähtis operatsioon, millest sõltub kogu järgnev tehnoloogia ning see mõjutab oluliselt hakkpuidu hinna kujunemist. Toodetakse laias valik hakkureid, mis on loodud kasutamiseks erinevate jõuallikatega ja paigaldamiseks erinevatele masinatele.

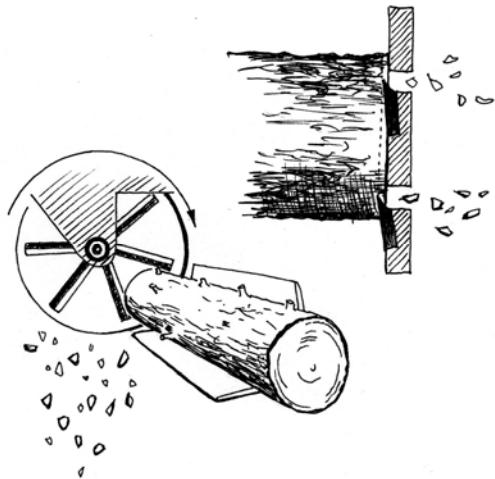
3.3.1.1. Tööpõhimõtted

Hakkpuidu tootmiseks kasutatakse kolme tüüpi hakkureid: ketas-, trummel- ja tighakkureid [28]. Lisandeid (muld, kivid, naelad jne.) sisaldava puidu purustamiseks kasutatakse haamerveskeid, rullpurusteid, lõugpurusteid jt. seadmeid, kuid need on valdavalt statsionaarsed seadmed ja kasutusel suurtootmises. Erinevalt hakkuritest on nende abil töödeldud materjal ebaühtlase suuruse ja kujuga.

Ketashakkur. Tööorganiks on massiivne ja hoolikalt tasakaalustatud terasketas (vt Joonis 3.26 ja Joonis 3.27), mille külgedele on radiaalselt kinnitatud 2 – 4 lõiketera. Reguleerides terade kaugust alasist saab muuta tüki suurust piirides 12 – 35 mm. Materjal antakse teradele ette väikese nurga all või, kui ketas on kallutatud, horisontaalselt. Hakke eemaldamine toimub ventilaatori ja eemaldamistoru abil. Puutüved söödetakse hakkurisse käsitsi või manipulaatori abil. Ketashakkuri eelisteks on lihtne ehitus, odavus ja väike energiakulu. Seetõttu on nad talumetsades kasutatavatest hakkuritest levinuimad. Kuna lõikenurk on stabiilne, siis toodetud hakkpuidu tüki suurus on ühtlasem, kui teiste hakkuri tüüpide korral. Puudusteks on tundlikkus võõrkehade suhtes ja suured gabariidid (väikese sissesöötmisava juures).

Trummelhakkur. Tööorganiks on pöörlev trummel, millele on kinnitatud lõiketerad (vt Joonis 3.28 ja Joonis 3.29). Materjali etteandmine toimub küljelt, tavaliselt toiterullikute või kettkonveieriga ning hake eemaldatakse ventilaatori ja eemaldamis-

toru abil. Samuti nagu ketashakkuril saab ka trummelhakkuril tüki suurus muuta terade ja alasi vahelise kauguse reguleerimisega.



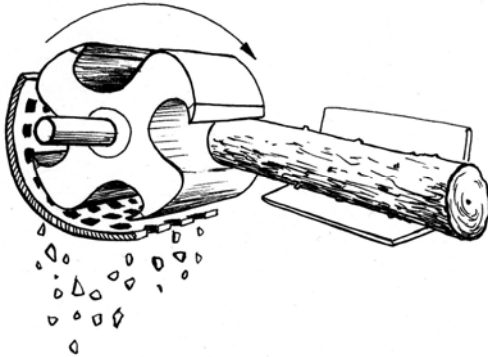
Joonis 3.26. Ketashakkur



Joonis 3.27. Ketashakkuri tööorgan, P.Muiste foto

Trummelhakkuri eeliseks on väikesed gabariidid suure sissesöötmisava korral. Puudusteks on tundlikkus võõrkehade

suhtes, komplitseeritud tootmine ja kõrge hind. Võrreldes ketashakkuriga on trummelhakkuri energiakulu 50 – 75 % suurem ja toodetud hakkpuit ebaühtlasema suurusega, sest lõikenurk sõltub lõigatava tüve diameetrist. Trummelhakkur sobib raiejäätmete peenestamiseks paremini kui ketashakkur.

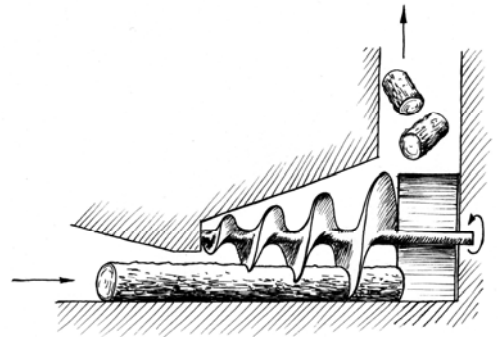


Joonis 3.28. Trummelhakkur



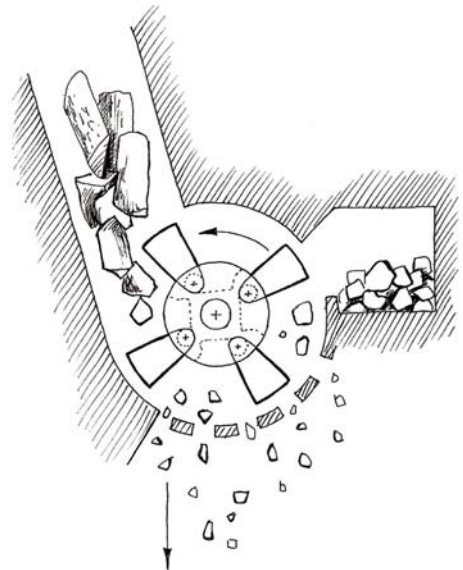
Joonis 3.29. Trummelhakkuri tööorgan, P.Muiste foto

Kruvi- ehk tighakkur. Tööorganiks on pöörlev tigukruvi (vt Joonis 3.30), mille servades on kõvasulamist lõiketerad. Samaaegselt lõikamisega tõmmatakse materjali edasi ja see eriti mugav käsitsi etteande korral. Tüki suurus sõltub tööorgani kujust. Kruvihakkuriga toodetud hakkpuit on ebaühtlasema suurusega ja üldjuhul jämedam, kui ketas- või trummelhakkuriga toodetu. Kruvihakkuri lõiketerade teritamine nõuab eriseadmeid.

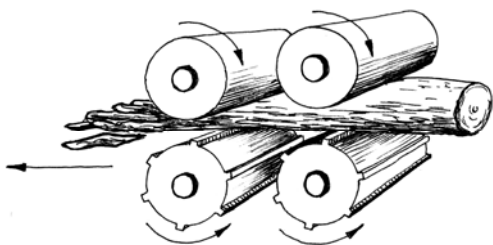


Joonis 3.30. Tighakkur

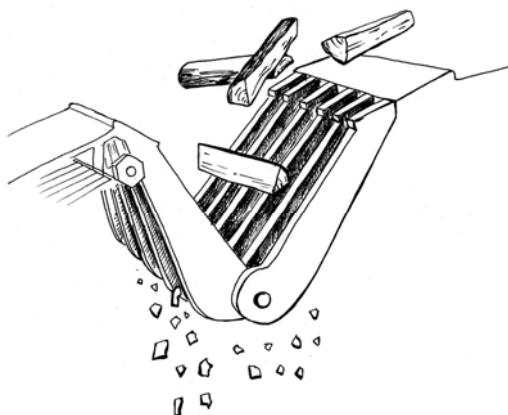
Puidu purustid. Kütteks on kasutatav ka ehitiste lammutuspuit, kuid lisandite tõttu (muld, kivid, metall, klaas) sellise puidu peenestamiseks tavalised hakkurid ei sobi. Sellise materjali peenestamiseks on kasutusel väga erineva tööpõhimõttega purusteid, neist levinuimad on haamerveskid, rull- ja lõugpurustid (vt Joonis 3.31). Erinevalt puiduhakkuritest annavad need seadmed ebaühtlase suuruse ja kujuga puidumassi. Seadmed on suure võimsusega ja kallid ning majanduslikult tasuvad vaid suurtootmises.



Joonis 3.31. Haamerveski



Joonis 3.32. Rullpurusti



Joonis 3.33. Lõugpurusti

3.3.1.2. Hakkurite ajamid

Sõltuvalt puiduhakkuri otstarbest ja võimsusest on võimalik kasutada erinevaid ajameid. Väikese võimsusega seadmed saavad tavaliselt ülekande traktori jõuvõtu võllilt, suuremate puhul kasutatakse hakkuri käivitamiseks eraldi mootorit ja sellise seadme võib paigaldada kas statsionaarselt või erinevatele alusmasinatele, milleks sobib näiteks forvarder või veoauto. Kõikidel masinatel, alates väikestest käsitsietteandega hakkuritest kuni kaasaegsete iseliikuvate puiduhakkuriteni, on oma kasutusvaldkond. Seadmete valikul tuleb lähtuda tooraine hulgast ja kvaliteedist, kasutatavast tehnoloogiast, kvaliteedinõuetest hakkpuidule, veosüsteemist, ümberkorralduste vajadusest jne.

Talumetsades kasutamiseks sobivad paremini käsitsi etteandega, lihtsama ehitusega ja põllumajandustraktori jõuvõtuvõllilt käitatavad seadmed (vt Joonis 3.34).

Suurtootmises võib olla majanduslikult otstarbekas kasutada ka mobiilseid hakkpuidu kogujaid. Tavaliselt kasutatakse alusmasinaks pruugitud forvarderit, millele paigaldatakse sobiva võimsusega hakkur, näiteks *Bruks 604CT* või *Bruks 804CT* (vt Joonis 3.35). Kallimaks lahenduseks on spetsiaalse konstruktsiooniga mobiilsed hakkpuidu kogujaid (vt Joonis 3.36, Joonis 3.37 ja Joonis 3.38).



Joonis 3.34. Põllumajandustraktori jõuvõtuvõllilt käitav ketashakkur Junkkari HJ 10 [29]

Tehnilised näitajad: tootlikkus 4 – 10 m³ haket tunnis, võimsustarve 25 – 80 kW, hakitava puu diameeter kuni 30 cm, tüki suurus 10 – 30 mm

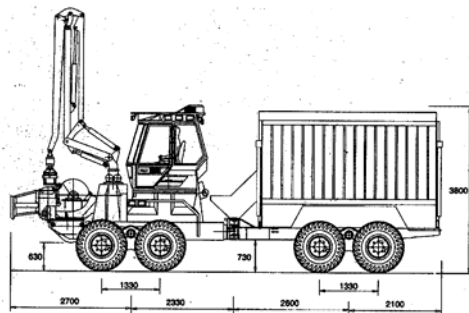


Joonis 3.35. Mobiilne hakkpuidu koguja,
P.Muiste foto



Joonis 3.36. Mobiilne hakkpuidu koguja
Silvatec 878 CH [30], P.Muiste foto

Agregaadi võimsus 205 kW, ketta läbimõõt 1200 mm, laadimisava 350 —350 mm, konteineri maht 16 m³, manipulaatori haardeulatus 6 m.



Joonis 3.37. Mobiilne hakkpuidu koguja
Chipset 536 C [31]

Agregaadi võimsus 223 kW, tüve maksimaalne läbimõõt 350 mm, konteineri maht 15 m³, tootlikkus 60 m³/h, manipulaatori haardeulatus 8,3 m



Joonis 3.38. Mobiilne hakkpuidu koguja
Erjofanten 7/65, P.Muiste foto

Raiejäätmete hakkamiseks vahelaos langi servas või tee ääres saab mobiilsete hakkurite alusmasinaks edukalt kasutada ka pruugitud teraviljakombaine (vt Joonis 3.39), ekskavaatoreid (vt Joonis 3.40) või veoautosid (vt Joonis 3.41). Viimaste erivariandiks on raiejäätmete veoks kohandatud konteinerveok, mille on paigaldatud ka hakkur (vt Joonis 3.42).



Joonis 3.39. Kombain alusmasinana [32]

Agregaadi võimsus 185 – 370 kW, trumli läbimõõt 600 mm, laadimisava 690 x 350 mm, tootlikkus 50 – 80 m³/h, manipulaatori haardeulatus 7,5 m.



Joonis 3.41. Veoautole paigaldatud hakkur Giant [33]

Agregaadi võimsus 403 kW, trumli läbimõõt 900 mm, laadimisava laius 1400 mm, tootlikkus 120 – 200 m³/h, manipulaatori haardeulatus 10 m.



Joonis 3.40. Ekskavaator hakkuri alusmasinana, P.Muiste foto

Kõige võimsamad on aga treileritele paigaldatud hakkurid, mille tootlikkus võib olla kuni 300 m³ haket tunnis (vt Joonis 3.43).



Joonis 3.42. Hakkuriga konteinerveok Moha [33]



Joonis 3.43. Treilerile paigaldatud ketashakkur Morbark 30 [33]

Agregaadi võimsus 600 kW, tüve maksimaalne läbimõõt 760 mm, ketta läbimõõt 2100 mm, 3 lõiketera.

3.3.2. Raiejäätmete pallija

Raiejäätmete pakkimise seadmete väljatöötamisega alustati Rootsis ja selle töö üheks tulemuseks oli Fiberpac 370 (vt Joonis 3.44). Rootsis selliste masinate järgi nõudlust ei tekkinud, küll aga Soomes, kus hakkpuidu kasutus oli kasvamas. Seetõttu õigused tehnoloogiale ostis ära Timberjack ja arendustöö tulemusel on seeria- tootmisse jõudnud raiejäätmete pallija edasiarendatud variant Timberjack 1490D (vt Joonis 3.45). Huvi raiejäätmete pallimise vastu on tekkinud ka teistel tootjatel, kes on aga rohkem tähelepanu pööranud teisaldatavatele seadmetele. Nii näiteks, Pinox 330 [34] ja Valmet WoodPac (vt Joonis 3.46) on lihtsalt paigaldatavad tavalise forvarderi raamile ja see võimaldab sama alusmasinat kasutada nii puidu koondamiseks kui ka raiejäätmete pallimiseks. Masinate tootlikkus on 10 – 30 oksapalli tunnis.



Joonis 3.44. Fiberpack 370 näitusel Elmia Wood 2001, P.Muiste foto



Joonis 3.45. Timberjack 1490D [35]



Joonis 3.46 Valmet WoodPac [36]



Joonis 3.47. Pakitud raiejäätmed, P.Muiste foto

Palli kaal on 400 – 600 kg, pikkus 3,1 – 3,2 m, läbimõõt 700 – 800 mm ning energiasalduseks umbes 1 MWh.



Joonis 3.48. Pakitud raiejäätmete transportiks saab kasutada ka tavalist metsaveo haagist, P.Muiste foto

3.3.3. Halupuude lõhkumise seadmed

Põhiliseks küttematerjaliks maakodude ahjudes, kaminates ja pliidi all jäävad puuhalud. Puude lõhkumine võib olla küll meeldivaks ajaviiteks ja kehaliseks koormuseks, kuid suuremate koguste talveks varumine on siiski raske füüsiline töö. Inimene püüab võimaluse korral oma tööd kergemaks teha ja selleks on välja mõeldud mitmesuguseid halupuude lõhkumise masinaid.

Kõige lihtsama konstruktsiooni ja madalama hinnaga on kiilkoonusega puulõhkurid. Puulõhkur kinnitatakse kolmepunktiliselt traktori rippmehhanismi külge ja käitatakse traktori jõuvõtuvõllilt kardaanvõlli kaudu (vt Joonis 3.49). Lõhestatava puu pikkus võib olla kuni 0,7 meetrit ja tootlikkus kirjanduse andmetel keskmiselt 2 m³ tunnis. Ajamiks võib olla ka elektrimootor.



Joonis 3.49. Kiilkoonusega puulõhkuja kombineerituna koorijaga [37]

Sageli on puulõhkur kombineeritud ketas- või kettsaega (vt Joonis 3.50). Seega selline seade võimaldab halupuud metsas valmis teha.



Joonis 3.50. Halumasin Hakki Pilke Eagle kiilkoonuse ja ketassaega [38]

Sama tootlikkusega, kuid mugavamad kasutada on hüdraulilise ajamiga puulõhkurid (vt Joonis 3.51). Võrreldes kiilkoonusega puulõhkuritega on nende hind kõrgem.



Joonis 3.51. Hüdraulilise ajamiga puulõhkurid [39]

Toodetakse ka halumasinaid, mis on ette nähtud küttepuude üheaegseks tükeldamiseks, lõhkumiseks ja pealaadimiseks traktorikärule (Joonis 3.52). Masin kinnitatakse traktori rippmehhanismi külge ja käitatakse traktori jõuvõtuvõlli. Ülekanne peab olema varustatud kaitseiduriga. Arvestades suurt tootlikkust ja kõrget hinda ei otstarbekas sellist masinat osta ühe talu vajaduste rahuldamiseks. Kiiresti tasub ta end ära aga küttepuude müügiks ettevalmistamisel.

3.3.4. Akumuleeriv lõikepea

Noore metsa valgustusraiel tekib suures koguses puitmaterjali, mis tööstuslikku kasutust ei leia, küll on aga kasutatav kütusena. Selle töö mehhaniseerimiseks on harvesteri jaoks välja töötatud akumuleerivad lõikepead ehk kogumispead (vt Joonis 3.53), mis on ette nähtud lõigatavate peentüvede koondamiseks



kimpudeks. Sellise seadmega saab ühe operatsiooniga automaatselt lõigata ja koguda kuni 10 peentüve, mis oluliselt tõstab tööviljakust valgustusraiel. Lõikeseadmena sellisel lõikepeal on kettsae asemel kasutusel giljotiini põhimõttel töötav lõiketera.



Joonis 3.52. Kombineeritud halumasin Japa 2000 [40]

Tükeldamiseks hüdrauliline kettsaag ja hüdrauliline kiil, puu maksimaalne läbimõõt 300 mm, paku maksimaalne pikkus 600 mm, võimsusvajadus 7,5 kW, tootlikkus 7-14 m³/h.



Joonis 3.53. Akumuleerivad lõikepead Timberjack 720 ja Timberjack 730 [35]

3.4. Puitkütuste kvaliteeti mõjutavad tegurid

Ladustamise tingimused mõjutavad puitkütuste kvaliteeti olulisel määral. Rootsi andmed [26] hakkpuidu ja

raiejäätmete kohta on esitatud järgnevates tabelites (vt Tabel 3.3 ja Tabel 3.4).

Esitatud andmed näitavad, et puitkütuste pikaajalisel säilitamisel tuleks eelistada suuri kuhjasid, seda nii raiejäätmete kui ka hakkpuidu korral.

Tabel 3.3. Hakkpuidu kvaliteedi muutus säilitamisel [26]

Säilitamise meetod	Biomassi kadu, %	Kütteväärtuse muutus, %
Väikestes (<60 m ³) kaetud kuhjades maist novembrini	- 18	- 7
Väikestes (<60 m ³) katmata kuhjades maist novembrini	- 20	- 18
Väikestes (<60 m ³) katmata kuhjades maist jaanuarini	- 23	- 23
Suurtes (>6000 m ³) kaetud ja tihendatud kuhjades juunist jaanuarini	- 10	- 5
Suurtes (>6000 m ³) katmata ja tihendatud kuhjades juunist jaanuarini	- 12	- 12
Suurtes (>6000 m ³) kaetud ja tihendamata kuhjades juunist jaanuarini	- 7	- 1
Suurtes (>6000 m ³) katmata ja tihendamata kuhjades juunist jaanuarini	- 8	- 4

Tabel 3.4. Raiejäätmete kvaliteedi muutus säilitamisel [26]

Säilitamise meetod	Biomassi kadu, %	Kütteväärtuse muutus, %
Väikestes kuhjades langil kuni augustini	- 10	0
Väikestes kuhjades langil kuni oktoobrini	- 25	- 23
Suurtes 4 m kõrgustes katmata kuhjades maist septembrini	- 1	+ 4
Suurtes 4 m kõrgustes kaetud kuhjades märtsist detsembrini	- 2	+ 4 ... +10

3.5. Väärindatud kütuste tootmine

3.5.1. Üldist

Puit on rakulise ehitusega ja seetõttu töötlemata puitkütuste energiasisaldus mahuühiku kohta pole eriti kõrge. Kõrge kütteväärtusega homogeensete puitkütuste saamiseks kasutatakse pressimist, mille käigus kõrge rõhu ja kuumuse tõttu puidus olevad õõnsused surutakse kokku. Saadava puitkütuse tihedus võib ulatuda kuni 1300 kg/m^3 , mis ei jää palju maha puidu puitaine tihedusest (kirjanduse andmetel [41] keskmiselt 1500 kg/m^3). Pressimise käigus toimuvad järgmised protsessid:

- pressitavale materjalile rakendatakse pressi poolt suurt survet;
- temperatuur tõuseb pressitava materjali osakeste omavahelisest hõõrdumisest kui ka hõõrdumisest pressi ja pressitava materjali vahel;
- tekkinud kõrge temperatuuri ja surve tagajärjel puidu rakuline struktuur puruneb;
- kuumuse tõttu puidus olev ligniin pehmeneb ja liimib kokku pressitavad puidu osakesed.

Kuna pressimise käigus keemilisi protsesse ei toimu, siis pressimise tulemusel saadava kütuse kütteväärtus kaaluühiku kohta ei suurene, suureneb vaid kütteväärtus mahuühiku kohta. Pressitud puitkütuste eelistest töötlemata puitkütustega võrreldes võib märkida järgmisi:

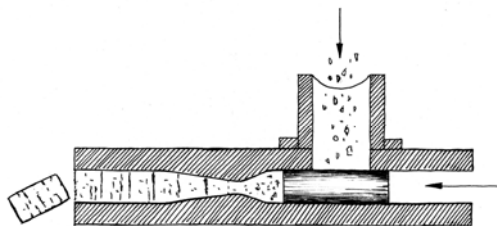
- pressitud puitkütuste väikese niiskusesisalduse ja kõrge kütteväärtuse tõttu saab neid transportida ja ladustada odavamalt, kui töötlemata puitkütuseid;
- kuiv kütus ei hakka seente ja mikroorganismide mõjul bioloogiliselt lagunema, seega saab teda säilitada pikka aega;

- pressitud kütuste ühtlane niiskusesisaldus ja tüki suurus võimaldab täpsemini reguleerida põlemisrežiimi koldes, kindlustades sellega kõrgema kasuteguri.

Pressitud puitkütuste puuduseks on kõrgem hind võrreldes töötlemata kütustega. Pressitud puitkütuseid toodetakse briketina (tüki läbimõõt 30 – 100 mm) ja pelletina ehk graanulina (tüki läbimõõt 6 – 12 mm). Neist esimene on sobilik kasutamiseks eelkõige ahjudes ja kaminates, teine aga automatiseeritud põletusseadmetes.

3.5.2. Briketid

Puitbrikettide tootmiseks kasutatakse kolb- ja kruvipresse (vt Joonis 3.54 ja Joonis 3.55 [28]) ja tooraineks saepuru või hõõvliilaaste. Enne pressimist materjal täiendavalt peenestatakse ja kuivatatakse (niiskusesisaldus ei tohi ületada 12 – 14 %).

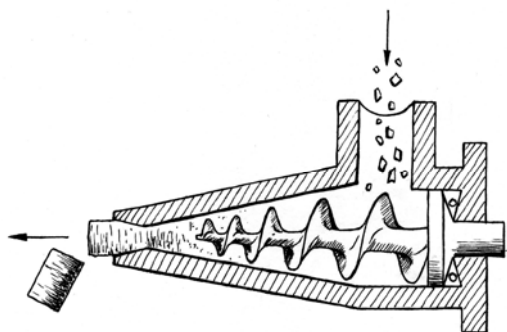


Joonis 3.54. Kolbpress

Kolbpress töötab tsükliliselt – kolvi iga töökäiguga surutakse teatud kogus materjali läbi koonilise hülsi ja saadaval briketil on need kihid selgelt eristatavad. Pressi ajamis kasutatakse alati hooratast, mis võimaldab mootori koormust ühtlustada. Kolbpressi töötamisel kolvi kulumine on väike, sest suhteline liikumine pressitava materjali ja kolvi vahel on väike. Kiiresti kulub aga hüls. Kolbpressid on suhteliselt odavad ja seetõttu laialt levinud.

Võrreldes kolbpressiga on kruvipress (vt Joonis 3.55) kergem, sest puuduvad massiivsed kolvid ja hoorattad. Toodang väljub pidevalt ja seda saab lõigata

sobivasse pikkusesse [42]. Tihedus on kruvipressiga toodetud briketil suurem kui kolbpressiga toodetul. Kruvipressid teevad vähe müra, sest puuduvad löökoormused. Nende puudustena võib märkida suuremat energiakulu ja kruvi kiiret kulumist. Et vähendada energiakulu pressimisel, võib kasutada hülsi kuumutamist. Sel juhul saadakse söestunud välispinnaga brikk, mida on kergem süüdata. Söestunud välispind takistab ka niiskuse imendumist.



Joonis 3.55. Kruvipress

3.5.3. Pelletid

Pelletite tootmisel kõige laialdasemalt on kasutusel silindrilised matriitspressid (vt Joonis 3.56), märksa vähem kasutatakse tasapinnalisi (vt Joonis 3.57). Pressimise käigus puitmaterjal kuumeneb, ligniin pehmeneb ning surutakse rullikute surve all matriitsi koonilistest avadest välja (vt Joonis 3.58).

Pelletite tootmine koosneb neljast etapist:

1. Tooraine kuivatamine.

Pelletite tootmise tooraine niiskusesisaldus sõltub hoiutingimustest. Kuna tavaliselt toimub säilitamine väljas, siis enne pressimist on vaja viia tooraine niiskusesisaldus nõutavale tasemele (12 – 17 %). Liiga kuiv materjal võib pressimise käigus söestuda, liiga niiske korral ei kleepu puiduosakesed kokku.

2. Tooraine peenestamine.

Pelletite tootmise tooraine (saepuru ja hõõvliilaastud) on ebaühtlase tüki

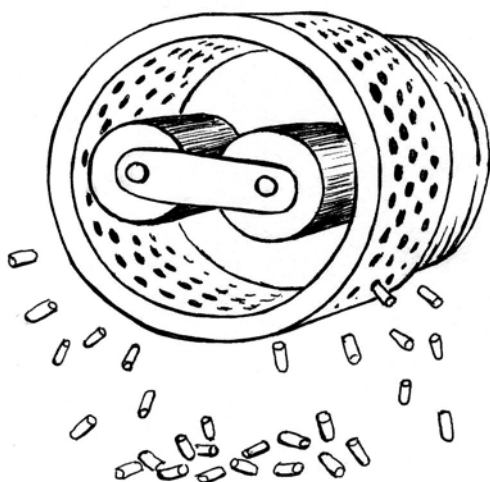
suurusega. Enne pressimist on vaja tooraine homogeniseerida ja selleks kasutatakse tavaliselt vasarveskit.

3. Pelletite pressimine.

Pelletite pressimine matriitspressidega.

4. Jahutamine.

Pressist väljuvad pelletid on kuumad ja isesüttimise vältimiseks tuleb nad enne ladustamist vahepunktis maha jahutada.



Joonis 3.56. Silindriline matriitspress

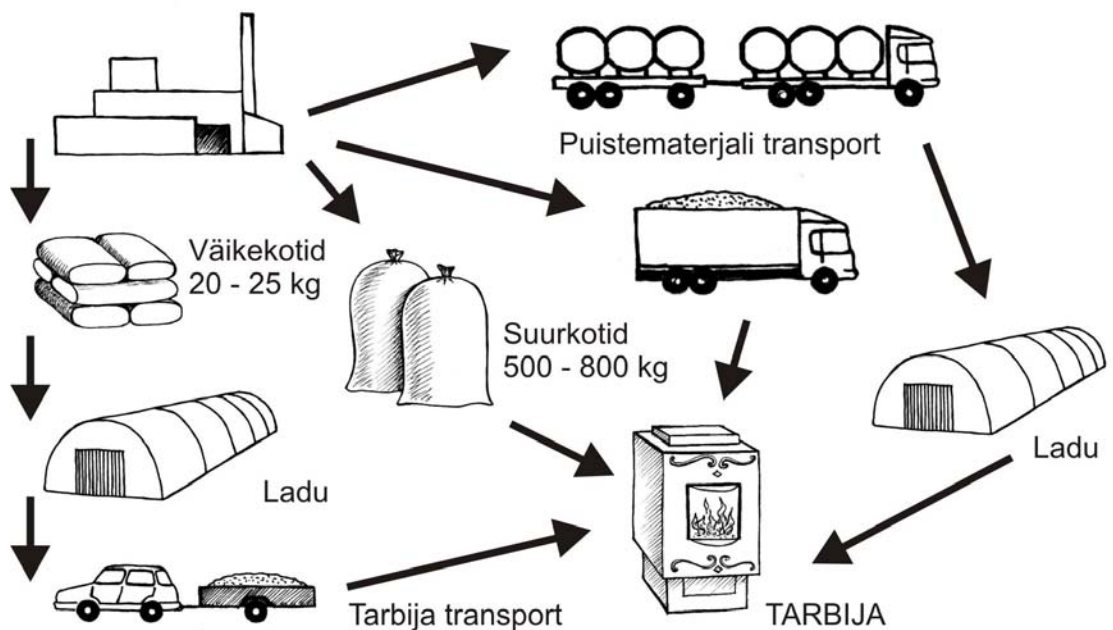


Joonis 3.57. Tasapinnaline matriitspress



Pelletite head omadused puistematerjalina annavad võimaluse paindliku jaotussüsteemi kujundamiseks (vt. Joonis 3.59), mis kindlustab efektiivse logistika nii suur- kui ka väiketarbijate jaoks. Kuna pelletid sobivad kasutamiseks ka katlamajade automatiseeritud etteande süsteemides ja põletites, on nad täiesti konkurentsivõimeliseks alternatiiviks kütteõlile.

Joonis 3.58. Silindrilise matriitspressi matriits, P.Muiste foto



Joonis 3.59. Pelletite varustamise skeem

3.6. Õlgede varumine kütuseks

Õled on teraviljakasvatusest saadav produkt, mis leiab osalist kasutamist põllumajanduses, kuid on rakendatav ka katlakütusena.

Kombainiga vilja koristamise järel jäävad õled põllule, kust need tuleks siis võimalikult kiiresti koristada. Üheks võimaluseks on teraviljakombainist jäänud õlevaalude koristamine ja peenestamine ning peenestatult hoidlasse transportimine (vt Joonis 3.60). Kuna peenestatud õlgede mahukaal on väga madal, sobib selline õlgede koristustehnoloogia ainult väikeste transpordikauguste puhul.



Joonis 3.60. Õlgede peenestamine ja peenestatult hoidlasse transportimine [43]

Teraviljakasvatuses on valdavaks muutunud õlgede pressimine erineva suurusega pallideks, mille tihedus ulatub sõltuvalt pressimistehnoloogiast ja pallide mõõtmetest 110 – 165 kg/m³ [43]. Põhupallide koristamiseks põllult kasutatakse põllumajanduses laialt kasutatavaid tõstukeid, traktori järelkärusid ja muid sobivaid seadmeid [43].



Joonis 3.61. Vaaludest põhu kogumine ja pressimine suurteks umbes 500 kg raskusteks pallideks [43]



Joonis 3.62. Põhupallide laadimine traktorile monteeritud frontaaltõstukiga [43]



Joonis 3.63. Põhupallide kinnitamine rihmadega, mis on vajalik koorma püsimiseks transpordi ajal [43]

Õlgede varumise toimub teravilja lühikesel koristusperioodil (tavaliselt augustis). Et kasutada õlgesid kütteks kogu kütteperioodi vältel põhikütusena, on vajalikud suured hoidlad. Õlgede kvaliteedi säilimiseks (st isekuumenemise ja mädanemise vältimiseks) tuleb õled koristada ja hoidlasse paigutada kuni 25 % niiskuse juures (vt punkt 2.3). Kui hoidlasse toodud õlgede niiskus on kõrgem, tuleb neid kuivatada.

Kuivatamiseks piisab tavaliselt külma õhu puhumisest läbi õlgede, milleks peaksid hoidla põrandas olema õhukanalid, kuhu õhk ventilaatoritega suunatakse. Sellist tehnoloogilist võtet on kasutatud ka loomasöödaks varutud heina kuivatamiseks säilitamiseks sobiva niiskuseeni. Selliseid heinaküüne oleks võimalik ka õlgede jaoks edukalt kasutada, kuid näiteks Eestis on need viimase 15 aasta jooksul kasutuseta, enamasti lagunenenud või lammutatud.

3.7. Turbakütuste tootmine

Enne turbatootmise alustamist tuleb turbasoo või raba selleks ette valmistada. Esimesel etapil eemaldatakse taimestik, pind tasandatakse ja püütakse välja juurida kännud (vt Joonis 3.64). Kui kännud on sügaval ja jäävad raba pinnasesse, võivad nad tugevasti segada turbatootmis- masinate tööd.



Joonis 3.64. Taimestiku eemaldamine ja raba pinna tasandamine seadmega RT-6.0H Soome firmalt SUOKONE OY

Looduslikus olukorras on turbakiht pinnaseveest läbi imunud ja turba niiskus ulatub üle 90 %. Enne turba kaevandamist tuleb pinnasevee taset alandada. Selleks luuakse turbaväljale kuivenduskraavide võrk. Turbapinnas võimaldab kraavide rajamist pressimise teel (vt Joonis 3.65). Kuivenduskraavide abil eemaldatakse pinnase- ja sadevesi, mis sisaldab orgaanilisi lisandeid, tahkeid osakesi, samuti rauda, fosfori- ja lämmastikuühendeid, mille tõttu vee kvaliteeti enne looduslikku veekogusse juhtimist tuleb kontrollida ja vajadusel vett filtreerida ning puhastada [44], [45].

Üldreeglina kehtestatakse turbatootmisele keskkonnakaitselisi nõudeid ja piiranguid, mis riigiti ja piirkonniti võivad olla väga erinevad.

Balti mere äärses riikides toodetakse turvast turbavälja pinnalt, mille käigus esmalt kasutatakse ära madalama lagunemisastmega turvas ja seejärel jõutakse kõrgema lagunemisastmega turbakihtideni, millest toodetakse põhiliselt kütturevast.



Joonis 3.65. Kuivenduskraavide pressimine raba pinnasesse seadmega OJ-1.3K Soome firmalt SUOKONE OY

Võimalik on ka turba kaevandamine korraga kogu turbalasundi sügavuselt. Sellist turbatootmisviisi rakendatakse lirimaal, kuid selle rakendamise katsed näiteks Eestis osutusid ebaõnnestunuks ja teadaolevalt pole Balti mere äärses maades mujal sellist tehnoloogiat katsetatud.

Turba tootmist mõjutab tugevasti ilmastik. Vihmasel suvel võib turbatoodang jääda kuiva suvega võrreldes kuni mitmekordselt väiksemaks.

Ajalooliselt on tükkturba tootmiseks rakendatud suuri kuivatiga turbapresse, kuid käesoleval ajal on levinud põhiliselt selline tehnoloogia, mille korral raba pinnasest freesitakse turbamass ketas-freesiga, pressitakse silindrilisteks turba-junnideks ning jäetakse raba pinnale looduslikesse tingimustesse kuivama (vt





*Joonis 3.67. Laineliselt pressitud
tükkTURVAS, mis tagab
minimaalse kontakti raba
pinnaga ja kuivab seetõttu
kiiremini*

Siiani ei ole turbapelletid saavutanud sellist populaarsust ja ulatust kui puidupelletid. Isegi Soomes, mis on Balti mere äärsetest maadest kõige olulisem turbatootja ja tehnoloogiate arendaja, on turbapelletteid toodetud episoodiliselt. Seoses puidupelletite kasutuse kiire laienemisega võib prognoosida ka turbapelletite tarbijaskonna laienemist.

3.7.3. Väärindatud turbakütused

Väärindatud turbakütustest on väga laia levikuga turbabriketid, mida toodetakse freesturbast. Reeglina paiknevad turbabriketitehased turbarabade ligidal. Et briketitootmine saaks toimuda pidevalt, tuleb freesturbast toota suve jooksul niipalju, et sellest jätkuks vähemalt aastaks. Et vältida tooraine puudusest tingitud seisakuid briketitootmises, toodetakse soodsate suvede jooksul freesturbast varuks ka järgmiseks aastaks, mis võib osutuda vihaseks ja turba tootmiseks ebasoodsaks.

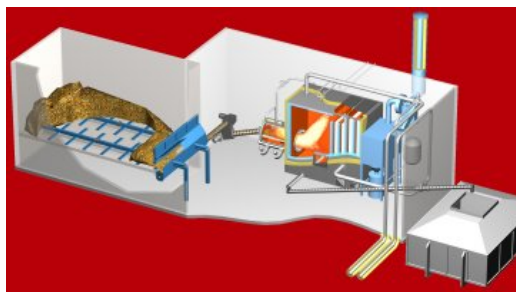
Freesturbast saab toota ka pelleteid. Kasutatakse samalaadseid pelletipresse kui puitbrikettide tootmiselgi (vt punkt 3.5.3, Joonis 3.56 ja Joonis 3.58).

Rakendatud on kaht erinevat turbapelletite tootmise tehnoloogiat – tootmine otse rabas ja tootmine tehases. Rabapelletite tootmisel peaks toorainena kasutatav freesturvas olema võimalikult kuiv, sest edasine kuivamine toimub ainult pressimisel vabaneva energia toimeel. Tehasepelletite tootmisel kuivatatakse pelletteid tootmise käigus lisakuivatiga ja saadakse madalama niiskusega pelletid kui rabas tootmise korral.

4. BIOKÜTUSTE JA TURBA PÕLETUSTEHNOLOOGIAD

Biokütustel või turbal töötav katlamaja koosneb järgmistest põhilistest osadest (vt Joonis 4.1):

- kütuse ladu, võib koosneda mitmest osast, näiteks kütuse vastuvõtusõlm, põhiladu, automatiseeritud ladu või põhilao osa jne;
- kütuse teisaldusseadmed, mida vajatakse kütuse transpordiks põhilaost automatiseeritud lattu ja sealt edasi koldesse;
- kolle koos katlaga;
- suitsugaaside puhastusseadmed (multitsüklon, kottfilter jne) ja korsten;
- tuhaeemaldusseadmed;
- põlemisõhu ventilaatorid, suitsuimeja, reguleerimis- ja ohutusautomaatika.



Joonis 4.1. Lihtsa biokütusel töötava katlamaja seadmete paiknemise skeem, Thermia OY, Soome

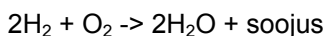
Nii kolde põletusseadmete kui kogu katlamaja tehnoloogiline skeem ja lahendus on seda komplitseeritumad, mida mitmekesisema ja madalama kvaliteediga kütust kasutatakse. Et optimeerida kulutusi ja toodetava soojuste maksumust, püütakse väikeseadmetes kasutada parema ja ühtlasema kvaliteediga kütust, näiteks pelliteid. Niiske puiduhakke, koore ja jäätmete kasutamiseks on vaja keerukamaid tehnoloogilisi lahendusi ja

üldreeglina on see majanduslikult otstarbekas suuremate võimsuste korral.

Katlamaja keskseks tehnoloogiliseks osaks on kolle koos katlaga. Kolde konfiguratsioon ja põletustehnoloogilised lahendused sõltuvad tugevasti kütuse omadustest (kütteväärtus, lendaine-sisaldus, niiskus jne). Et biokütuste ja turba põletusseadmeid õieti valida ning rakendada, on vajalik mõista nende komplitseeritud kütuste põlemise iseärasusi.

4.1. Biokütuste ja turba põlemine

Kütuses on 3 keemilist elementi, mille põlemisel eraldub soojust: süsinik (C), vesinik (H) ja väävel (S), mille täielik põlemine toimub järgmiste summaarsete keemiliste reaktsioonide alusel:



Põlemisel kasutatakse õhuhapnikku ja põlemisproduktideks on süsihappegaas (CO_2) veeaur (H_2O) ja vääveldioksiid (SO_2). Kuigi väävli põlemisel eraldub samuti kasulikku soojust, loetakse väävli keskkonnamõjude ja ka küttepindade korrosiooniohu tõttu äärmiselt ebasoovitavaks kütuse lisandiks.

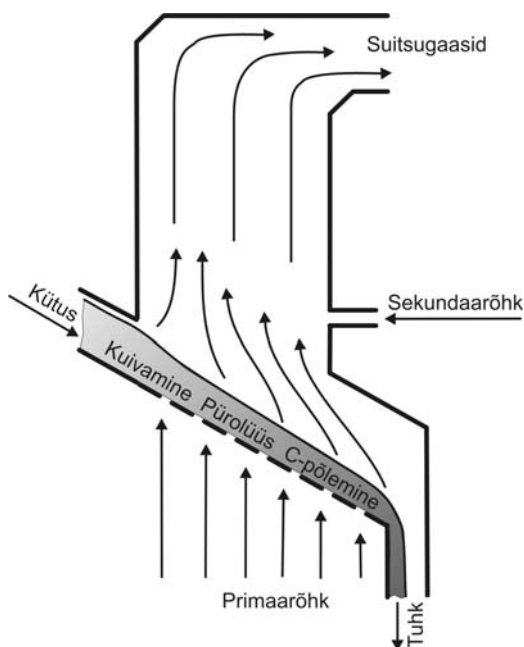
4.1.1. Kütuse põlemise tsoonid ja etapid

Niiske tahke kütuse põlemist on ülevaatlisk vaadelda restilpõletamise näite varal, kus osa protsesse toimuvad kütuse kihis ja osa kolderuumis.

Restil leiavad aset järgmised protsessid (vt Joonis 4.2):

- kuivamine algab kohe kütuse sattumisel restile, sest kihi temperatuur hakkab tõusma;
- kui kütuse temperatuur jõuab 100 – 105°C-ni, algab lendaine (eelkõige süsivesinike) eraldumine. Kütuseosakeste struktuur muutub selle protsessi tulemusena poorseks;

- kütus süttib sõltuvalt kütuse liigist temperatuuril vahemikus 220 – 300°C [46] – okaspuu 220°C juures, lehtpuu kuni 300°C juures ja kuiv turvas 225 – 280°C juures;
- süsiniku põlemine lõpeb temperatuuril 800 – 900°C ja tuhk langeb restilt alla tuharuumi.



Joonis 4.2. Niiske biokütuse põlemistsoonid kaldrestil

Restil asetleidvad protsessid jagunevad kaheks: endotermilisteks e soojust neelavateks (kuivamine ja pürolüüs) ning eksotermilisteks e soojust andvateks (põlemine). Kuna põlemistsooni kütuseosakeste ja kuivamistsooni osakeste vahel puudub otsene kontakt, saab kuivamistsoon ja pürolüüsi tsooni ülemine osa (alguseosa) vajaliku soojuse põhiliselt leegi ja kuumade koldepindade kiirguse teel.

Mida niiskemat kütust põletatakse, seda enam soojust vajatakse kütuse kuivatamiseks ja süttimistemperatuurini kuumutamiseks. Seega niiske kütuse põletamiseks ettenähtud koldes küttepinnad (st jahutatavad pinnad)

puuduvad või on nende osatähtsus väike. Kuumade keraamiliste koldeseinte püsivalt kõrge temperatuur on vajalik selleks, et kuivamistsoon jääks soovitud piiridesse resti ülemisse otsa ning et kütus õigeaegselt süttiks.

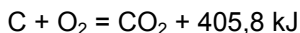
Kuiva kütuse põletamisel võib koldeseinte jahutamine vastupidiselt niiske kütuse põletamisele vajalikuks osutuda. Kuiva kütuse korral vajatakse kuivatamiseks ja kütuse kuumutamiseks vähe soojust ning kuumad kiirgavad pinnad ning leegi kiirgus võivad kütusekihi temperatuuri tõsta tasemini, mil tuhk muutub kleepuvaks või sulab. Tuha sulamine ummistab ja rikub resti, lisaks võib ka keraamiliste koldepindade temperatuur jõuda ohtlikult kõrgeks ja keraamika ei pea sellele vastu ja võib hakata sulama. Seega iga kolde konstruktsioon on ette teatud niiskusega kütuste põletamiseks.

Põhiline osa biokütustest ja turbast saadavast soojusest eraldub mitte kütusekihis, vaid kolderuumis, sest nende kütuste lendainesisaldus on kõrge. Pürolüüsi tulemusel gaasistunud lendaine põlemine algab kolderuumis temperatuuril 500 – 600°C. Et lendaine süttiks, on vajalik nõutav temperatuur ja lisaks tuleb kolderuumi anda värsket hapnikurikast õhku. Kui resti alla antavat põlemisõhku nimetatakse tavaliselt primaarõhuks e altõhuks, siis lendosade põlemiseks vajalikku lisaõhku nimetatakse sekundaarõhuks e pealtõhuks, kusjuures sekundaarõhu vajadus ületab nende kütuste põletamisel primaarõhu vajaduse.

4.1.2. Kütusekihi temperatuuri reguleerimisvõimalusest

Restil kütusekihis ja kolde ruumis lendainega toimuvate protsesside iseloom ja vahekord mõjutavad otseselt kolde temperatuurirežiimi.

Põhiliseks restil soojust andvaks reaktsiooniks on süsiniku põlemine:

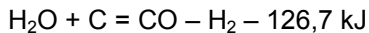


Reaktsiooni tulemusena moodustunud kuum süsihappegaas võib hapniku-

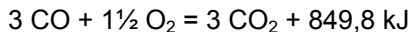
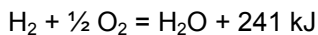
vaesemas tsoonis hõõguvate sütega kokku puutudes osa hapnikku ära anda ja kihti jahutada:



Teisene kihti jahutav reaktsioon võib aset leida põlemisõhus sisalduva ja kütuse kuivamisel eraldunud veeauru ja hõõguvate süte vahel:



Kahe viimase reaktsiooni tulemuseks on, et tekkinud vingugaas (CO) ja gaasiline vesinik (H₂) suurendavad kolde ruumis soojuseraldust, sest lisaks lendaine (süsivesinikud) põlemisele toimuvad seal täiendavalt vingugaasi põlemine süsihappegaasiks ja vesiniku põlemine:



Kokkuvõttes vingugaasi ja vesiniku tekkimiseks restil kulutatud soojushulk vabaneb kolderuumis.

Kütusekihti jahutavate endotermiliste reaktsioonide osatähtsust kihi temperatuuri kujundamisel saab suurendada suitsugaaside suunamisega resti alla. Seda võtet nimetatakse suitsugaaside retsirkulatsiooniks ja võidakse rakendada niiske kütuse jaoks ettenähtud koldes kuivema või kõrgema kütteväärtusega, aga ka väiksema lendosadesisaldusega kütuse põletamisel.

Resti ja restil põleva kütusekihi temperatuuri reguleerimise põhiliseks eesmärgiks on tuha sulamise ja resti ummistumise vältimine (vt ka punkt 4.1.1). Kui kollet kasutada vaheldumisi näiteks tükkturba ja hakkpuidu põletamiseks, osutub suitsugaaside retsirkulatsiooni kasutamine turbaküttel väga sobivaks võtteks resti ülekuumenemise ja tuha sulamise vältimiseks.

4.1.3. Põlemise soojuskaod ja kasutegur

Põlemisel esinevate soojuskadude arvutamisel on võimalik lähtuda kas niiske või kuiva suitsugaasi analüüsi tulemustel.

Siinkohal vaadeldakse kadusid kuiva suitsugaasi analüüsist lähtuva meetodika alusel, sest see meetod ühildub hästi kaasaegse mõõtetehnikaga ja võimaldab hästi välja tuua kütuse niiskuse ja vesiniku põlemisel tekkinud veeauru rolli kadudes [47].

Põlemise soojuskadude hulka kuuluvad:

- soojuskadu kuiva suitsugaasi füüsikalise soojusega;
- soojuskadu vingugaasi (CO), süsivesinike (C_mH_n) ja teiste põlevate gaasiliste komponentide sisaldusest kuivas suitsugaasis. Kadu kujutab endast keemiliselt mittetäielikust põlemisest saamatajäänud soojust;
- soojuskadu tuha ja lendtuhaga, mis koosneb kahest osast – tuha füüsikalisest soojusest ja tuhas sisalduva põlemata süsiniku tõttu saamata jäänud soojusest;
- kütuse niiskusest põlemisel tekkinud veeauru sisaldusest tingitud soojuskadu.

Tavaliselt esineb veeaur suitsugaasides ülekuumendatud auru kujul, seega kujutab see kadude komponent endast veeauru energiasisaldust (täpsemalt, aurustumis-soojust ja veeauru ülekuumenduse soojust) ning seda võetakse arvesse siis, kui põlemise kasuteguri arvutamisel soovitakse lähtuda kütuse ülemisest (bruto) kütteväärtusest.

Põlemise kasuteguri määramisel rakendatakse nn kaudse soojusbilansi meetodit:

kasutegur = 100 – summaarsed kaod,

kus summaarsed kaod ja kasutegur on väljendatud protsentides.

Põlemise soojuskadusid ei tohi samastada katla ja katlamaja soojuskadudega, sest viimased sisaldavad täiendavalt veel mitmeid kadusid, näiteks katla välisjahtumiskadu (kutsutakse sageli radiatsioonkaoks), aurukatla korral läbipuhkest tingitud kadu, mitme katla

korral õhu läbivoolust läbi reservis oleva katla jne.

4.1.4. Põlemisprotsessi efektiivsust iseloomustavad näitajad

Praktiline põlemise soojuskadude määramine toimub suitsugaaside analüüsi abil, milleks rakendatavad kaasaegsed mõõteriistad esitavad tulemused numbrilisel kujul, kusjuures tulemustes kajastub enamasti ka kadude protsent.

Suitsugaaside analüüsis määratakse otseselt suitsugaaside temperatuur, CO_2 või O_2 sisaldus ja CO sisaldus, mille alusel on soojuskadude põhiosa lihtsalt arvutatav ja millega praktikas enamasti ka piirdutakse.

Kõige suuremaks soojuskaoks on tavaliselt kadu suitsugaasi füüsikalise soojusega ja see sõltub lisaks temperatuurile veel liigõhutegurist λ , mis on määratud tegeliku ja põlemiseks teoreetiliselt vajaliku põlemisõhu suhtena ja mida kasutatakse ühe olulisema põlemist iseloomustava suurusena.

Suitsugaasi analüüsi alusel on liigõhuteguri määramiseks sobiv kasutada järgmist lihtsustatud seost:

$$\lambda = \text{CO}_{2,\text{max}} / \text{CO}_{2,\text{mõõdetud}}$$

kusjuures $\text{CO}_{2,\text{max}}$ kujutab endast maksimaalset võimalikke süsihappegaasi sisaldust antud kütuse korral ja selle väärtused sõltuvad kütusest ja on mõnede kütuste jaoks leitavad tabelist (vt Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Mõningate kütuste $\text{CO}_{2,\text{max}}$ väärtused

Kütus	$\text{CO}_{2,\text{max}}, \%$
Kivisüsi	18,8
Kütteõlid	15,9
Puit	20,2
Turvas	19,6
Maagaas	12,1

Paljud gaasianalüsaatorid ei mõõda otseselt süsihappegaasi sisaldust, vaid arvutavad selle hapnikusisalduse kaudu:

$$\text{CO}_{2,\text{mõõdetud}} = \text{CO}_{2,\text{max}} \cdot (1 - \text{O}_2 / 20,94)$$

Otstarbekas liigõhuteguri väärtus sõltub tugevasti nii põletustehnoloogiast kui kütusest, kuid täieliku põlemise jaoks peab alati olema suurem kui 1. Puit- ja turbakütuste põletamisel on suhteliselt raske tagada põlemisõhu väga ühtlast jaotust kogu põlemistsooni ulatuses ja seepärast vajatakse täieliku põlemise saavutamiseks liigõhutegurit sageli alates väärtusest 1,4. Samas vedel- ja gaaskütuse põletamisel on optimaalne liigõhutegur enamasti piirides 1,02 – 1,1.

Keemiliselt mittetäielikust põlemisest tingitud soojuskadu on suure täpsusega määratav suitsugaaside CO sisalduse põhjal. Kõrge CO sisaldus (alates 0,5 %) viitab ka põlemata süsinikuosakeste võimalikule sisalduse suitsugaasides, mis on suitsu tumeda värvi tõttu kergesti märgatav. Kuigi siinkohal piirdutakse CO sisalduse ja kadude vahelise seosega, piiravad paljud riigid CO emissiooni ka tingituna tervishoiu ja keskkonnanõudmistest (vt punkt 6.2).

4.2. Põletustehnoloogiad

Arvestades biokütuste ja turba omaduste väga laia diapasooni võivad kasutamist leida väga mitmed erinevad tahkete kütuste põletusviisid:

- tolmipõletamine – leiab kasutust üksikjuhtudel, näiteks puidu lihvimistolmu põletamisel koos vedelkütusega;
- restpõletustehnoloogiad, siia kuulavad väga erineva resti konstruktsiooniga lahendused, mis tavaliselt jagatakse kahte põhirühma – liikumatu ja mehaanilise (liikuva) restiga tehnoloogilised lahendused;
- põletamine keevkihis – kasutatakse kas nn mullivat või tsirkuleerivat keevkihti;

- kütuse gaasistamine ja tekkinud gaasi põletamine vedel- või gaaskütusekatlas.

Iga põletustehnoloogia jaoks on välja kujunenud võimsuste diapsoon, mille juures selle rakendamine on kas tehniliselt või majanduslikult kõige otstarbeka. Soome tingimustes ehitatakse katlad võimsusega kuni 5 MW tavaliselt restkoldega, suurema võimsuse korral eelistatakse keevkihtkoldeid [48] (vt Tabel 4.2).

Erinevalt Soomest ja teistest Skandinaaviamaadest ei ole puitkütuste ja turba põletamisel keevkihttehnoloogiad ei Balti riikides ega ka Poolas ja Venemaal siiani eriti populaarseks muutunud, kuigi üksikuid positiivseid keevkihttehnoloogia rakendamise näiteid on olemas ja tulevikus võib olukord muutuda.

Igas kasutusvaldkonnas on välja kujunenud biokütuste või turbakatelde tüüpilised võimsused (vt Tabel 4.3) ja eelistatavamad tehnoloogilised lahendused valdkonna spetsiifikale sobiva automatiseerimise tasemega.

Tabel 4.2. Tüüpilised võimsused eri põletusviiside korral Soomes [48]

Põletus- tehnoloogia	Minimaalne võimsus, MW	Tüüpiline võimsus, MW
Liikumatu restiga kolle	0,01	0,05 – 1
Mehaaniline restkolle	0,8	2 – 15
Mulliv keevkiht	1	> 5
Tsirkuleeriv keevkiht	7	> 20
Kütuse gaasistamine	0,3	2 – 15

Tabel 4.3. Katelde jagunemine vastavalt kasutusvaldkonnale [48]

Katelde kasutusala	Tüüpilised võimsused
Üheperemajade katlad	15 – 40 kW
Suurte hoonete katlad	40 – 400 kW
Kaugkütte katlamajade katlad	0,4 – 20 MW
Tööstuskatlad	1 – 80 MW
Olmejäätmete põletamise katlad	10 – 30 MW

4.2.1. Restkolded

Põletustehnoloogilistest lahendustest on keskmiste ja väikeste võimsuste diapsoonis kõige levinumad restkolded. Ajalooliselt jagati restkoldeid käsitsi teenindatavateks ja automaatse söötmisega kolleteks. Käesoleval ajal on käsitsi teenindavate kollete osa jäänud väga väikeseks ja isegi üheperemajade kateldes kasutatakse sobiva kütuse korral üha enam automaatset kütuse etteannet, kuid tuhaeraldus võib väikese tuhasisaldusega puitkütuste korral toimuda käsitsi isegi üsna suurte katelde korral.

Käesolevas käsiraamatus on peamine tähelepanu pööratud kaugkütte katlamajades kasutatavatele kateldele, kuid käsitletakse ka üksikute hoonete kütmiseks mõeldud katlaid e nn lokaalküttekatlaid.

Kuigi erinevaid restitüüpe on väga palju, võib nad jagada järgmiselt:

- liikumatu rest;
- mehaaniline kaldrest;
- kettrest;
- spetsiaalrestid eriomadustega kütuste, näiteks jäätmete, põletamiseks.

Eriotstarbeliste restidega ja kettrestiga koldeid käsiraamatus lähemalt ei puudutata. Jäätmete põletamine nõuab nii põletustehniliselt kui kahjulike heitmete vähendamiseks komplitseeritud tehnoloogiat, mille valik ja seadmete käivitamine peab toimuma vastavate spetsialistide järelevalve või juhendamise all.

4.2.1.1. Liikumatu restiga kolded

Enamasti on liikumatu rest paigutatud koldesse sellise nurga all, mis tagab kütuse varisemise mõõda resti kuivamistsoonist allapoole kuni süsiniku (koksi) põlemise tsoonini (vt Joonis 4.2). Liikumatu kaldrestiga kolde kaldenurk on ligikaudu võrdne kasutatava kütuse varisemisnurgaga. Sõltuvalt kütusest ja resti elementide konstruktsioonist on soovitatud järgmisi resti kaldeid [49]:

- varbadest kaldrest õhukuiva tükkturba, saepuru ja laastude põletamiseks: 32 – 36°;
- trepprest saepuru põletamiseks: 38 – 40°;
- trepprest tükktribale: 30°.

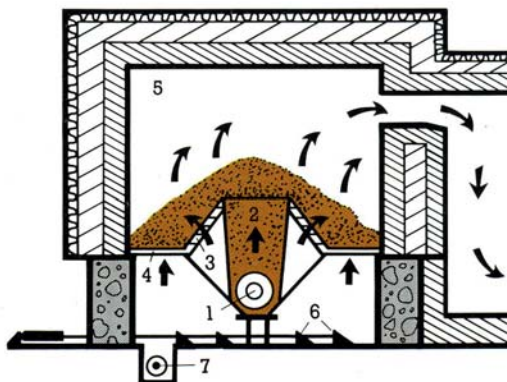
Varbadest kaldrest koosneb kütuse liikumise suunas paiknevatest restielementidest e varbadest, trepprest aga risti kütuse liikumissuunaga paiknevatest astmetest. Trepprest sobib eriti hästi saepuru ja niiske kütuse põletamiseks.

Lisaks ühepoolse kaldega kaldrestidele on kasutusel veel koonilise kujuga kaldreste, millele kütus antakse kas tigusööjtuga alt (vt Joonis 4.3) või raskusjõu mõjul ülalt [50].

4.2.1.2. Mehaanilise restiga kolded

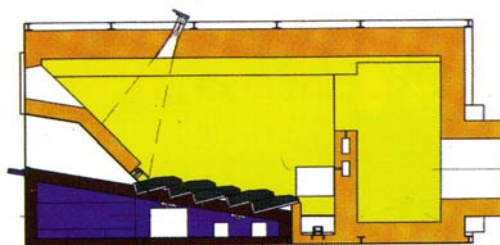
Võrreldes liikumatu restiga kolletega võimaldab restielementide liigutamine paremini kontrollida kütusekihi edasiliikumist ja ühtlasemat jaotust restil ning kokkuvõttes saavutada efektiivsemat põlemist ja alandada kahjulike heitmete (eriti CO) sisaldust suitsugaasides. Üheks kombineeritud lahenduseks on kaheosaline

rest, mille ülemine pool kujutab endast liikumatut restiosa kuivamis- ja pürolüüsitsooniga ning väiksema kaldega liigutatavate elementidega põlemistsooniga.



Joonis 4.3. Altsöötisega koonilise restiga eelkolle väga märja kütuse põletamiseks Soome firmalt SERMET

1 – tigusööjtä; 2 – kütuse lehter; 3 – kaldrest; 4 – horisontaalne rest; 5 – kolderuum; 6 – tuhakraap; 7 – tigutransportöör tuha eemaldamiseks.



Joonis 4.4. Rootsi firma Hotab kolle, mille rest koosneb liikumatust kaldrestist ja mehaaniliselt liigutatavast osast

Mehaanilise restiga kolde tüüpiliseks näiteks on Rootsi firma KMW kolle TRF, mille resti liigutatavad elemendid vahelduvad liigutatavatega. Malekorrast restielementide liigutamine tagab kütusekihi ühtlase paksuse ja edasiliikumise.

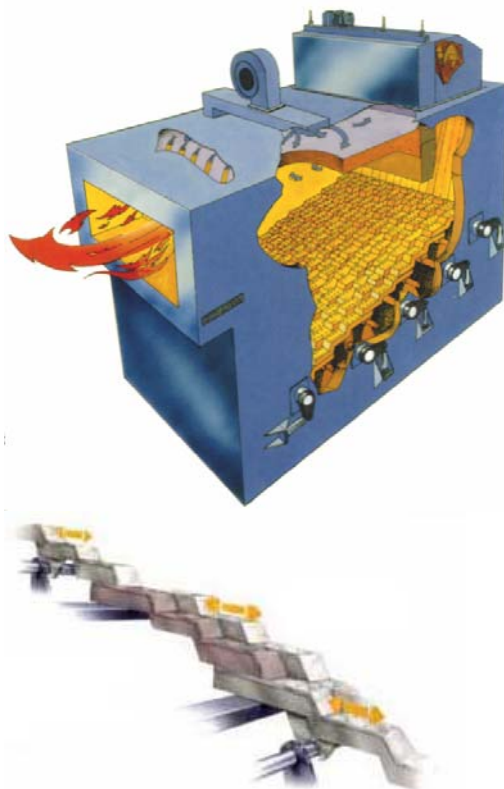
Joonisel (vt Joonis 4.5) kujutatud kolle on eelkolle ja see komplekteeritakse eraldi katlaga. Eelkolde seinad on ilma küttepindadeta, mis sobib niiske kütuse (35 – 55 %) põletamiseks. Kolde keraamilisi seinu jahutatakse põlemisõhuga, mis annab õhule ettesoojenduse ja parandab ühtlasi põlemistingimusi.

Väga niiske kütuse korral on kolde seinad üldreeglina ilma jahutuseta ja valmistatud keraamilistest materjalidest (vt ka Joonis 4.3), mille töötemperatuur on piisavalt kõrge selleks, et seinte kiirgus annaks piisavalt soojust kütuse kuivatamiseks, lendaine eraldamiseks ja sobivate põlemistingimuste loomiseks nii restil kui lendainete põlemise tsoonis. Kui sellises ilma jahutuseta koldes kasvõi lühiajaliselt põletada kuiva kütust, siis temperatuur hakkab kiiresti tõusma nii kütuse kihis kui kolde ruumis. Tulemusteks võivad olla tuha sulamine, resti ja selle õhuavade šlakkumine, samuti kolde müüritise kahjustumine või isegi sulamine.

Wärtsilä patenteeritud koonilise resti altsöötmisega kolle võimaldab nii eriti madala kui kõrge niiskusega (kuni 65 %) kütuse põletamist (vt Joonis 4.6).

BioGrate põletustehnoloogia korral söödetakse kütus tigusöötjaga koonilise resti keskossa, kust see koonuse pinda mööda allapoole valgub. Kasutatavad on praktiliselt mistahes biokütused, mida saab tigusöötjaga koldesse anda.

Kooniline rest koosneb kontsentrilistest ringidest või korrustest, kus paigalseisvad ja pöörlevad korrused vahelduvad ning iga teine pöörlev resti korrus liigub eri suunas, st üks vastu- ja teine päripäeva. BioGrate resti liikumine tagab eriti ühtlase kütuse kihi kogu ümbermõõdu ja resti pinna ulatuses. Restikorruste liigutamiseks kasutatakse hüdraulilisi ajameid.



Joonis 4.5. Malekorras liigutatavate restielementidega kolle TRF, Rootsi firma KMW ENERGI AB



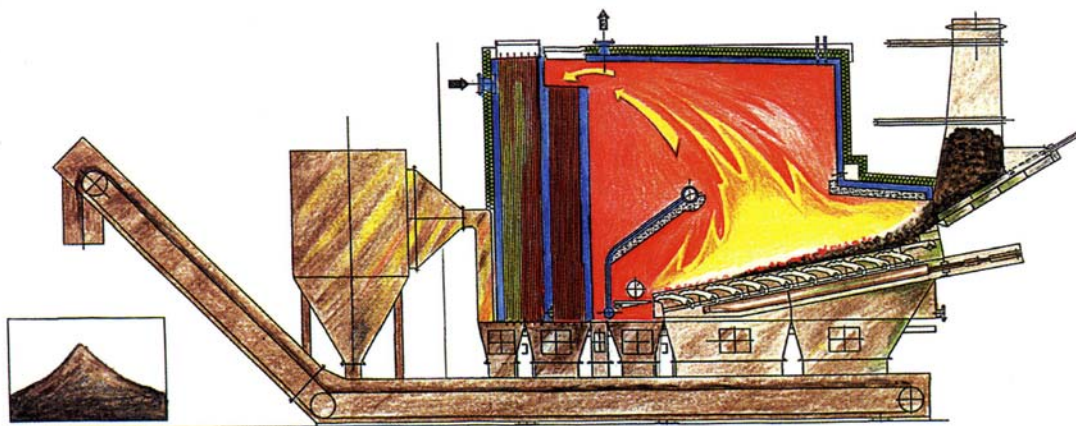
Joonis 4.6. Wärtsilä patenteeritud koonilise restiga altsöötmisega kolle BioGrate

Põlemise kõrge efektiivsuse ja heitmete minimaalse taseme võtmeks on õhu otstarbeka jaotamise ja reguleerimise

süsteem, mis sisaldab reguleeritava kiirusega õhu ventilaatoreid. Täiendavalt kasutatakse reguleeritavat suitsugaaside retsirkulatsiooni, mis võimaldab reguleerida kütusekihi soojuseraldust ja tagab puhta põlemise madala NO_x ja CO emissiooni taseme väga laias kütuste diapasoonis.

Koonusresti välisläbimõõt sõltub kolde võimsusest, kusjuures väikseima, 3,5 MW võimsuse korral on läbimõõt 4,15 m ja suurima, 20 MW võimsuse korral 9,5 m.

Kui biokütuste ja turba põletamiseks sobivad kolded konstrueeritud eelkoldena, siis tuleb see katlamajas ühendada sobiva katlaga. Paljud tootjad konstrueerivad ja tarnivad kolde ja katla ühtse tervikuna, eriti väiksema võimsusega seadmeid. Sellistes seadmetes on lihtsam organiseerida näiteks tuhaärasust nii resti alt, vertikaalsetest suitsutorudest kui suitsugaaside puhastusseadmete alt (vt Joonis 4.7).



Joonis 4.7. Soome firma Putkimaa OY tahkekütuse põletamise kompleksne PMA tüüpi katelseade võimsustele 1 – 10 MW

Kui katlas soovitakse põletada kuiva kütust, tuleb kolde seinu jahutada sinna paigutatud küttepindade abil. Kolde seinte jahutustingimustest sõltub otseselt see, millist ja millise niiskusega kütust selles koldes põletada saab. Kuiva kütuse, näiteks pelletite, aga ka laudsepa- või mööblitööstuse jääkide põletamisel hoiavad kolderuumi temperatuuri sobivates piirides eelkõige jahutatavad koldeseinad, lisaks võib olla vajalik lendosade põlemise tsoon kujundada selliselt, et leegi kiirgus täies ulatuses kütusekihile ei langeks.

Sellises jahutatavas koldes niisket kütust põletades jäävad temperatuurid restil madalaks, sest kütuse kuivamistingimused pole piisavad. Tulemuseks on põlemata kütuseosakeste sattumine tuhka ja lendosade mittetäielik põlemine, mis järsult

alandavad põlemise efektiivsust ja tahma ning põlemata gaaside sattumist korstnasse, samuti võivad küttepinnad ja suitsukäigud pigituda.

Kolde seintes võivad paikneda põlemisõhu kanalid, mille abil seinu mõningal määral jahutatakse, kuid samas soojendatakse põlemisõhku ette ja see parandab märja kütuse põlemistingimusi. Sellised kolded on väga levinud ja sobivad hästi mõõdukalt niiskete kütuste korral, näiteks metsahakke põletamiseks, mille tüüpiline niiskuse vahemik on 35 – 55 %.

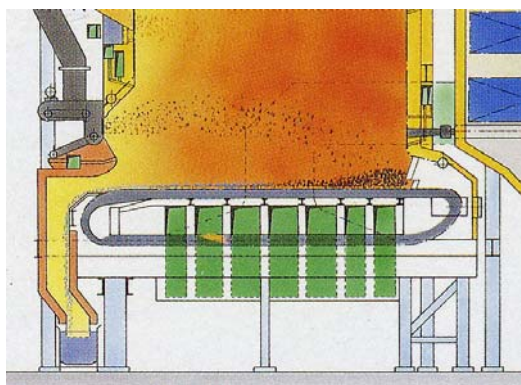
Täiendavaks võimaluseks koldes temperatuuri reguleerida on suitsugaaside retsirkulatsiooni kasutamine (vt punkt 4.1.2). See võtte võimaldab teatud määral vähendada soojuseraldust ja temperatuuri

restil, mis ühtlasi suurendab soojuseraldust lendaine põlemise tsoonis.

4.2.1.3. Kettrest

Kettrestid sobivad hästi suuremate võimsuste korral mitmete kütuste põletamiseks samas koldes. Näiteks 1984. aastal Boråsi (Rootsi) rekonstrueeritud kahe kettrestkoldega aurukatla tootlikkus on sõltuvalt kütusest kummalgi 60 – 90 tonni auru tunnis. Selle katla restiosa lõige on toodud joonisel (vt Joonis 4.8). Põhikütuseks on hakkpuit, kuid lisaks on võimalik kasutada ka turvast ja kivisütt.

Kettresti liikumise kiiruse varieerimisega on võimalik väga paindlikult reguleerida kütuse sobiva kiirusega edasiliikumist kuivamistsoonist kuni süsiniku täieliku põlemiseni ja põlevainevaba tuha eemaldamiseni. Üleminekul ühelt kütuselt teisele, näiteks hakkpuidult kivisöele, tuleb muuta resti liikumise kiirust ning põlemisõhu koguseid ja vahekordi.



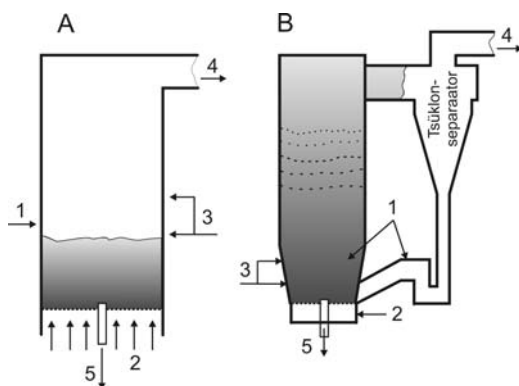
Joonis 4.8. Kettrest Boråsi (Rootsi) energiakeskuse katlas

Kivisöe kasutamiseks Boråsi energia-keskuses on huvitav põhjus. Kahe võimsa põhiliselt hakkpuidul töötava katla varustamiseks hakkpuiduga tuleb ööpäevas kohale toimetada mitukümmend koormat kütust. Veokijuhtide ja kütuseveo tasud puhkepäevadel on tunduvalt kõrgemad kui tööpäevadel. Sellise suure mehhaniseeritud hakkpuidu lao ehitamine, mis mahutaks mitme järjestikuse

puhkepäeva kütusevaru, on majanduslikult ebaratsionaalne. Kütuse transpordikulude optimeerimiseks viiaksegi katlad mitme järjestikuse puhkepäeva korral kivisöe küttele, näiteks Jõulude, Uusaasta või Lihavõttepühade ajaks.

4.2.2. Keevkihtkolded

Suurendades järk-järgult kütusekihti antava põlemisõhu kiirust, on võimalik jõuda olukorran, kus kütusekiht õhu poolt üles tõstetakse, kütuseosakesed hakkavad õhuvooluses hõljuma ja hõljuvas kihis pidevalt ümber paiknema. Näiliselt hakkab kiht keema ja siit on pärit ka termin – keevkiht. Kirjeldatud hõljuvat keevkihti nimetatakse mullivaks e statsionaarseks keevkihiks ja kütusekihist kantakse õhuvoolusega välja niiskus, eraldunud lendaine ning tuhk, samuti vähesel määral peeneid kütuseosakesi, mis põlevad koos lendosaga kolderuumis keevkihi kohal (vt Joonis 4.9).



Joonis 4.9. Mulliva (A) ja tsirkuleeriva (B) keevkihiga kollete põhimõttelised skeemid

1 – kütus; 2 – primaarõhk; 3 – sekundarõhk; 4 – põlemisgaasid; 5 – põhjatuhk.

Kasutades veelgi suuremat õhu liikumise kiirust kui mulliva keevkihi korral, viiakse põlevad kütuseosakesed õhuvoolusega kaasa. Tsüklon-separaatoris eraldatakse tahked osakesed õhu ja gaasi voolusest ning juhitakse tagasi koldesse. Kuna põlev

kütus tsirkuleerib kolde ja separaatori vahel, kasutatakse selle põletustehnoloogiat jaoks terminit „tsirkuleeriv keevkiht”.

Nii mulliv kui tsirkuleeriv keevkiht sobivad hästi biokütuste, turba ja jäätmete põletamiseks, kivisöe ja põlevkivi jaoks sobib paremini tsirkuleeriv keevkiht.

Keevkihttehnoloogiate üha laialdasema leviku põhjuseks on võimalus vähendada kahjulikke atmosfääriheitmeid ja kasutada erinevaid madala kvaliteediga kütuseid samas koldes. Keevkihis on temperatuur suhteliselt madal, umbes 850°C, mille tõttu pole karta tuha sulamist ja kolde šlakkumist. Samuti vähenevad sellise temperatuuri korral lämmastikuheitmed ja väävliirikka kütuse korral on võimalik sorbendi (lubjakivi) lisamise teel siduda väävel tuhaga.

Keevkihttehnoloogia üldiseks nõudeks kütustele on suhteliselt ühtlane tüki suurus. Biokütuste ja turba põletamisel moodustatakse mulliv keevkiht inertsest materjalist, tavaliselt kvartsiivast, mis kolde käivitamisel enne põhikütuse kihti andmist kuumutatakse gaas- või vedelkütusepõletite abil temperatuurini umbes 600°C. Seejärel kihti antav põhikütus süttib, kihi temperatuur hakkab tõusma ja süütamiseks kasutatud abipõletid lülitatakse välja.

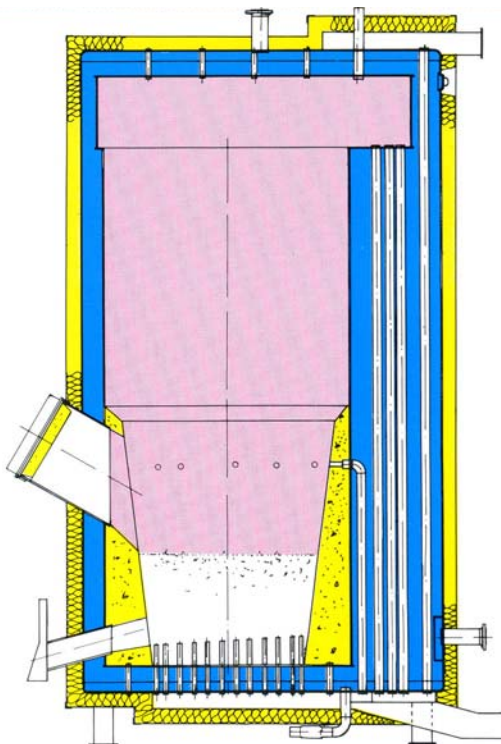
Kütuse söötmiseks mullivasse keevkihti on mitu erinevat moodust:

- kütuse söõtmine vertikaalse toru kaudu ülalt keevkihi peale, kusjuures mõnikord rakendatakse täiendavalt kütus mehaanilist paiskamist üle kolde ristlõike;
- kütuse söõtmine läbi horisontaalse kanali keevkihi sisse kas pneumotranspordiga või tigutranspordiga.

Erinevalt restkolletest, mille töötamine väikestel võimsustel on raskendatud, võib mulliva keevkihiga liivapadjaga kolde töötada efektiivselt väga laias võimsuste vahemikus, tänu liivakihi soojus-

mahtuvusele lühiajaliselt isegi ilma koormuseta.

Üheks keevkihttehnoloogia rakendamise praktiliseks näiteks võib tuua Soome firma Putkimaa OY keevkihtkatla, kus kolle ja vertikaalsete suitsutorudega veekeatel moodustavad ühtse terviku (vt Joonis 4.10). Selline kompakte konstruktsioon võimaldab ehitada isegi ebatüüpiliselt väikese võimsusega katlaid alates 1 MW.



Joonis 4.10. PML tüüpi suitsutorudega keevkihtkatel Soome firmalt Putkimaa OY võimsusega 1 – 5 MW

4.2.3. Kütuse gaasistamine

Biomassi gaasistamise põhimõtted on tuntud juba alates XVIII sajandi lõpust [51], kuid algul rakendati seda tehnoloogiat ainult gaasilaternate varustamiseks gaasiga. Teise Maailmasõja päevil rakendati biomassi gaasistamise seadmeid mootorkütustele asenduskütuse

saamiseks. Ka kahekümnenda sajandi seitsme- ja kaheksakümnendate aastate energiakriisi ajal käsitleti biomassi gaasistamist kui alternatiivi kallinenud naftakütuste asendamiseks, kuid lisaks sellele ilmusid ka gaasistamiseseadmed, mida rakendati energia tootmiseks.

Madala kütteväärtuse ja kvaliteediga kütuse gaasistamist rakendatakse põhiliselt kolmel järgneval põhjusel [52]:

- madalakvaliteedilise kütuse kasutamiseks tööstuses, eriti keemiatööstuses;
- erivajadusteks puhta kütuse tootmiseks;
- olemasoleva lihtsa ja otstarbeka katla üleviimiseks tülikate omadustega kütusele.

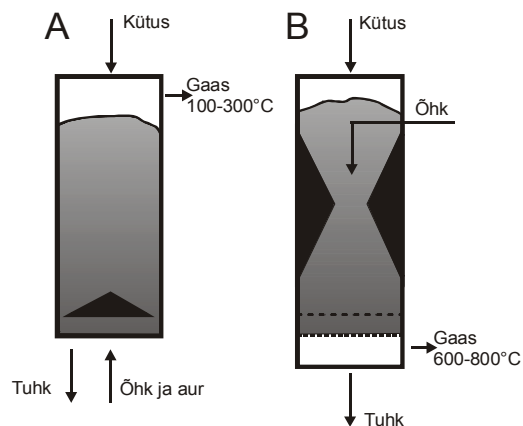
Kaugkütte katlamajades on gaasitamist hakatud praktiliselt rakendama suhteliselt hiljuti, näiteks Soomes alates 1982. aastast. Seadmete kõrge maksumuse tõttu pole biomassi gaasistusseadmed eriti laialdast kasutamist siiani veel leidnud. Gaasistusreaktorite tõenäoliselt kõige perspektiivsem kasutusvaldkond on mitmete ekspertide arvates biokütuste gaasistamine sisepõlemismootorite baasil elektri ja soojuste koostootmise seadmete jaoks [53].

Liikumatu kütusekihiga biomassi gaasitamise reaktorisse antakse kütus ülalt ja tekkinud gaasid liiguvad kas kütuse liikumisega vastassuunas (nn vastuvoolu skeem) või samas suunas (nn pärivoolu skeem, vt Joonis 4.11).

Vastuvoolu skeemi korral sisaldavad gaasid nii pürolüüsi protsessis tekkinud tõrva, tahma kui tuhka, samas võimaldab see tehnoloogia gaasitada ka madala kvaliteediga, st kõrge niiskuse- ja tuhasisaldusega kütuseid [53]. Saadav gaas sobib põletamiseks, kuid gaasikanaleid tuleb perioodiliselt (umbes kord nädalas) puhastada. Gaasi jahutamise ja lisanditest puhastamise järel võimaldaks gaasi puhtus seda kasutada ka sisepõlemismootorite kütusena.

Pärivoolu gaasistusreaktorid annavad tõrvavaba kuuma gaasi, kuid see vajab ikkagi tahmast ja tuhast puhastamist, ühtlasi eeldab see gaasistamisviis suhteliselt kuiva ja väikese tuhasisaldusega kütuste kasutamist.

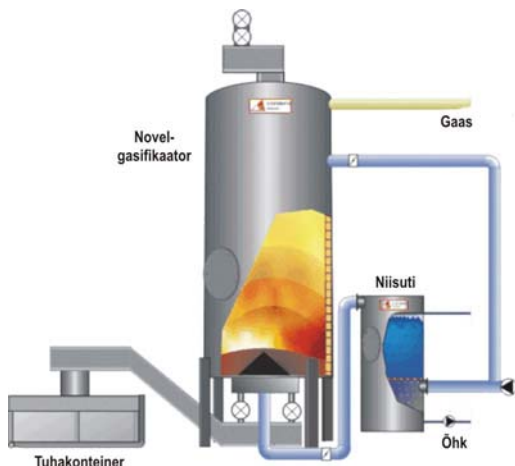
Liikumatu kütusekihiga gaasistusseadmete võimsused on enamasti üle 1 MW (kütuse järgi⁶) ja ulatuvad umbes 10 MW (pärivoolu skeem) või 20 MW (vastuvoolu skeem). Suuremate võimsuste korral rakendatakse keevkihis gaasistamise tehnoloogiat (umbes 7 – 100 MW).



Joonis 4.11. Vastuvoolu (A) ja pärivoolu (B) gaasistusreaktorite põhimõttelised skeemid

Järgneval joonisel on toodud Soome firma *Condens OY* gaasistusreaktori *Novel* (vt Joonis 4.12) skeem. Reaktori võimsus on 1 – 10 MW, kasutatava hakkpuidu, saepuru, koore või jäätmete tükisuurus 0 – 50 mm ja tarbimiskütuse niiskuse 0 – 60 % [54].

⁶ Gaasistusreaktorite võimsus määratakse reaktorisse antava kütuse energiasisalduse alusel



Joonis 4.12. Soome firma Condens OY gaasistusreaktor Novel võimsusega 1 – 10 MW

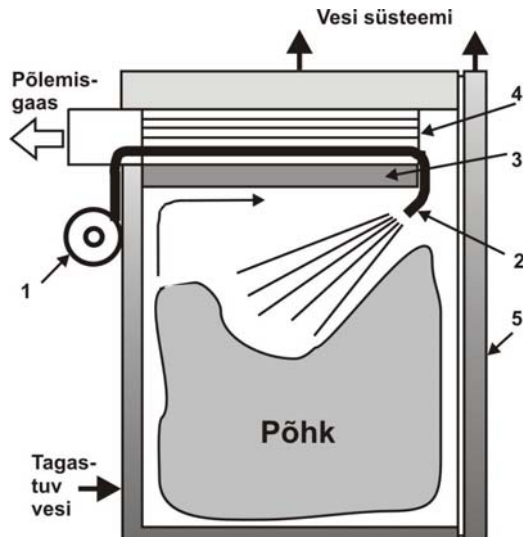
4.2.4. Põhu põletamine

Põhu põletamiseks vajatakse üldreeglina spetsiaalse konstruktsiooniga katlaid, mis arvestavad selle kütuseliigi iseärasusi. Siinkohal on järgnevalt refereeritud Taani kogemust põhu kui kütuse kasutamisel [43].

Kuna põhku saadakse teraviljakasvatusest, siis sobib see kütus farmide soojusvarustuseks. Üheks lihtsamaks võimaluseks on tervete põhupallide põletamiseks sobivate seadmete kasutamine ([43], vt Joonis 4.13). Põletusseade saab töötada tsükliliselt, algul tõstetakse põhupall frontaaltõstukiga koldesse avatud koldeukse kaudu, seejärel uks suletakse ja kütus süüdatakse. Põlemisõhk puhutakse põlemistsooni ülalt.

Tsüklilise põlemise tõttu on põlemisõhu doseerimine ja põlemise kõrge efektiivsuse saavutamine keeruline.

Kui põhk pallidest enne koldesse andmist peenestada, on võimalik kütuse automaatne koldesse söötmine, mis lihtsustab põlemisrežiimi seadistamist (vt Joonis 4.15). Selliseid katlaid on lisaks Taanile edukalt rakendatud ka näiteks Leedus ja Lätis.

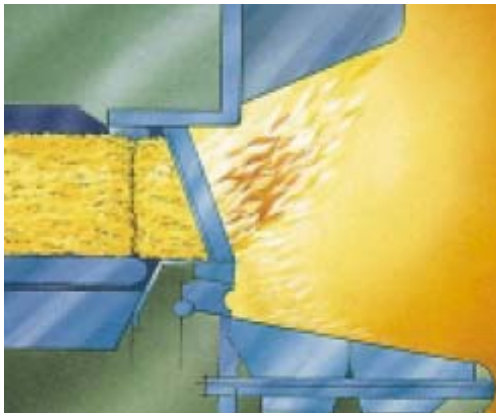


Joonis 4.13. Terve põhupalli põletamiseks sobiva kolde põhimõtteline skeem

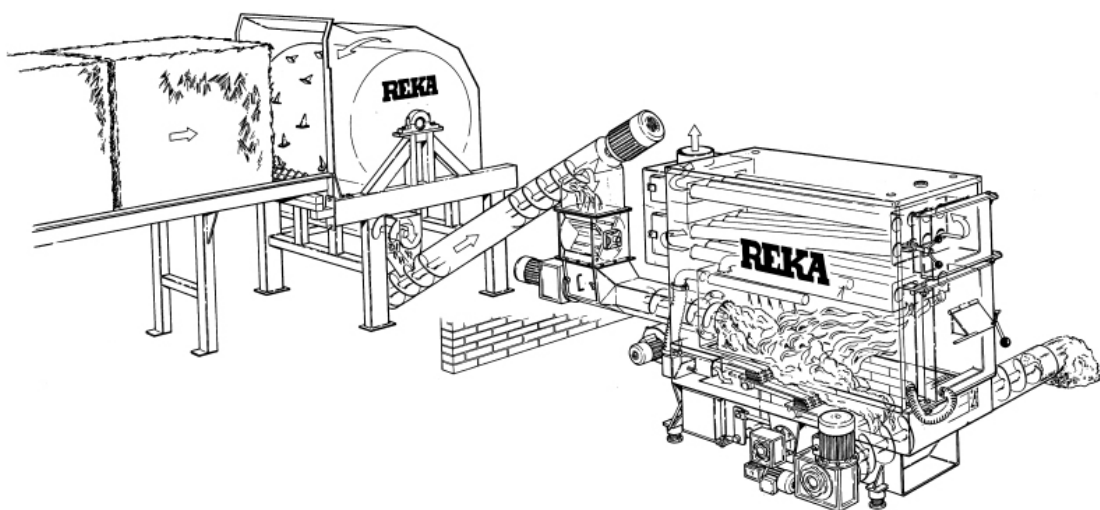
1 – õhu ventilaator; 2 – põlemisõhk; 3 – keraamiline paneel; 4 – suitsutorud; 5 – veesärk.

Põhupõletuskatelde efektiivsus sõltub lisaks kasutatavale tehnoloogiale ka seadme koormusest ja võimsusest. Näiteks eespool kirjeldatud tsüklilise põlemisega põhukatla kasutegur on umbes 10 % madalam kui automaatse söötmisega peenestatud põhu katla kasutegur, kusjuures mõlemal katlal koormuse suurenedes kasutegur suureneb.

Põhupalle on võimalik koldesse anda ka järjestikku ilma peenestamata. Sellise, nn „sigar“-tüüpi põletusviisi põhimõtteline skeem on esitatud järgneval joonisel (vt Joonis 4.14).



Joonis 4.14. „Sigar”-tüüpi põletusviis
põhupallide järjestikuse
söötmisega [43]



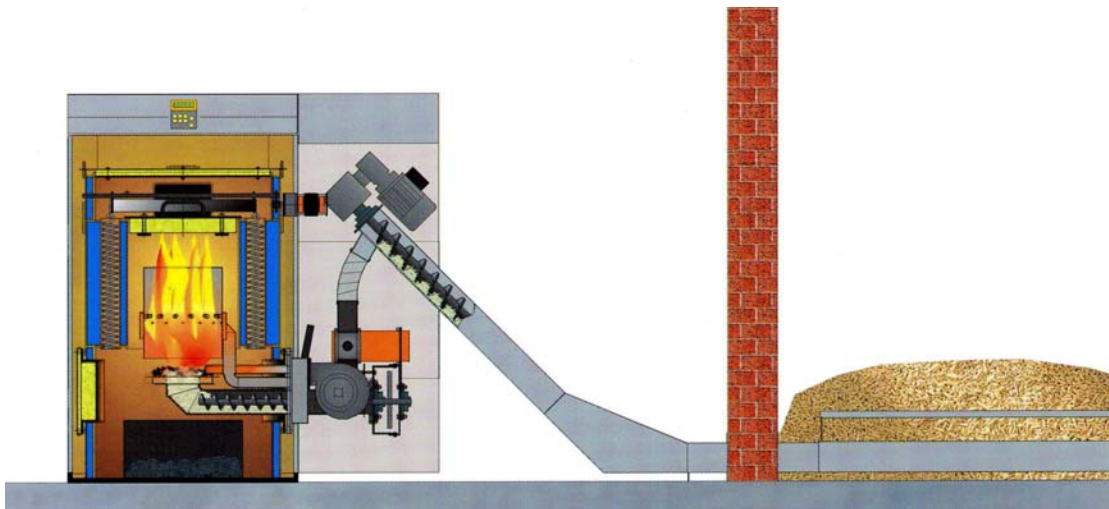
Joonis 4.15. Automaatne põhupõletamissüsteem põhupallide peenestamisega [43]

4.2.5. Pelletite põletamine ja tahkekütusepõletid

Pelletid on kõrgekvaliteediline homogeenne kütus, mille transport, ladustamine, edastamine ja isegi põletamine on peaaegu sama mugav ja kergesti automatiseeritav kui kerge vedelkütuse vastavad tööoperatsioonid.

Pelletite põletussüsteem (vt Joonis 4.16) koosneb järgmistest põhilistest komponentidest:

- kütuse ladu või mahuti;
- transportöör kütuse edastamiseks laost pelletipõletisse;
- pelletipõletiti;
- katel.



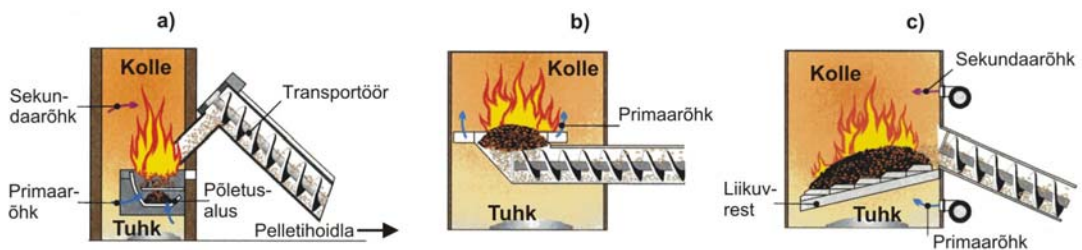
Joonis 4.16. Pelletite põletussüsteemi tehnoloogiline skeem [55]

Pelletid edastamine laost katla juurde on lihtne korraldada tigutranspordõõriga, mille otsast kütus vabalt tahkekütusepõleti tigusööti-asse langeb. Tavaliselt toimub pelletite põleti suudmes lendaine eraldumine, lendaine põlemine toimub aga katla kolderuumis.

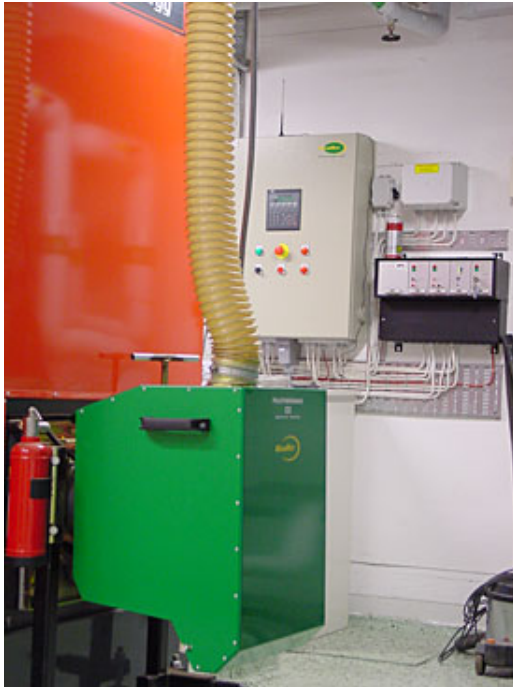
Üheks võimaluseks on spetsiaalselt pelletite põletamiseks konstrueeritud katelde kasutamine, kusjuures põleti on katla lahutamatu osa. Teiseks võimaluseks on pelletite põleti paigutamine kas vedel- või gaaskütusepõleti asemele. Pelletipõleti

võib katlaga ühendada ka mõne teenindusluugi kaudu.

Puidupelletid on kuiv lendainerikas kütus, mille süütamine ei ole raske ja mida saab kergesti automatiseerida. See asjaolu tõestab veenvalt, et minnes üle kergelt vedelkütuselt pelletitele praktiliselt ei kaotata kasutusmugavuse osas. Siiski tuleb pelletite põletamisel aeg-ajalt eemaldada tuhka, kuid enamasti pole seda vaja teha sagedamini kui kord või paar nädalas.



Joonis 4.17. Pelletite söötmise ja põletamise tehnoloogilised lahendused



Joonis 4.18. Pelletipõleti EcoTec 300 kW (Rootsi)

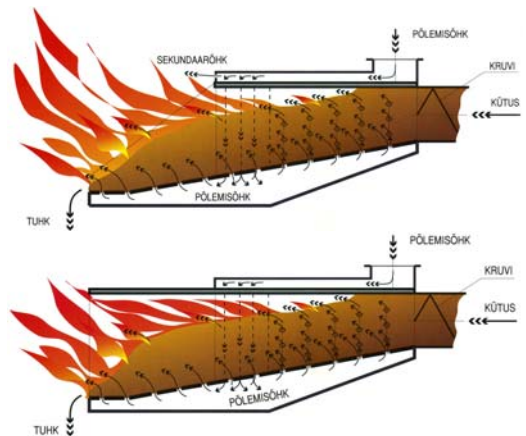
Peale pelletite on mõnes tahkekütusepõletis võimalik põletada ka teisi kütuseid, näiteks hakkpuitu, aga ka tükkturnast (vt Joonis 4.19). Reeglina peab sellistes põletites kasutatav kütus olema homogeenne ja soovitatavalt kuiv.



Joonis 4.19. Arimax BioJet tahkekütusepõleti võimusega 60 – 500 kW (Thermia OY, Soome)

1 – keraamiline põlemiskamber; 2 – malmist trepprest; 3 – veega jahutatav korpus.

Tallinna Tehnikaülikoolis on välja töötatud ja tootmiseks ette valmistatud kaks tahkekütusepõleti versiooni (vt Joonis 4.20), millest üks on ette nähtud kuiva ja teine märja kütuse põletamiseks. Sobivaimad kütused on tükkturnas ja hakkpuit. Maksimaalseks soovitatavaks niiskuseks on 35 %, kusjuures veelgi niiskema kütuse põletamisel ilmneb tuntav võimsuse langus (eriti tükkturna korral), põlemine muutub ebastabiilseks ja põlemiskaod suurenevad järsult.



Joonis 4.20. Tallinna Tehnikaülikoolis väljatöötatud tahkekütuse põletite skeemid kuivale (ülemine) ja niiskele (alumine) kütusele



Joonis 4.21. Tallinna Tehnikaülikooli tahkekütuse põleti koos 240 kW universaalkatlagaga

4.2.6. Katelde ümberehitamine teiste kütuste põletamiseks

Eespool toodud põletustehnoloogiate selgitused käsitlesid põhiliselt kolde-protsesse ja pöörasid vähe tähelepanu katlale, st soojusvahetuspindadele, mille kaudu põlemissoojus veele üle kantakse. Uutes biokütuse põletamise seadmetes moodustavad kolle ja selle juurde kuuluvad küttepinnad harmoonilise terviku. Põletustehnilisest seisukohast ja heitmete taseme osas on selline kompleksne lahendus tavaliselt eelistatum võrreldes olemasolevate seadmete osalise või täieliku ümberehitamisega.

Biokütuste või turba kasutuselevõtu korral varem fossiilkütusel töötanud katlamajas on mitu alternatiivset võimalust:

- söekatelde sobitamine biokütuste või turba põletamiseks;
- olemasolevale fossiilkütuste katlale eelkolde ehitamine;
- resti või keevkihtkolde ehitamine olemasoleva katla sisse;
- vedel- või gaaskütusekatla põleti asendamine tahkekütusepõletiga;
- kompleksse uue spetsiaalkatla paigutamine katlamajja kas mõne mahamonteeritud katla asemele või vabale kohale.

Söekatelde ümberseadistamine märksa kõrgema lendainesisaldusega ja madalama kütteväärtusega biokütuste või turba põletamiseks tavaliselt rahuldavat tulemust anda ei saa ning selline söekatelde kasutamine kõlbab ainult lühiajaliseks hädalahenduseks.

Vana katla täielik asendamine uue katlaga on põletustehnilisest seisukorrast samaväärne uue katlamaja ehitamisega, kuid võib osutuda odavamaks, sest saab kasutada olemasoleva katlamaja hoonet ning torustikke ja elektrivarustust. Ladude ja kütusetranspordööri sobitamine olemasoleva katlamaja kompleksi on siiski keerulisem kui uue katlamaja rajamine.

Kuna tahkekütusepõletite võimsus ei ulatu tavaliselt üle mõnesaja kilovati, siis see lahendus on kasutatav ainult sobiva võimsusega lokaalkatelde ja väiksemate kaugküttekatelde ümberseadistamiseks (vt punkt 4.2.4). Samuti sobib see lahendus ka paljudele üheperemaja kateldele.

Olemasolevale katlale eelkolde ehitamine on võimalik peaaegu iga katlatüübi korral, kuid arvestama peaks siiski asjaolu, et katla küttepinnad oleksin kergesti lendtuhast puhastatavad. Viimast asjaolu tuleks eriti silmas pidada leektoru-suitsutorukatelde eelkoldega varustamisel, sest eelkolle võib takistada horisontaalsetele suitsutorudele ligipääsu ja seega ka perioodilist puhastamist.

Biokütuste ja turba põletamisel sisaldavad põlemisgaasid paratamatult lendtuhka ja selle küttepindadele sadestumise vähendamiseks ning puhastamise lihtsustamiseks sobiksid hästi vertikaalsete suitsutorudega küttepindadega lahendused.

4.2.7. Väikekatlad

Katelde jaotamine suuruse järgi on üldiselt tinglik ja siinkohal käsitletakse väikekateldena katlaid, mis leiavad kasutamist eelkõige üheperemajade kütmiseks (vt ka Tabel 4.3). Siiski võivad väikekatelde tüüpilised tehnoloogilised lahendused sobida suhteliselt laia võimsuste diapasoni katmiseks.

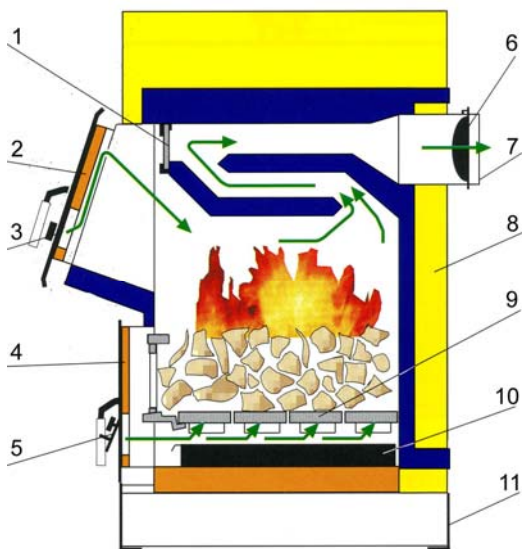
Siinkohal pööratakse põhitähelepanu halupuid ja väärindatud puitkütuseid kasutavatele seadmetüüpidele. Väikekatlad ongi reeglina orienteeritud kõrgema kvaliteediga ja väärindatud kütuste põletamiseks.

4.2.7.1. Ülemise põlemisega katlad

Enamik vanematest üheperemajade kütteks kasutatavatest kateldest on nn ülemise põlemisega katlad, mis esialgu olid arvestatud antratsiidi ja koksi, st lendosadevaeste kütuste põletamiseks. Selliseid kütuseid võib restile panna paksu kihina, kus nad hõõgudes peaaegu ilma leegita põlevad. Suur osa eraldunud soojusest antakse kiirgusega kolde

seintele. Sekundaarõhu vajadus on väike. Pole vaja ka suurt järelküttepinda suitsugaaside soojuse ärakasutamiseks, sest põhiline soojusvahetus toimub kolderuumis.

Lendosaderikaste kütuste (halupuud, puidu- või turbabrikett ja tükkturvas) põletamiseks sobiva ülemise põlemisega koldes jäetakse kütusekihi kohale piisavalt ruumi lendosade põlemiseks ja sinna juhitakse ka sekundaarõhku (vt Joonis 4.22). Põhiline osa soojusest eraldub kolde ülaosas leegis ning koldest lahkuvate suitsugaaside suurema soojusmahtuvuse tõttu peab järelküttepind olema suurem kui lendosade vaeste kütuste (kivisöed) põletamisel.



Joonis 4.22. Ülemise põlemisega katel Austria firmalt Eder

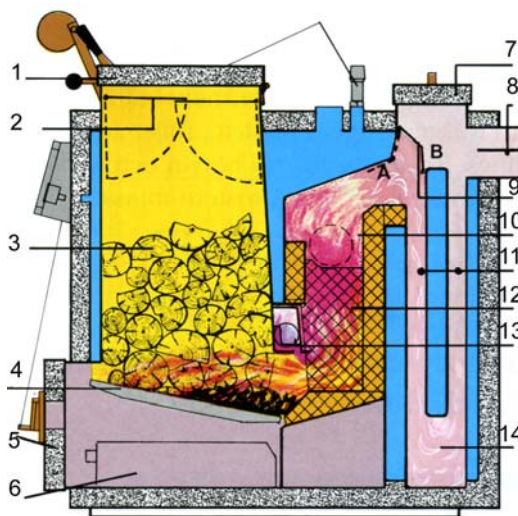
1 – eemaldatav ekraan; 2 – täiteluuk; 3 – sekundaarõhu klapp; 4 – alumine (tuha-) luuk; 5 – primaarõhu klapp; 6 – pöördsiiber; 7 – suitsutoru; 8 – isolatsioon; 9 – rest; 10 – tuhapann; 11 – sokkel.

Ülemise põlemisega halupuudele mõeldud kolde põhiliselt puuduseks on sagedane kütuse lisamise vajadus. Kogu koldes olev kütus asub põlemistsoonis ja põlemiskiirust saab primaarõhu koguse reguleerimisega ainult vähesel määral mõjutada. Nii

primaar- kui sekundaarõhu reguleerimine on ebatäpne ja põlemise kõrge efektiivsuse saavutamine raskendatud. Et vältida sagedast puude lisamist, valitakse tavaliselt maksimaalsest küttevajadusest võimsam katel ja ühendatakse see akumulaatorpaagiga.

4.2.7.2. Alumise põlemisega katlad

Ülemise põlemisega katlaga võrreldes võimaldab nn alumise põlemisega katel (vt Joonis 4.23) saavutada palju pikema põlemistsükli, sest mahukast kütusepunkrist valgub restile pidevalt uut kütust. Ainult osa kütusepunkriste laaditud kütusest võtab korraga põlemisest osa.



Joonis 4.23. Alumise põlemise katel Arimax, HÖGFORS LÄMPÖ OY, Soome

1 – täiteluuk; 2 – ekraanid; 3 – kütuse punker; 4 – rest; 5 – alumine teenindusluuk koos primaarõhu reguleerimise klappiga; 6 – tuhasahtel; 7 – puhastusluuk; 8 – pöördsiiber; 9 – siiber süütamise hõlbustamiseks; 10 – järelpõlemiskamber; 11 – suitsukäigud; 12 – keraamiline vooder; 13 – sekundaarõhk; 14 – puhastusluugi koht katla küljel.

Punkrist allapoole valgudes kütus kuivab ja kuumeneb. Resti lähedal toimub kütuse gaasistumine (lendaine eraldumine) ja

restil toimub järelejäänud söe põlemine. Gaasistunud kütuse (lendaine) järelpõlemiseks luuakse kütusešahti kõrval asuvas ruumis. (nn järelpõlemiskambris) lendaine süttimiseks ja põlemiseks vajalikud tingimused. Selleks on vaja sinna juhtida lisaõhku (sekundaarõhku) ning tagada piisavalt kõrge temperatuur. Viimase nõude täitmiseks on kas üks või mitu järelpõlemiskambri seina kaetud keraamilise voodriga.

Alumise põlemise katla töötssükkel võib olla küllaltki pikk, sageli 5 kuni 8 tundi. Halupuude või puitbriketiga kütmisel põleb šaht kiiremini tühjaks kui turbabriketi või tükk turbaga kütmisel. Alumise põlemisega katlasse tuleb kütust tunduvalt harvemini lisada kui ülemise põlemisega katlasse, seejuures vajatakse aga kuivemaid ja ühtlasema halusuurusega puid või briketti.

Põlemiskiirust saab primaarõhu klapiga kas käsitsi või automaatse põlemisõhu regulaatori abil juhtida. Automaatne regulaator juhib õhu andmist resti alla nii, et katla veetemperatuur püsiks soovitud tasemel.

Alumise põlemisega katlas sõltub põlemise efektiivsus (kasutegur) väga suurel määral primaar- ja sekundaarõhu vahekorrast, kuid õiget vahetorda on raske hoida. Et katla efektiivsus püsiks kõrge, soovitatakse katel ühendada süsteemi läbi akumulaatorpaagi, et vältida tööd madalal ja halva kasuteguriga režiimil, mille korral tõuseb ka suitsugaaside vingugaasisisaldus ebasoovitavalt kõrgeks.

4.2.7.3. Pöördpõlemisega katlad

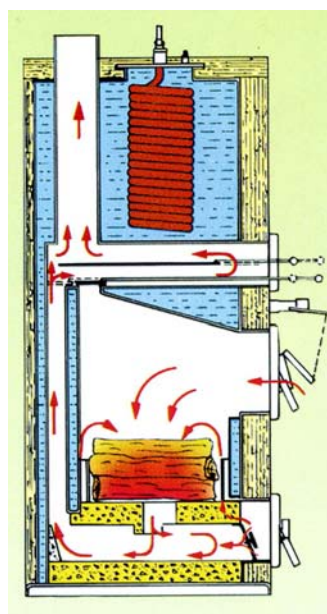
Alumise põlemisega katla edasiarendusena on sündinud nn pöördpõlemisega katel (vt Joonis 4.24 ja Joonis 4.25), milles kasutatakse põlemist stabiliseerivat, tavaliselt kas keraamilisest või metallokeramilisest materjalist resti.

Kõrge töötemperatuuriga kuumakindel rest garanteerib eeskujulikud põlemistingimused ka katla muutuva koormuse

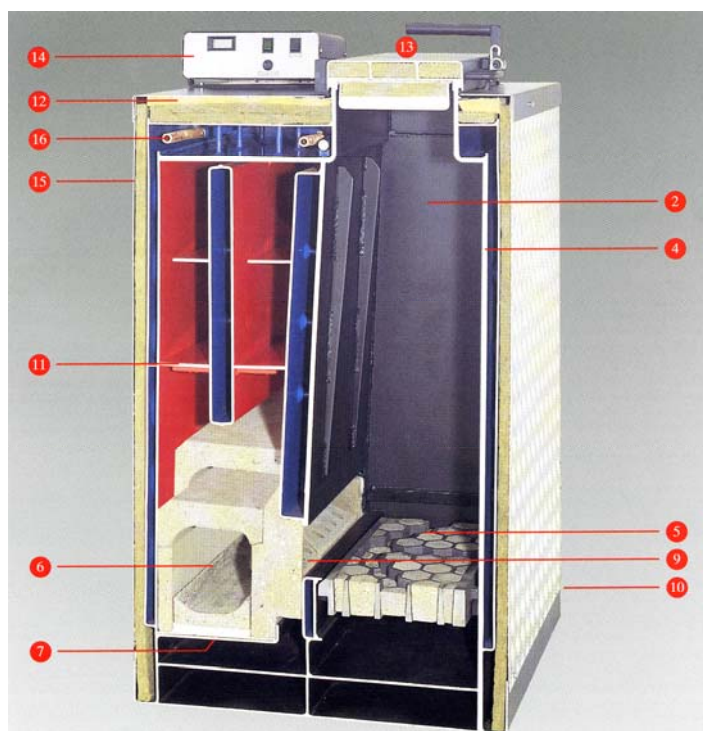
korral ja katla efektiivsus on kõrge ning kahjulike heitmete sisaldus väljuvates suitsugaasides madal.

Restile esitatakse väga kõrgeid nõudmisi – ta peab olema nii kuumakindel kui löögikindel kogu katla tööea vältel, kusjuures kütusešahti täitmisel puud paratamatult võivad restile kukkuda. Loomulikult on selline rest kallis.

DRAGON katlal (vt Joonis 4.25) on võimalik kasutada mitmeid eri kütuseid, kusjuures puudega kütmisel kasutatakse täitmiseks luuki 1, hakkpuiduga kütmisel aga luuki 13. Selle katla kütusešahti laius võimaldab sõltuvalt mudelist kasutada 0,5 või 1 m pikkusi halge ja katelde võimsused jäävad 15 ja 70 kW vahemikku.



Joonis 4.24. Pöördpõlemisega katel
EXONOM A25 BX MILJÖ
Rootsi firmalt EURONOM, mille
veemahus paikneb spiraalne
tarbevee soojusvaheti



1, 3, 8, 13 – kütuse täite- ja teenindusluugid; 2 – alt laienev kütuse šaht; 4 – jahutatav šahti sein; 5 – keraamiline rest; 6 – keraamiline järelpõlemiskamber; 7 – järelpõlemiskambri all paiknev põlemisõhu jaotus- ja reguleerimisüsteem; 9 – avad põlevgaasidele; 10 – suitsugaaside temperatuuri reguleerimisklapp (katla taga); 11 – suitsugaaside suunajad; 12 – isolatsioon; 14 – juhtimispaneel; 15, 17 – välissein; 16 – soojusvaheti.

Joonis 4.25. Pöördpõlemisega katel DRAGON Austria firmalt GRIM GmbH

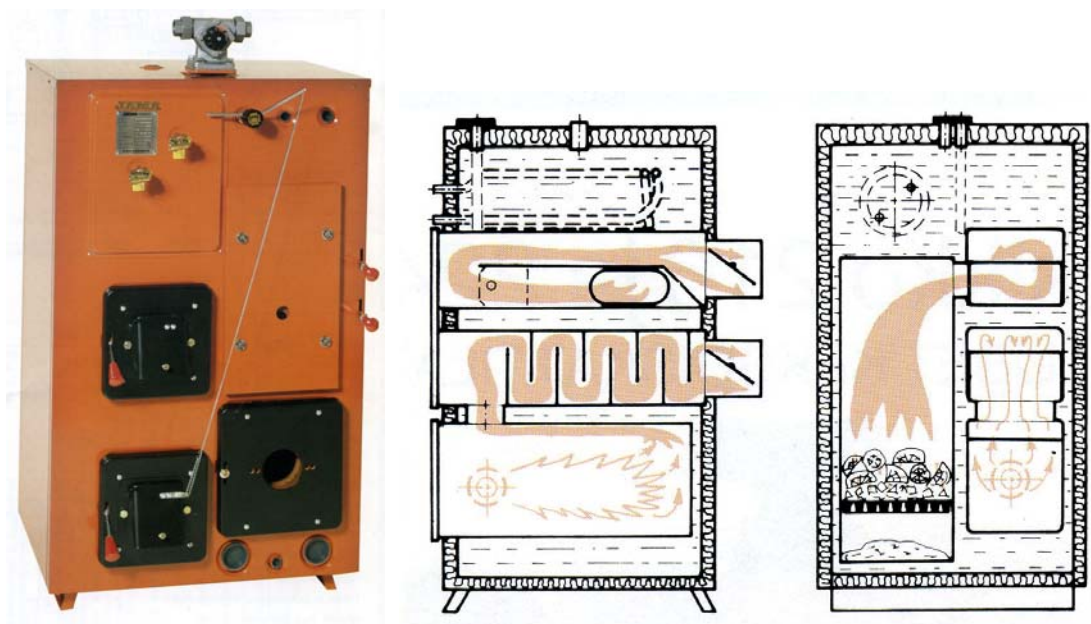
4.2.7.4. Kaksik- ja universaalkatlad

Puidukatla universaalsust on võimalik saavutada mitmel viisil. Ühe lihtsama võimalusena paigutatakse katla veemahtu elektriküttekehad, mis lülitatakse automaatselt töösse niipea kui katlavee temperatuur allapoole etteantud miinimumtemperatuuri langeb. Kuna elektrilised küttekehad ja nende juhtimise automaatika pole kallid, võib sellise võimaluse ette näha iga väikekatla konstrueerimisel.

Teiseks võimaluseks on vahetatavate koldeuste kasutamine. Ülemise või alumise põlemisega katla ukse või teenindusluugi saab asendada sellisega, millel on

vedelkütuse põleti ühendamiseks sobiv ava. Sellisel juhul saab puidukatla lihtsa ümberseadistamise teel muuta vedelkütusekatlaks või vastupidi.

Võimalikud on ka sellised tehnilised lahendused, kus katla puidukatlana töötamise ajal pole tarvis vedelkütuse põletit katla küljest lahti monteerida ja põleti lülitub automaatselt tööle siis, kui puud koldes on lõpuni ära põlenud ja vee temperatuur langeb. Mõnikord konstrueeritakse katla ühtsesse veesärki kaks teineteisest täiesti eraldatud põlemiskambri ja suitsukäiguga kollet. Niisuguseid katlaid kutsutakse kaksikkateldeks, mille üks näide on toodud joonisel (vt Joonis 4.26).



Joonis 4.26. Kaksikkatel Jämä Kaksikko Soome firmalt JÄMÄTEK ky

Alates vasakult: esivaade, vedelkütuseosa lõige ja ülemise põlemisega tahkekütuseosa lõige.

4.2.7.5. Pelletikatlad

Üheperemajade kütteks sobivad eriti hästi pelletid ning neid võib lisaks kateldele kasutada ka kaminates. Eespool kirjeldatud pelletite põletusviisid (vt punkt 4.2.4) on ühtviisi rakendatavad nii üheperemajade katelde kui suuremate katelde korral.

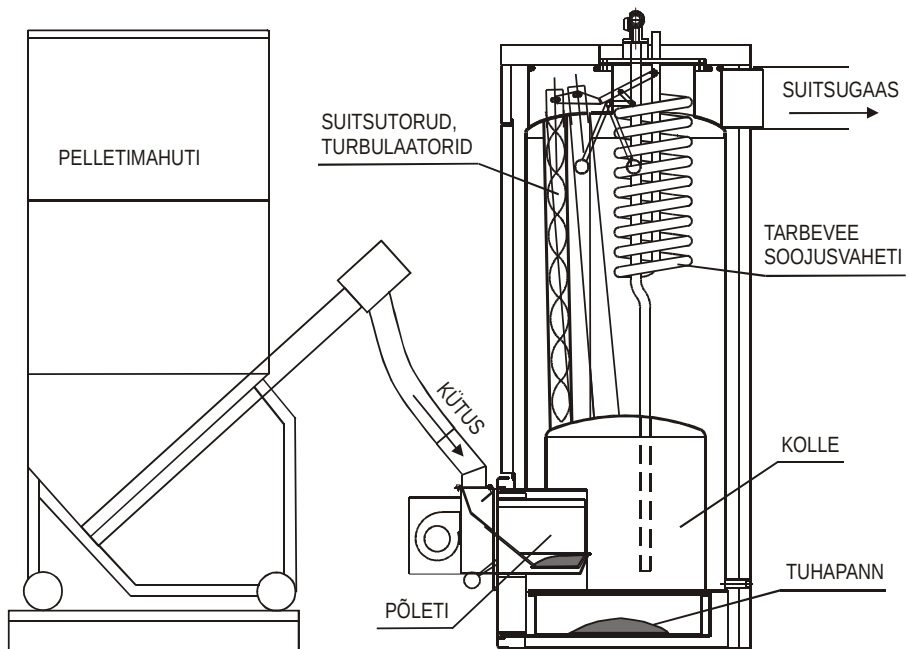
Järgnevatel joonistel (vt Joonis 4.28 ja Joonis 4.29) on toodud laialt levinud viis pelletipõleti kasutamiseks koos väikekatlaga. Kuna pelletipõletit (vt Joonis 4.27) on võimalik sobitada ka kerge vedelkütuse katlaga, poleks üleminekul vedelkütuselt pelletitele katelt tarvis välja vahetada. Vajalik on vaid pelletipõleti sobitamine vedelkütusepõleti asemele.



Joonis 4.27. Pelletipõleti Iwabo VillaS kahes vaates



Joonis 4.28. Väikekatel Malle (20 kW) koos pelletipõleti Iwabo VillaS ja pelletite etteandmise süsteemiga



Joonis 4.29. Tallinna Tehnikaülikoolis väljatöötatud väikekatel Pelle koos pelletimahuti, sööteseadme ja põletiga Iwabo Villa

5. KÜTUSE LAOD JA TRANSPORTÖÖRID

5.1. Erinevate omadustega tahkete biokütuste ladustamise üldised nõuded

Käesolevas peatükis käsitletakse põhiliselt neid ladusid ja transportööre, mis on arvestatud hakkpuidu, teraviljapõhu, freesturba, tükkturba, ka põletamiseks sobivate biojäätmete (olmejäätmete) jaoks. Vähem tähelepanu pööratakse halupuude ja puidupelletite ladustamisele, sest neid kütuseid kasutatakse väiksemates, enamasti alla 300 kW võimsusega lokaalkütteseadmetes. Pelletid on ühtlase (homogeense) iseloomuga kütus ja nende säilitamise ja edastamise seadmetest saab ettekujutuse ka teistes osades esitatud põletusseadmete skeemidelt (vt punkt 4.2.5, Joonis 4.16).

Pelleteid kasutatakse mõnel maal (näiteks Rootsis) laialdaselt ka suurtes seadmetes, kuid enamasti jahvatatakse kütus enne tolmpõletuskoldesse andmist ja kütuse ettevalmistus ei erine sel juhul oluliselt fossiilsete tahkekütuste ettevalmistamisest.

Tüüpiline biokütusekatlamaja on konstrueeritud paiknevana ümber tahkekütusekatla. Selline katlamaja võimsusega 1 – 10 MW koosneb üldjuhul järgmistest põhielementidest ja abiseadmetest:

- kütuse ladu;
- kütuse teisaldusseadmed;
- kütuse vahepunker;
- katla toitesüsteem (kütuse söötmine koldesse);
- põletusseade-katel,
- suitsugaasi puhastusseadmed,
- tuhaärastuse seadmed.

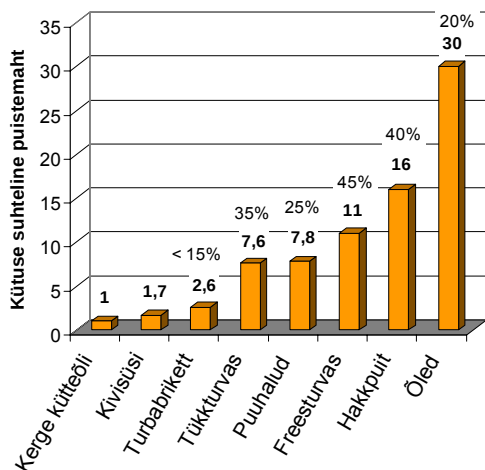
Selleks, et määrata uue katlamaja vajalik võimsus on vaja teada ühendatava küttesüsteemi aastast soojustarvet. Samuti on vaja teada soojustarve ööpäevast ja

aastast muutust (vt punkt 7.2, koormuskestusköver). Vastavalt eeltoodule määratakse katlamaja laos hoitav vajalik kütusevaru.

Katlamajas hoitava kütusevaru suurus ja seega kütuselao maht sõltuvad mitmetest asjaoludest, sealhulgas ka kütusetarnijaga sõlmitud lepingust. Üldjuhul loetakse minimaalseks 5 ööpäevast kütusevaru maksimaalse soojuskoormuse korral. Selline varu kindlustab katlamaja töö nädalalõppudel ja pühadel ekstreemsete ilmastikutingimuste korral. Tuleohutuse tagamiseks ei soovitata kütust ladustada üle 8 meetri kõrgustesse kuhjadesse.

Ohutustehnika. Puiduhakke laos töötades valitseb oht allergilise tolmu või mikroorganismide sissehingamiseks. Seetõttu peab ladu olema hästi ventileeritud ja laos ei soovitata töötada üksinda.

Erinevatel biokütustel on vägagi erinev puistemaht ja seda tuleb ladude projekteerimisel arvestada. Joonisel (vt Joonis 5.1) esitatakse mitmete tahkekütuste mahud, mis annaksid täielikul põlemisel sama soojushulga kui kerge kütteõli, st võrdluse aluseks on võetud kerge kütteõli maht.



Joonis 5.1. Kütuste puistemahtude võrdlus (näidatud ka kütuste keskmine niiskus protsentides)

Kui hakkpuidu, tükkturba ja ka freesturba ladustamise ja katlasse andmise seadmed erinevad vähe ja põhiliselt ainult transportööride konstruktsiooni osas, siis teraviljapõhk on oma omadustelt sedavõrd erinev kütus, et vajab eritingimusi ladustamisel ja spetsiaalselt sellel kütusele arvestatud tehnoloogilist lahendust katlasse andmisel.

Biokütuse ladu peab rahuldama järgmisi põhinõudeid:

- kaitsma kütust ilmastikumõjude, pinnase- ja põhjavee eest;
- ladu peaks olema mehhaniseeritud, suurematel võimsustel ka automatiseeritud;
- kütust kohale toimetaval transpordivahendil peab olema võimalik koorem maha panna otse lattu või mehhaniseeritud vastuvõtuseadmesse.

Põhilised tõrked biokütuse katlamajade töös leiavad aset kütuse transpordil laost katla toiteseadmesse. Seetõttu on kogu transportsüsteem laost kuni katlani väga olulise tähtsusega. Kogu katlamaja töö seiskub, kui kütuse transportahelas mõni lüli katkeb. Biokütuse (puiduhakke) katlamajade ladudes kasutatakse sageli enne katlasse suunamist kütusepurustit. Purusti ülesanne on suurte külmunud kütusekamakate peenestamine.

5.2. Ladude tüübid

Laod võib tinglikult jagada:

- vahelaoks (kütusehoidla) – ligikaudu viie päevase kütusevaru mahutamiseks ja
- põhilaoks – kuni ööpäevase kütusevaru mahutamiseks ja katla automatiseeritud varustamiseks kütusega.

Vaheladu ja põhiladu paiknevad enamasti ühes ehitises, näiteks betoonpõrandaga viilhallis (vt Joonis 5.2). Vaheladu võib paikneda ka eraldi. Puiduhakke korral võib vahelaoks olla ka betoneeritud või asfalteeritud lahtine väljak, kuid sellisel

juhul on kütus ilmastikumõjude eest kaitsmata.



Joonis 5.2. Kütusehoidla – vaheladu, foto Ü.Kask

Suurema võimsusega automatiseeritud katlamajades kasutatakse põhilao täitmiseks automaatotsijaga greiferkraanat (vt Joonis 5.4). Väiksemates katlamajades kasutatakse kütuse transpordiks vahelaost põhilattu ka buldooseri või frontaallaaduriga traktorit (vt Joonis 5.3).



Joonis 5.3. Frontaallaaduriga traktor kütuse põhilaos Peetri katlamajas, foto Ü.Kask

Tükkturba mehaaniline ladu kujutab endast kütuse vastuvõtmis-, tühjendamisseadmete ja sinna juurde kuuluvate ehitiste kompleksi. Ladu võib oma konstruktsioonilt olla kas halli-tüüpi või punkerladu.

Punkrid võivad olla, kasvõi osaliselt, sissesõidetavad – selleks tehakse punkri üks sein või katus avatavad. Kasutatakse ka auto tühjakslaadimist estakaadilt või täiendavat vastuvõtuseadet. Esimesel juhul sõidab veok estakaadile või maapinna kõrgendusele ja kallutab kütuse punkrisse ülalt. Seda varianti kasutatakse peamiselt juhul kui veok kallutab küljele. Teisel juhul on veok taha kallutatav või on varustatud transportööriga veokasti tühjendamiseks. Kolmandaks võimaluseks on veoki tühjendamine maapinna nullnivoolt süvistatud punkrisse või maapinnale kallatud kütuse transportimine täiendava transportööriga maapinnal paiknevasse punkrisse.

Üldjuhul peab punker olema vertikaalsete seintega või alt laienev. Vastasel juhul võib suure tõenäosusega tekkida kütusest võlv punkrit tühjendava seadme kohale. Niiske kütuse punkri seintele ja põhjale kinnikülmumise vältimiseks kaetakse punkri piirded veekindla (libeda) vineeriga. Puhta ja kuiva tükkturba korral (20 mm-st peenemaid tükke alla 5 %, niiskus alla 33 %) on võlvi tekkimise oht väike ja seetõttu võib ladu olla ka alt kitsenev. Sellise hoonest väljas paikneva lao seinad peavad olema soojustatud ja ka soojendatavad. Mainitud lao suurus on piiratud ja tuleb piirduda ühe astme võrra väiksema varuga (näiteks 3 päeva asemel 1 päev).

5.3. Kütuste transpordi ja edastamise seadmed

Nagu eespool mainitud kasutatakse suuremates katlamajades põhilao täitmiseks buldooseri ja frontaallaaduriga traktorit või automaatotsijaga greiferkraanat. Traktorit kasutatakse juhtudel kui vaheladu asub kas samas ehitises põhilaoga või eemal. Greiferkraanat saab kasutada juhul kui põhi- ja vaheladu asuvad samas ehitises. Mõnikord antakse greiferkraanaga kütus otse koldesse söötmise seadmetesse.

Greiferkraana (vt Joonis 5.4). Kraana on suure tootlikkusega transportseade, mis sobib hästi ka madalakvaliteedilise kütuse

transportimiseks. Oluline on kasutada kihvadega haaratseid. Siledade haaratsite korral on kopa täitumine raskendatud. Kui suurte katlamajade korral on kraana suhteliselt odav lahendus siis väga väikeste katlamajade jaoks osutub kraana liiga kalliks.



Joonis 5.4. Greiferkraana, foto Ü.Kask

Põhilao konstruktsiooni kuuluvad lao tühjendamiseseadmed. Põhinõuded lao nendele seadmetele on järgmised:

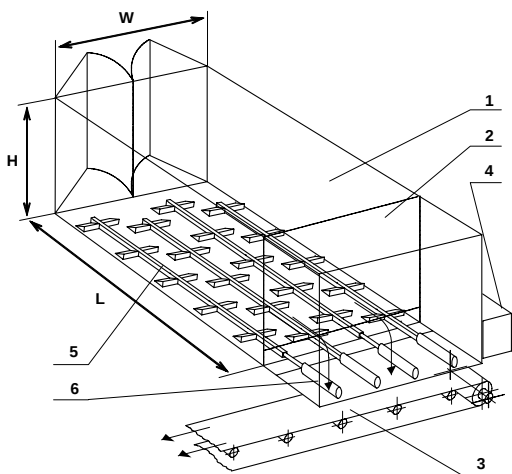
- peavad tagama vajaliku tootlikkuse ja võimaldama tootlikkust reguleerida;
- väljalaadimise ava ei tohi ummistuda;
- tühi ladu peab välja kannatama dünaamilise löögi langevast kütusest;
- kütuse andmine peab lõppema hetkeliselt seadme seiskamisel;
- tühjenema peab kogu lao põhi;
- tühjendamiseseade ja lao konstruktsioon peab välistama võlvi tekkimise;
- konstruktsioon peab olema tulekindel;
- välistatud peab olema tolmine;
- materjalide valikul tuleb arvestada kulumisega.

Lao tühjendamiseseadmetest on enam levinud järgmised:

- rooplatid;
- kettkraap;
- liikuv kruvi: jaguneb omakorda telje pöörleva liikumisega ja kulgeva liikumisega kruviks;
- kruvipõhi;
- hüdrorootor.

Järgnevalt vaatleme lähemalt enamlevinud põhilao tühjendusseadmeid.

Hüdraulilised rooplatid (vt Joonis 5.5). Lao põhjas on kolmnurkse profiiliga rooplatid, mis on kinnitatud piki ladu paiknevatele taladele. Talasid koos rooplattidega liigutavad edasi-tagasi hüdraulilindrid (vt Joonis 5.6). Roobi kuju ja naaberroopide vastassuunaline liikumine tagab kütuse suunatud liikumise. Madala kihi korral liigub osa kütust edasi-tagasi. Sellise liikumise vähendamiseks kasutatakse punkri põhja erikonstruktsioone. Kütuse väljalaadimise ava peab ulatuma üle kogu punkri põhja ja transportöör peab tagama kogu sinna tõugatud kütuse äraviimise. Kasutatakse risküliku kujulise tasase põhjaga ladude tühjendamiseks.



Joonis 5.5. Rooplattidega tahkekütuseladu

1 – punker; 2 - punkri esisein; 3 – lintransportöör; 4 – õlijaam; 5 – rooplatt; 6 – hüdraulilinder.



Joonis 5.6. Rooplatte käitavad hüdraulilindrid (Saxlund)

Rooplattidega lao eelised on järgmised:

- lao põhi paikneb maapinnal;
- konstruktsioon on töökindel, kivid ja kannud ei häiri lao normaalset tööd;
- kütusekihi kõrgus võib olla kuni 10 m;
- hooldamist vajavad seadmed (hüdraulika) asuvad väljaspool kütuse paiknemise tsooni;
- ladu on konstruktsioonilt lihtne.

Rooplattidega lao puudused:

- suhteliselt suur võimsustarve;
- ladu ei tühjene ühtlaselt ja täielikult;
- kõrgendatud nõuded konstruktsiooni (hoone) tugevusele.

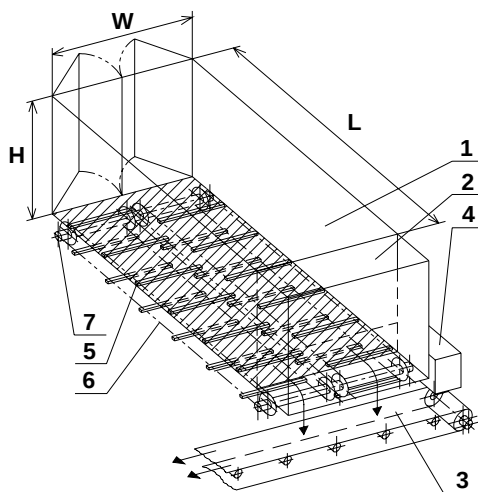
Kettkraap (vt Joonis 5.7). Ketiratastele on paigutatud kitsamatel ladudel 2, laiematel 4 ketti. Kettide vahele on kinnitatud 1 või 2 rida latti- või nurkrauast kraape. Kette käitav ajam asetseb lao väljalaadimisava poolses otsas, ülemine ketiharu on vedav. Kuna liikumiskiirused on väga madalad, 1...25 cm/s siis on kasutusel pörmehhanism, mida käitatakse hüdro- või elektrialamilt ning mõnikord ka hüdr mootorilt. Liikumine toimub ühes suunas. Kasutatakse samuti risküliku kujulise tasase põhjaga ladude tühjendamiseks. Kettkraabi eelised on:

- kütuse väljalaadimine punkrist on ühtlane ja seda on lihtne reguleerida;

- vajalik võimsus on väiksem kui rooplattidel;
- punker tühjeneb täielikult.

Kettkraabi puudused:

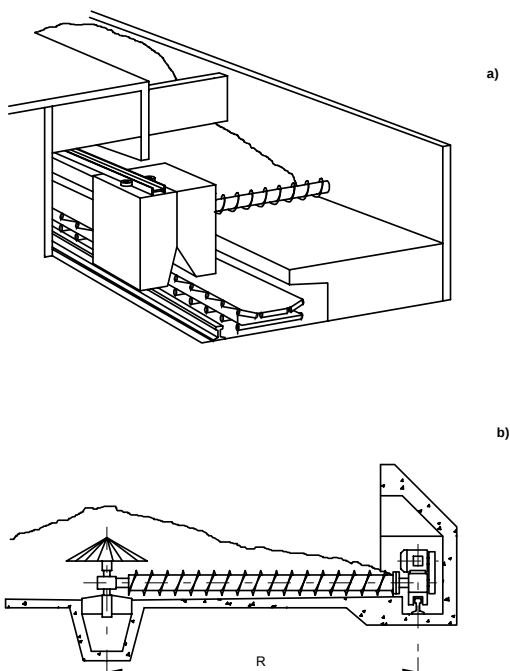
- suurem keerukus ja seetõttu ka väiksem töökindlus kui rooplattidel;
- ladu peab olema tagasiliikuva ketiharu paigutamiseks ja ka puhastamiseks alt tühi;
- lae laius ja kütusekihi kõrgus on piiratud (kõrgus kuni 5 m).



Joonis 5.7. Kettkraappõhjaga tahkekütuseladu, foto Ü.Kask (ülal)

1 – punker; 2 – punkri esisein; 3 – linttransportöör; 4 – õlijaam; 5 – kraap; 6 – veokett; 7 – pingutusrull.

Kruvitransportöörid (vt Joonis 5.8). Eristatakse liikuva ja paikse teljega kruvitransportööre. Esimesed jagunevad omakorda kulgeva ja pöörleva teljeliikumisega transportöörideks. Kulgeva liikumisega kruvitransportööre kasutatakse ristkülikukujulise tasapinnalise põhjaga punkrite korral. Selline pöörlev kruvi liigub punkri põhjal edasi-tagasi, kandes kütuse punkrist välja punkri otsa all risti paiknevale transportöörile. Pöörleva teljeliikumisega kruvitransportööre kasutatakse kas koonilise või tasapinnalise põhjaga silindriliste punkrite puhul. Pöörlev kruvi transpordib kütuse punkri põhja keskmisesse avasse, kust kütus satub järgmisele transportöörile. Paikse teljega kruvitransportööre võib punkri põhjas olla üks või mitu. Esimesel juhul on punker alt kitsenev ja sellise punkri kasutusvaldkond on piiratud. Taolise konstruktsiooniga punker on kasutatav vaid sõelutud ja kuiva tükkturba korral.



Joonis 5.8. Kruvitransportöörid laopõhjal

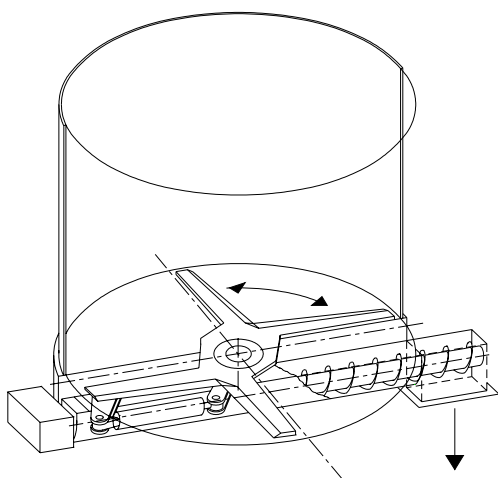
a) kulgeva liikumisega transportöör;
b) pöörleva teljeliikumise transportöör.

Kruvide põhilised eelised:

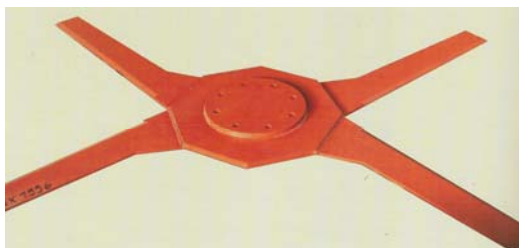
- suur võimalik pikkus;
- ühtlane tootlikkus;
- täpne tootlikkuse reguleerimine.

Kruvide puudused:

- suur kulumine;
- tundlikkus metalli, kivide, puuokste, kändude jne suhtes;
- suur käivitamismoment;
- peenendab teisaldatavat materjali (oluline tükkturba korral).



A. Punker



B. Rootor

Joonis 5.9. Hüdrorootoriga punker (Saxlund)

Hüdrorootor (vt Joonis 5.9). Silindrilise punkri tasapinnalisel põhjal asetseb mitmetiivaline rootor, millele annavad edasi-tagasi pöörleva liikumise punkri põhja all paiknevad hüdrocilindrid. Rootori

profileeritud labad tõukavad kütuse punkri põhjas asuvasse avadesse, mille all paikneb transportöör. Hüdrorootoreid kasutatakse kütuse väljalaadimiseks kuni 10 m läbimõõduga ja kuni 25 m kõrgustest silindrilistest punkritest.

Loetletud laotühjendusseadmete plussidest ja miinustest tulenevalt sobivad need erinevatele kütustele erinevalt. Tabelites (vt Tabel 5.1 ja Tabel 5.2) on hinnatud erinevate laotühjendusseadmete ja ka transportööride sobivust tükktribale ja hakkpuidule. Viimane on sageli turbakateldele reservkütuseks. Andmed pärinevad allikast [50].

Tabel 5.1. Lao tühjendusseadmete sobivus tahketele kütustele

Seadme nimetus	Tükktribas	Hakkpuit
Rooplatid	++	+++
Kettkraap	+++	+++
Liikuv põhi	++	+++
Kruvipõhi	+	++
Hüdrorootor	+	+++

+ sobib piirangutega

++ sobib

+++ sobib hästi

Tabel 5.2. Transportööride sobivus tahketele kütustele

Seadme nimetus	Tükktribas	Hakkpuit
Tigu-transportöör	+	++
Lint-transportöör	+++	+++
Elevaator	+	+++
Kettkraap	+++	+++

+ sobib piirangutega

++ sobib

+++ sobib hästi

6. BIOKÜTUSEID KASUTAVATE KATLAMAJADE KESKKONNAMÕJUDE LEEVENdamINE

Kuigi biokütuste katlamaja loetakse keskkonnasõbralikuks, mõjutab iga tehnoloogia mingil määral nii looduslikku keskkonda kui piirkonna elanike elukeskkonda. Biokütuse katlamaja otsesed mõjud ümbritsevale keskkonnale oleksid kokkuvõtlikult järgmised:

- gaasilised ja tahked heitmed atmosfääri;
- tuhk, mis tuleb utiliseerida;
- müra;
- kütuse transport raskeveokitega.

Võimaliku müra ja raskeveokite liiklemise ebasoovitavaid mõjusid saab leevendada katlamaja asukoha valiku ja õige planeerimisega, tahkete ja gaasiliste heitmetega võitlemiseks tuleb aga palju enam tähelepanu pöörata põletus- ja gaasipuhastustehnoloogia täiustamisele, mis peavad looma võimalused ühe rangemaks muutuvate keskkonnanõuete täitmiseks.

6.1. Tahked ja gaasilised heitmed

Põlemisel katlas tekkivad tahked heitmed võib tinglikult jagada põhjatuhaks ja lendtuhaks. Biokütuste põletamisel langeb põhjatuhk kolde põhja, kogutakse ja transporditakse tavaliselt kas kruvikonveieri või kettkraapranspordööri kogumispunktesse. Lendtuhk on tuha osa, mis kantakse suitsugaasidega läbi katla suitsukäikude korstnasse.

Tahkete heitmete summaarne kogus sõltub otseselt kasutatava kütuse tuhasisaldusest. Hakkpuidu ja saepurupelletite tuhasisaldus kuivaines on üldjuhul alla 1 %. Puhta hakke (kooritud) tuhasisaldus võib olla ka alla 0,3 %. Kasutades madalama kvaliteediga tooret (sisaldab rohkem koort, mis võib olla pinnasega saastunud) võib tuhasisaldus olla ka kõrgem (isegi üle 5 %).

Turba tüüpiline tuhasisaldus on 4 – 6 %, mis koguliselt on umbes 10 korda enam kui puhtal puitkütusel. Teraviljapõhu tuhasisaldus jääb piiridesse 3 – 5 %.

Lisaks kogustele tuleb tuha ladustamisel või utiliseerimisel arvestada ka tema koostisega.

Kahjulikeks gaasilisteks heitmeteks loetakse eelkõige väävliheitmeid (SO_2), lämmastikuheitmeid (NOx ⁷), vingugaasi (CO) ja põlemata süsivesinikke ning süsihappegaasi (CO_2).

Eraldi tuleks käsitleda süsihappegaasi heitmeid, mille sisalduse tõus atmosfääris põhjustab globaalset kliima soojenemist. Samas biomassi kasvamisel absorbeeritakse fotosünteesi toimet atmosfäärist samapalju süsihappegaasi kui sinna hiljem põletamisel tagasi paisatakse. Lisaks tasub märkida, et ka biomassi kõdunemisel looduses eraldub süsihappegaas atmosfääri. Kui biomassi põletada tema loodusliku juurdekasvu ulatuses, siis biomassi põletamisel atmosfääri paisatav süsihappegaas selle sisaldust atmosfääris ei mõjuta ning seda süsihappegaasi ei võeta ka rahvusvaheliste kokkulepete alusel kasvuhuonegaasina arvesse.

Vingugaasi ja põlemata süsivesinike heitmete kontsentratsioon suitsugaasides sõltuvad praktiliselt ainult põlemistingimustest ja põlemisõhu otstarbekast ühtlasest jaotamisest.

Väävli- ja lämmastikuheitmed sõltuvad nii põlemisprotsessist kui väävli ja lämmastiku sisaldusest kütuses. Enamikes biokütustes (ka turbas) ei ole lämmastiku- ja väävli-sisaldus eriti kõrged ning nende ühendite püüdmist suitsugaasidest rakendatakse biokütuste põletusseadmetes harva.

⁷ tähist NOx kasutatakse lämmastikoksiidide NO ja NO_2 tähistamiseks, lisaks võib lämmastik heitmetes olla veel naerugaasi (N_2O) kujul

6.2. Saasteainete emissiooni piiramiseks kehtestatud normatiivid

Suurtest põletusseadmetest välisõhku eralduvate teatavate saasteainete heitkoguste piiramist käsitleva direktiivi 2001/80/EÜ peamiseks eesmärgiks on oluliselt vähendada saasteainete eraldumist välisõhku ning selleks sätestatakse teatavatele saasteainetele piirväärtused. Suur põletusseade selle direktiivi tähenduses on põletusseade, mille soojusvõimsus on vähemalt 50 MW, sõltumata kasutatava kütuse liigist.

Biomass on määratletud toodetena, mis koosnevad täielikult või osaliselt põllumajandusest või metsandusest pärit taimsest aineist, milles sisalduvat energiat saab kütusena taaskasutada, lisaks kuuluvad biomassi hulka järgmised kütusena kasutatavad jäätmed:

- põllumajanduse ja metsanduse taimsed jäätmed;
- toiduainetööstuse taimsed jäägid;
- värske paberimassi tootmise ja pabermassist paberi tootmise kiulised taimsed jäägid, juhul kui need põletatakse nende tekitamise kohas;
- korgijäätmed;
- puidujäätmed, eelkõige ehitamisel ja lammutamisel tekkivad puidujäätmed, välja arvatud need, mis võivad puidukaitseainetega töötlemise või pinna katmise tulemusena sisaldada halogeenitud orgaanilisi ühendeid või raskmetalle.

Saasteaine heitkoguse piirväärtus põletusseadmest väljuvate gaaside mahuühiku kohta on välisõhku eralduva saasteaine lubatud piirkogus ühe normaalkuupmeetri (temperatuuri 273 K ja rõhu 101,3 kPa juures) kuiva suitsugaasi kohta. Tahke kütuse, sealhulgas biomassi, korral on piirväärtused antud suitsugaasides hapniku sisaldusel 6 mahu-protsendi.

Tagamaks nii aastaks Eestile summaarselt kehtestatud piirkoguste järgimist kui välisõhu kvaliteedi lokaalset tagamist on Eesti keskkonnaministri määrusega nr. 112 kehtestatud saasteainete heitkoguste piirväärtused suurtele põletusseadmetele.

Võimaldamaks ära kasutada juba varem ehitatud seadmete tööressurssi ilma suuri keskkonnakaitselisi investeeringuid tegemata, vaadeldakse eraldi uusi ja olemasolevaid põletusseadmeid.

Tabel 6.1. Vääveldioksiidi heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus, mg/Nm ³
50 ≤ P ≤ 100	2000
100 < P ≤ 500	2000 ... 400*
P > 500	400

* – lineaarne vähenemine vastavalt soojusvõimsuse suurenemisele.

Tabel 6.2. Vääveldioksiidi heitkoguste piirväärtused biomassi kasutavatele uutele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus, mg/Nm ³
P > 100	200

Tabel 6.3. Lämmastikdioksiidide heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus, mg/Nm ³
50 ≤ P ≤ 500	600
P > 500, kuni 31.12.2015	500
P > 500, alates 1.01.2016	200 (450*)

* – põletusseadmetele, mis ei tööta rohkem kui 1500 tundi aastas (viieaastase perioodi keskmisena).

Tabel 6.4. Lämmastikdioksiidide heitkoguste piirväärtused biomassi kasutavatele uutele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus, mg/Nm ³
50 ≤ P ≤ 100	400
100 < P ≤ 300	200
P > 300	200

Tabel 6.5. Tahkete osakeste heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele tegutsevatele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus mg/Nm ³
50 ≤ P < 500	100
P ≥ 500	50

Tabel 6.6. Tahkete osakeste heitkoguste piirväärtused tahket kütust kasutavatele uutele põletusseadmetele

Põletusseadme soojusvõimsus P, MW	Heitkoguse piirväärtus, mg/Nm ³
50 ≤ P ≤ 100	50
P > 100	30

Märkus: Eelnevates tabelites (vt Tabel 6.1 – Tabel 6.6) on kokkuleppelise terminiga „tegutsev“ lisaks olemasolevatele hõlmatud ka hiljemalt 27. novembril 2002. a ehitusloa saanud ja hiljemalt 27. novembril 2003. a käiku antud põletusseadmed, terminiga „uus“ on hõlmatud pärast 27. novembrit 2002. a ehitusloa saanud või pärast 27. novembrit 2003. a käiku antud põletusseadmed.

Väiksematest (< 50 MW) põletusseadmetest lähtuvate heitmete kogused ei ole ELs üldiste õigusaktidega otseselt reguleeritud. Mitmetes riikides on vastavad nõuded kehtestatud, kuid nõuete sisuline võrdlemine on keerukas, kuna kehtestatud tingimused piirväärtustele ja vastavatele mõõtmistele on erinevad. Näiteks on Austrias, kes on olnud puidukatelde keskkonnanõuete kehtestamisel esirinnas, kehtestatud heitmepiirangud katlasse antava kütuse energiasisaldusest lähtuvalt.

Tabel 6.7. Heitmepiirangud puidukateltele Austrias

Seadme tüüp	Piirväärtused, mg/MJ			
	CO	NO _x	OGC ⁸	Osa-kesed
Käsitsi-söötmisega	1100	150	80	60
Automaat-söötjaga	500	150	40	60

⁸ OGC – orgaanilised gaasilised süsinikku sisaldavad ühendid (inglise keeles *organic gaseous compounds*)

Katlasse antavas kütuses sisalduva energia kohta antud piirväärtusi ei saa protsessi iseärasusi arvestamata võrrelda saasteainete sisaldusega suitsugaasides. Näiteks vastab väärtusele 1100 mg CO/MJ umbes 1700 mg/Nm³ ehk 1400 ppm kui lähtuda 13 % hapnikusisaldusest. Samadel tingimustel vastaks piirväärtusele 150 mg/MJ ligikaudu 230 mg/Nm³ ehk 110 ppm ja süsivesinikesisaldusele 80 mg/MJ umbes 120 mg/Nm³.

Mõnes riigis on võetud kasutusele spetsiaalseid keskkonnahoiust lähtuvaid vabatahtlikke standardeid, nt „Blauer Engel“ Saksamaal ja ökomärgis („Luik“) Põhjamaades.

Mõnes Euroopa riigis lähtutakse väikeste katelseadmete töö hindamisel parimast saadaolevast tehnoloogiast (BAT). Sellist põhimõtet on rakendatud näiteks Soomes, Suurbritannias ja Taanis.

Tabel 6.8. Põhjamaade ökomärgise nõuded tahke biokütuse kateldele (mg/m³)

Seadme võimsus	CO	OGC	Osakesed
< 100 kW	1000* (2000**)	70	70
100 – 300 kW	500* (1000**)	50	70

Märkus: 10 % O₂ sisaldusel suitsugaasis.

* Kütuse automaatsöötmisega katlad.

** Kütuse käsitsisöötmisega katlad.

Keskkonnaprobleemide muutudes aktuaalsemaks on asunud ühtlustama nõudeid ka väiksematele katelseadmetele, sh biomassi kasutavatele kateldele. Euroopa Standardikomitee CEN on standardiga EN 303-5 kehtestanud nõuded tahkekütusekateldele, mille nominaalne väljundvõimsus on kuni 300 kW (vt Tabel 6.9).

Tabel 6.9. Heitkoguste piirväärtused (g/m³, 10 % O₂ sisalduse juures) kateldele võimsusega kuni 300 kW (vastavalt standardile EN 303-5)

Nominaalvõimsus, kW	Käsitsi kütuse etteandmisega			Automaatsöötmisega		
	< 50	50 – 150	150 – 300	< 50	50 – 150	150 – 300
CO						
klass 1	25,00	12,5	12,5	15,0	12,5	12,5
klass 2	8,00	5,0	2,0	5,0	4,5	2,0
klass 3	5,00	2,5	1,2	12,5	2,5	1,2
OGC						
klass 1	2,00	1,50	1,50	1,75	1,25	1,25
klass 2	0,30	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
klass 3	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08
Tahked osakesed						
klass 1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
klass 2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
klass 3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Tabel 6.10. Parimast olemasolevast tehnoloogiast lähtuvad heitkoguste piirväärtused väikestele (< 50 kW) puidukateldele Soomes

Seadme võimsus, kW	NO _x		SO ₂	
	mg/MJ	mg/m ³	mg/MJ	mg/m ³
1 – 5	100 – 130	250 – 325		
5 – 10	50 – 100	125 – 250		
10 – 50	20 – 50	50 – 125		
1 – 50			100 – 150	250 – 375

Standardi EN 303-5 nõuete järgimist pole ELs ühegi direktiiviga kohustuslikuna kehtestatud, kuid kuna standard on heaks kiidetud Euroopa Standardikomitee CEN poolt, siis on CEN liikmesriikide standardiorganisatsioonid kohustatud seda standardit aktsepteerima riikliku standardina. Standard EN 303-5 on ühtseks aluseks ka kõigis EL25 riikides katelseadmeid tootvatele ettevõtetele. CEN tehniline komitee CEN/TC 295 on valmistanud ette standardid ka väikestele (< 50 kW) kodustele kütteseadmetele ja –kolletele – EN 13229:2001, EN 13240: 2000, EN 12815: 2001 ja EN 12809:2001.

6.3. Tahkete osakeste püüdmine suitsugaasidest

Suitsugaaside puhastamine on vajalik selleks, et vähendada korstnast väljuva gaasi tuhasisaldus nõutud tasemele. Tuhasisaldus suitsugaasides on määratud heitmenormidega.

Lendtuha eraldamiseks suitsugaasidest võib kasutada mitmeid eritüüpi seadmeid ja meetodeid: multitsükcloneid, kottfiltreid, elektrifiltreid ja ka skrabereid. Uus suund biokütuse katelde suitsugaaside puhastamises lendtuhast ja energeetilise efektiivsuse tõstmisel on suitsugaaside jahutamine, millega kaasneks selles sisalduva veeauru kondenseerumine koos tahkete osakeste püüdmisega.

Kõikidel mainitud seadmetel on oma eelised-puudused ja seetõttu oleneb nende kasutamine konkreetse katla suitsugaasi puhastamisel mitmetest asjaoludest s.h. katla suurusest (võimsusest).

Selleks, et tagada puhastusseadme kõrge efektiivsus peab seade olema õieti valitud ja arvutatud. Tsükloni ja elektrifiltri arvutustes määratakse vastavalt tuhaosakeste suurusele gaasi kiirus (kogus) läbi seadme.

Gaasipuhastusseadmete tööd iseloomustavad põhinäitajad on toodud tabelis (vt Tabel 6.11).

Tabel 6.11. Gaasipuhastusseadmete kasutusnäitajad

Seadme nimetus	Gaasi tuhasus, mg/Nm ³	Kasutus-temperatuur °C
Multitsüklon	150 – 500	< 500
Kottfilter	10 – 50	< 150
Elektrifilter	99,9%*	< 300
Skraber	50 – 100	< 70 – 80

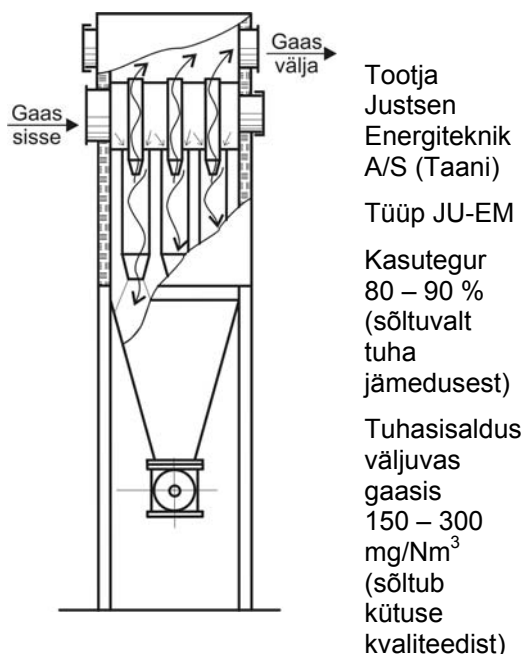
* – elektrifiltri tööd iseloomustatakse puhastusefektiivsusega.

6.3.1. Multitsüklonid

Tsüklon on seade, kus tahkete osakeste eraldamine gaasivoolusest toimub vertikaalses torus tsentrifugaaljõudude toimel.

Multitsüklon (vt Joonis 6.1) koosneb mitmest klassikalisest või otsevoolutsüklonist, mis on ühendatud ühise kollektori ja punkriga seadmesse. Multitsükloniga saavutatakse väiksemad gabariidid ja väiksem gaasitrakti takistus.

Puitkütuse põletamisel tekkiv lendtuhk sisaldab suhteliselt suuri osakesi, mistõttu on need multitsüklonites hästi eraldatavad. Multitsükloniga on võimalik vähendada suitsugaasi tuhasisaldust tasemele $\sim 150 \text{ mg/Nm}^3$. Multitsüklon on suhteliselt odav, lihtsa konstruktsiooniga ja ei vaja spetsiaalset hooldust, seetõttu kasutatakse neid katlamajades üsna laialdaselt. Oluline on ka see, et multitsüklon ei ole eriti tundlik gaasi temperatuuri suhtes.



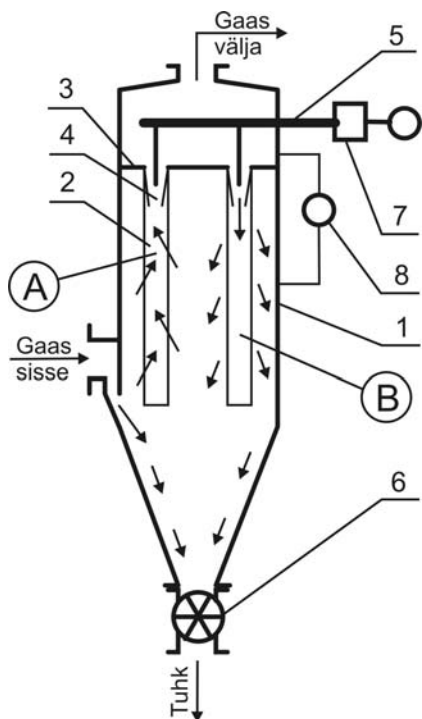
Joonis 6.1. Multitsüklon

6.3.2. Kottfiltrid

Kottfiltris (vt Joonis 6.2) toimub tahkete osakeste püüdmine gaasivoolusest peenesilmalise kanga või ka poorse keraamika abil.

Kottfiltrid on märksa efektiivsemad suitsugaasi puhastusseadmed kui multitsüklonid, tagades tuhasisalduse suitsugaasis tasemel 10 – 50 mg/Nm^3 . Kottfiltrite töotemperatuur ei ületa reeglina $\sim 180^\circ\text{C}$. Kõige sagedamini kasutatav filtrimaterjal

on polüesterkangas. Oluliselt parema keemilise vastupidavuse ja temperatuuri taluvusega on teflon, kuid võrreldes polüestriga on see kümneid kordi kallim.



A. Filtrering, B. Regenerering

Joonis 6.2. Impulsspuhastusega kottfilter

1 – korpus; 2 – filterelement; 3 – Venturi-plaat; 4 – Venturi; 5 – suruõhukollektor; 6 – sektorlukk; 7 – solenoidklapp; 8 – manomeeter.

Selleks, et vältida sädemete kandumist filtrisse, kasutatakse filtri ees tsüklonit või sadestuskambrit. Kottfilter vajab regulaarset regenereerimist-puhastamist, et oleks tagatud filtri efektiivsus ja madal takistus. Enamlevinud kottfiltri puhastamise meetodid on: mehaaniline raputamine, reverseeritava gaasivooluga puhastamine ja impulsspuhastamine. Kasutatakse ka kombineeritud puhastamist; näiteks gaasivoolu reverseerimisele järgneb mehaaniline raputamine.

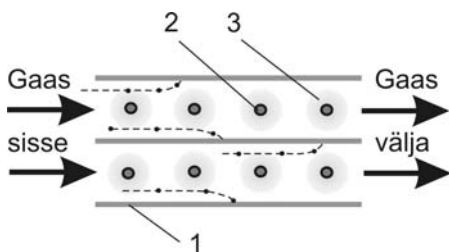
Süttimisohu tõttu peab kottfilter olema kaitstud kõrgete temperatuuride ja kõrge

hapniku sisalduse vastu suitsugaasides. Tavaliselt kasutatakse automaatkaitset, millega juhitakse gaas filtrist mööda.

Kottfiltreid kasutatakse biokütteseadmetes vähem kui multitsükloneid. Suuremates seadmetes kasutatakse kottfiltreid ka teise astmena multitsüklonite järel.

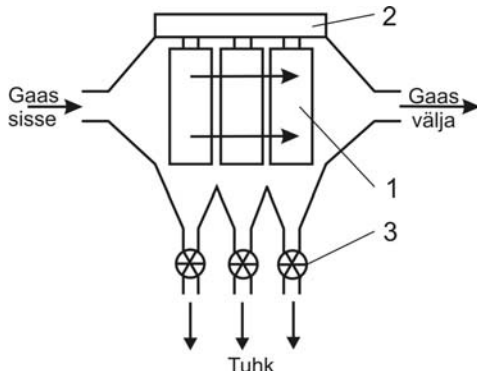
6.3.3. Elektrifiltrid

Elektrifiltris (vt Joonis 6.3) liigub puhastatav gaas läbi elektrivälja ja tahked osakesed sadenevad seejuures elektroodidele.



A. Tööpõhimõte

1 – sadestuselektrood; 2 – koroneeriv elektrood;
3 – ioonväli või koroona



B. Pikilõige

1 – sadestuselektroodid; 2 – kõrgepinge-seadmed ja elektroodide raputid; 3 – sektorlukud

Joonis 6.3. Elektrifilter

Tööpõhimõte. Elektrifiltri elektroodidele antakse alaldatud kõrgepinge, kusjuures koroneeriv elektrood on tavaliselt negatiivne. Kõrgepinge tekitab elektroodide vahel koroona ning suurem osa gaasi

elektroodide vahel ioniseerub negatiivselt. Negatiivsed ioonid liiguvad elektrivälja toimel sadestuselektroodidele. Tolmuses gaasis sadestuselektroodi poole liikuvad ioonid põrkuvad tahkete osakestega ja absorbeeruvad viimaste pinnal, mille tulemusel negatiivse potentsiaali saanud tolmuosakesed liiguvad sadestuselektroodidele. Elektroode puhastatakse kogunenud materjalist nende regulaarse raputamisega.

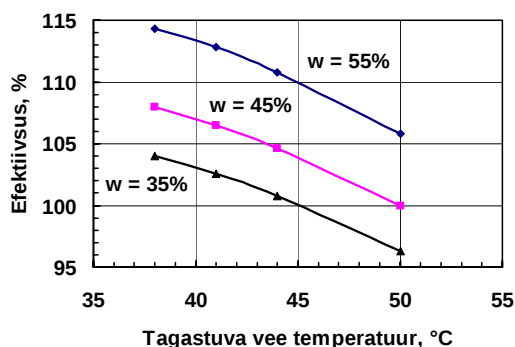
Elektrifilter on efektiivne, kuid suhteliselt kallis gaasipuhastusseade. Viimane asjaolu piirab nende kasutamist väikestes biokütteseadmetes.

6.3.4. Suitsugaaside kondenseerimine

Suitsugaaside kondenseerimisega e täpsemalt suitsugaasidest veeauru kondenseerimisega saavutatakse kaks eesmärki: esiteks vähendatakse tuhaosakeste sisaldust suitsugaasis kottfiltriga võrreldavale tasemele ja teiseks kondenseerumisel vabanenud soojuse arvel tõuseb energeetiline efektiivsus (kasutegur).

Biokütuse katla suitsugaas sisaldab veeauru kahel põhjusel: kütuses sisalduv vesinik reageerides põlemisprotsessis õhuhapnikuga annab veeauru ja kütuses sisalduv niiskus (puiduhakke niiskuse-sisaldus on tavaliselt 35 – 55 %) muutub samuti veeauruks.

Suitsugaasi veeauru sisaldus pakub huvi eelkõige seetõttu, et see on utiliseerimata energia, mis vabaneb kondenseerimisel (vt ka punkt 4.1.3). Teoreetiliselt on vabanev kondensatsioonienergia võrdne vee aurustumissoojusega millele lisandub jahutusest saadav soojus. Jahutades suitsugaasi alla kastepunkti hakkab veeaur välja kondenseeruma. Mida madalamale suitsugaasi jahutatakse, seda suurem on väljakondenseerunud vee hulk ja saadav soojus. Suitsugaasi jahutamiseks kasutatakse küttesüsteemist tagastuvat vett (vt Joonis 6.4 [56]).



Joonis 6.4. Suitsugaasi kondenseerimise mõju katlamaja efektiivsusele

Suitsugaasi jahuti on esimene sõlm, mida tagastuv vesi katlamajas läbib.

Suitsugaasi kondenseerimise jääkaine on kondensaat, mis koosneb veest, milles sisaldub vähesel määral tolmuosakesi ja orgaanilist ainet kütuse mittetäielikust põlemisest. Kondensaadis leidub veidi ka raskeid metalle, kloori ja väävli. Kondensaadi pH võib sõltuvalt süsteemist varieeruda suurtes piirides, kuid tavaliselt on see vahemikus pH 6 – 7. Raskemetallid, eelkõige kaadmium, sisalduvad tahkes osas ja ei ole vees lahustunud. Seetõttu on vajalik kondensaadi eeltötlus enne selle loodusesse laskmist. Töötlus seisneb tavaliselt tahkete osade filtreerimises ja vee neutraliseerimises keskkonnakaitse nõuetele vastavale tasemele [22].

Veepiiskade edasikandumise vältimiseks suitsukäiku ja korstnasse kasutatakse suitsugaasi jahuti järel efektiivset tilgapüüdjat. Väikestes katlamajades, kus kasutatakse suitsugaasi kondenseerimist, on mõistlik korrosiooni riski vähendamiseks kasutada suitsukäigu ja korstna konstruktsioonis korrosioonikindlaid materjale.

6.4. Tuhaärastus ja utiliseerimine

6.4.1. Tuhaärastus

Nagu eespool mainitud, on puiduhakke ja puitpelletite tuhasus enamasti ~1 %, teraviljapõhul 3 – 5 % ja küteturbal 4 – 6 %. Selline osa mittepõlevat mineraalainet

muutub põlemisprotsessis tuhaks ja tuleb katelseadme alt ärastada.

Tuhaärastus võib toimuda kas kuivalt või märjalt. Vastavalt on tegemist kuiv- või märgärastussüsteemiga.

Kuiva tuhaärastuse korral peab katel ja suitsukäik olema tiheduse tagamiseks varustatud spetsiaalsete seadmetega tuha väljalaadimiseks (sektorlukud, pilgutid). Joonisel (vt Joonis 6.5) on esitatud sektorlukk firmalt Saxlund.



Joonis 6.5. Sektorlukk (Saxlund)

Tuha edasine transport kogumiskonteinerisse toimub kruvi- või kraap-transportööridega (vt Joonis 6.6). Suuremate katelseadmete korral kasutatakse ka pneumotransporti.

Märja tuhaärastussüsteemi korral ei vajata reeglina spetsiaalseid seadmeid süsteemi tiheduse tagamiseks, sest väärdõhu imemist katlasse välditakse vesilukkudega. Märgärastuse puudusteks on raske märg tuhk tuhakonteineris ja korrosioon.

Tuhakonteineri tühjendamissagedus sõltub kütusekulust ja konteineri mahust, kuid mõistlikuks võib lugeda sagedust üks või kaks korda kuus kütteperioodi jooksul. Biokütusekatlamaja tuhakonteinerite lahendusi on esitatud joonisel (vt Joonis 6.7).



Joonis 6.6. Kettkraap-transportöör (Saxlund)



A. Kruvitransportööri tuhakonteiner



B. Konteiner tuhapunkri all. Punkri ja konteineri vahel on näha sektorlukk

Joonis 6.7. Tuhakonteinerid, fotod Ü.Kask

6.4.2. Tuha utiliseerimine

Puidu tuhk sisaldab taimedele vajalikke toitaineid, näiteks kaaliumi, magneesiumi ja fosforit. Seetõttu võib puidutuhka kasutada metsade väetamiseks juhul kui mõne komponendi sisaldus ei ole liiga kõrge ja ei ületa keskkonnakaitse norme.

Puidu või põhu põletamisel kontsentreeruvad ka raskemetallid tuhka, kuid tagastades tuhka mõistlikes mahtudes kas siis metsa- või põllukultuuri kasvukohta ei erine see eriti olukorrast kus näiteks raiejäägid jäetakse langile vaalu või põhk põllule. Siiski peab puidutuha utiliseerimiseks kasutama metsaalasid ja põhutuha utiliseerimiseks põllumajandusmaid.

Turbatuhk ei sobi oma koostise tõttu metsa ja põllukultuuride väetamiseks ja seetõttu on kasutusvaldkond piiratud. Sellist tuhka võib kasutada näiteks teede aluse rajamiseks. Kui turba tuhale rakendust ei õnnestu leida, tuleb see jäätmetena nõuetekohaselt ladustada. Turbatuha utiliseerimine peab toimuma vastavalt kohalikule seadusandlusele.

Eksisteerib teatud seos põlemiskvaliteedi ja polüaromaatsete süsivesikute (PAH) sisalduse vahel tuhas. Seetõttu tuleb samaaegselt raskemetallide määramisega määrata ka põlemata süsiniku sisaldus tuhas. Kui jääksüsiniku sisaldus tuhas on alla 5 %, võib PAH-i määramisi teha üle aasta, kui aga põlemata süsiniku sisaldus on üle 5 %, tuleb PAH analüüs alati teha [22].

6.5. Katelde küttepindade puhastamine sadestistest

Töötava biokütusekatla kolle ja küttepinnad kattuvad põlemisgaasi poolsest küljest tuha ja tahmaga, mida nimetatakse küttepinna väliseks sadestiseks. Esineb ka küttepindade veepoolset saastumist ja tekkivat sadestist nimetatakse sisemiseks sadestiseks.

Tahkekütusekatla küttepindade väline saastumine on oluliselt intensiivsem kui näiteks gaasi- või kergekütteõli katlal. Sadestiste tõttu väheneb gaasi jahtumine katlas ja vähenevad nii katla kasutegur kui katla soojusvõimsus. Biokütusekatla välised sadestised on üldjuhul pudedad või veidi tihenenud ja ei ole küttepinna tugevalt seotud. Sadestiste iseloom sõltub ka katla küttepinna temperatuurirežiimist ja kütuse põlemisrežiimist.

Selleks, et hoida katla soojusvõimsus võimalikult kõrge, tuleb katla küttepinna regulaarselt puhastada. Puhastamise sagedus sõltub saastumise intensiivsusest ja valitud puhastusmeetodist.

Biokütusekatelde puhastusmeetoditena on kasutusel: pneumopuhastus, vibropuhastus ja akustilised puhastusmeetodid. Tuntud on ka auru- ja veejoaga puhastusmeetodid, kuid neid kasutatakse raskesti eemaldatavate sadestiste korral ja ei paku biokütuste katelde puhastusmeetoditena huvi.

Pneumopuhastus. Katla gaasikäikudesse paigutatakse suruõhudüüsid või düüsidega varustatud puhurid. Puhastusulatuse suurendamiseks antakse puhurile kulgev ja pöörlev liikumine. Puhumise vaheaegadel tõmmatakse puhurid gaasikäigust välja. Puhastus toimub katla töö ajal. Puhastusprotsess on täielikult automatiseeritav. Meetod vajab toimimiseks suruõhku.

Vibropuhastus. Küttepinna väristatakse mehaaniliste vibraatoritega (raputitega). Vibreerimisel kandub torude liikumine üle sadestisele toru pinnal, millele hakkab mõjuma saastemassi inertsjõud.

Sadestise tugevuse ja inertsjõu vahekorras sõltub saaste eraldumise tõenäosus. Kasutatakse širmküttepindade puhastamiseks.

Haamerpuhastus. Mehaaniline löök haamriga küttepinna raputab pinda, mille tagajärjel pind puhastub sadestistest. Löögi sagedus – mõnest minutist kuni mitmekümne minutini – valitakse lähtuvalt saastumise intensiivsusest. Kasutatakse širmküttepindade puhastamiseks pehmetest mitteseotud sadestistest.

Akustiline puhastus. Küttepindade puhastamine toimub madalasagedusliku heli poolt esile kutsutud rõhulaine toimel. Sadestiste akustilist mõjutamist korratakse seni, kuni nad küttepinna lahti tulevad (*Nitrafon*, *Primasonic*). Akustiline puhastus on hästi rakendatav vertikaalsete suitsutorude korral.

Väikeste katelde puhastamiseks kasutatakse lihtsaid puhastusmeetodeid. Katelde kasutusjuhendis on tavaliselt ette nähtud küttepindade ja kolde teatud sagedusega puhastamine katla komplekti kuuluvate tarvikutega (kulp ja hari).

7. TAHKETE BIOKÜTUSTE RAKENDAMISE PLANEERIMINE KAUG- JA LOKAALKÜTTES

7.1. Soojusvajaduse määramine

Soojusvarustuse arengut kujundavate otsuste tegemisel on määrava tähtsusega varustatavate objektide soojusvajadus – sellest lähtudes tuleb dimensioneerida kogu süsteem. Soojusvajadus sõltub paljudest teguritest, milledest olulisemad on:

- hoonete pindalad ja ruumalad;
- hoonete kasutamistarve;
- kasutusajad;
- ventilatsiooni tüüp/iseloom ja tööajad;
- sooja tarbevee tarbimise iseärasused;
- soojusvarustussüsteemi tehniline seisukord;
- tarbimisharjumused.

Tarbijate vajaduste lihtsamaks hindamiseks on otstarbekas jaotada tarbijad gruppidesse sõltuvalt nende tarbimise iseloomust. Eraldi analüüsitavad tarbijagrupid võiksid olla näiteks järgmised:

- elamud;
- ärihooned;
- kauplused;
- koolid jt lasteasutused;
- haiglad;
- hotellid.

Käesolevast vaatlusest jäävad välja tööstusettevõtted, kus vajatakse soojust tehnoloogiliste protsesside jaoks. Iga grupi tarbijatel on soojuse kasutamisel reeglina teatud iseärasused, mida tuleb arvesse võtta. Kui nende gruppide tüüpiliste tarbijate poolt kütteks kasutatava soojuse vajadus ei pruugi oluliselt erineda, siis

suuri erinevusi on sooja tarbevee vajaduse osas. Kindlasti on erinevusi ka ventilatsioonisüsteemi iseloomust ja tööst tulenevalt.

Tarbijate soojusvajadust võib määrata mitmel viisil. Kui on tegemist olemasolevate tarbijatega, keda on soojusega varustatud juba mitmeid aastaid ning seejuures on tarbimine mõõdetud, siis saab lähtuda eelmiste aastate tegelikust tarbimisest. Soovitav oleks kasutada vähemalt kolme viimase aasta andmeid. Seejuures tuleks kütteks kulunud tarbimine n.ö normaliseerida kasutades vastavate aastate kraadpäevi⁹. Samas pole otstarbekas kasutada ka väga pika perioodi andmeid, sest sel juhul võivad soojusvajadust oluliselt mõjutada (reeglina vähendada) hoones vahepealsel ajal teostatud renoveerimis/soojustustööd.

Tuleb rõhutada, et tarbijate senise tarbimismahu alusel tuleviku tarbimise hindamisel tuleb kindlasti arvestada soojuskoormuse tõenäolise vähenemisega tulevikus. Vähenemise põhjuseks võib olla hoonete täiendav soojustamine, soojuskasutuse paindlikum reguleerimine, säästvamate seadmete kasutuselevõtt ja ka tarbimisharjumuste muutumine. Tarbimist vähendavat mõju avaldavad ka hinnatõusud (nii soojus kui vesi) ja näiteks veearvestite paigaldamine igasse korterisse. Mingil juhul ei tohiks tegeliku soojuskoormuse ja selle võimaliku muutumise analüüsi ära jätta ega lähtuda ainult olemasolevate katelde võimsusest või projektikohastest tarbimisvõimsustest. Eriti üleminekumajandusega riikides on viimaste aastate kogemused näidanud, et nii tootmis- kui edastamisvõimsused kaugküttesüsteemides on tarbimise olulisest vähenemisest tulenevalt valdavalt üledimensioneeritud.

⁹ Üks kraadpäev väljendab 1 kraadist erinevust arvestusliku sisetemperatuuri (tavaliselt 18°C) ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Kraadpäevade kasutamise lühiselgitus on punktis 7.2.

Soojusvajaduse õigeks hindamiseks tuleb kindlasti arvestada ka võimalike uute tarbijate juurdetulekuga. Vastavat infot peaks olema võimalik saada lähipiirkonna detailplaneeringust, mida koostavad kohalikud omavalitsused. Veelgi parem oleks kasutada omavalitsusüksuse energiamajanduse arengukava (kui see on koostatud).

Lähemal ajal küttesüsteemiga liituvate uute tarbijate korral on võimalik soojusvajaduse määramiseks kasutada soojusvarustust puudutavat projekt-dokumentatsiooni, seda juhul kui tegemist on uue ehitisega. Kui uueks tarbijaks on varem lokaalkütet kasutanu, siis saab kasutada andmeid varasema tarbimise kohta. Kaugemas perspektiivis liituvate tarbijate korral tuleb piirduda hinnangutega, mis lähtuvad näiteks tarbijate arvust ja hoonete kubatuurist.

Mõnes piirkonnas võib osutuda vajalikuks arvestada ka võimalusega, et mõned tarbijatest võivad otsustada end kaugküttesüsteemist lahti ühendada. Selline variant võib osutuda reaalseks piirkondades, kus kohalik omavalitsus ei ole kehtestanud kaugküttepiirkonda või siis pole vastavat soojusvarustuse tsoneerimise võimalust riigi õigusaktidega ette nähtudki. Kaugkütte säilimine võib olla ohus nendes piirkondades, kus kaugkütte kvaliteet on madal, hind suhteliselt kõrge ja läheduses on maagaasi jaotustorustik. Selline olukord võib sundida tarbijaid kaaluma lokaalküttele üleminekut. Seetõttu tuleks kaugkütteettevõttel teha tihedat koostööd kohaliku omavalitsusega leidmaks nii üksikuid tarbijaid kui kogu piirkonda rahuldavat lahendust.

Elamud ja ühiskondlikud hooned vajavad soojust nii kütteks kui sooja tarbevee ettevalmistamiseks, kusjuures ventilatsiooniks kulutatav energia arvestatakse enamasti kütte hulka.

Sooja tarbevee ettevalmistamiseks vajalik energia määratakse elamute jaoks elanike arvu, ühe inimese ööpäevase arvestusliku soojaveevajaduse ning soojendatava vee alg- ja lõpptemperatuuri kaudu. Enamikel

juhtudel tuleb vee temperatuuri tõsta umbes 50 kraadi võrra, näiteks umbes 5°C kuni temperatuurini 55°C.

Ööpäevane soojaveevajadus sõltub väga suurel määral elanike tarbimis-harjumustest, kuid lisaks sellele on väga oluline ka sooja vee kulu määramise viis. Eesti kogemused näitavad, et pärast individuaalse sooja tarbevee kulu mõõtmise sisseseadmist ja selle alusel maksmise korraldamist väheneb keskmine tarbimine järsult, sageli isegi 2 kuni 3 korda.

Kuigi sooja tarbevett ei tarbita ühtlaselt kogu ööpäeva kestel, arvutatakse sooja vee valmistamiseks vajalik soojusvõimsus tavaliselt ööpäevase keskmise tarbimise alusel. Kuna sooja tarbevee valmistamiseks vajatakse ainult umbes viiendik kütteks kulutatavast energiast, siis katelde vajaliku võimsuse määramisel puudub praktiline vajadus sooja tarbevee valmistamise tippkoormuse arvesse võtmiseks.

Kütteks vajaliku energiakulu arvutamisel kasutatakse kas vaatluse all oleva perioodi kraadpäevade summat või perioodi keskmise välistemperatuuri ja arvestusliku sisetemperatuuri vahet, kusjuures sisulist erinevust nende meetodite vahel ei ole.

Kütmiseks vajaliku maksimaalse soojusvõimsuse määramiseks kasutatakse tavaliselt piirkonna arvestuslikku välistemperatuuri¹⁰, mis on näiteks Eestis –19 ... –23 °C, Stockholmis –18 °C, Soome ja Rootsi põhjaosas aga isegi –29 ... –32 °C. Mida madalam on see projekteerimiseks kasutatav temperatuur, seda suuremat küttevõimsust vajatakse.

Selliselt leitud küttevõimsus koos sooja tarbevee valmistamiseks vajaliku võimsusega pole siiski veel soojuse tootmiseks vajalik võimsus katlamajas

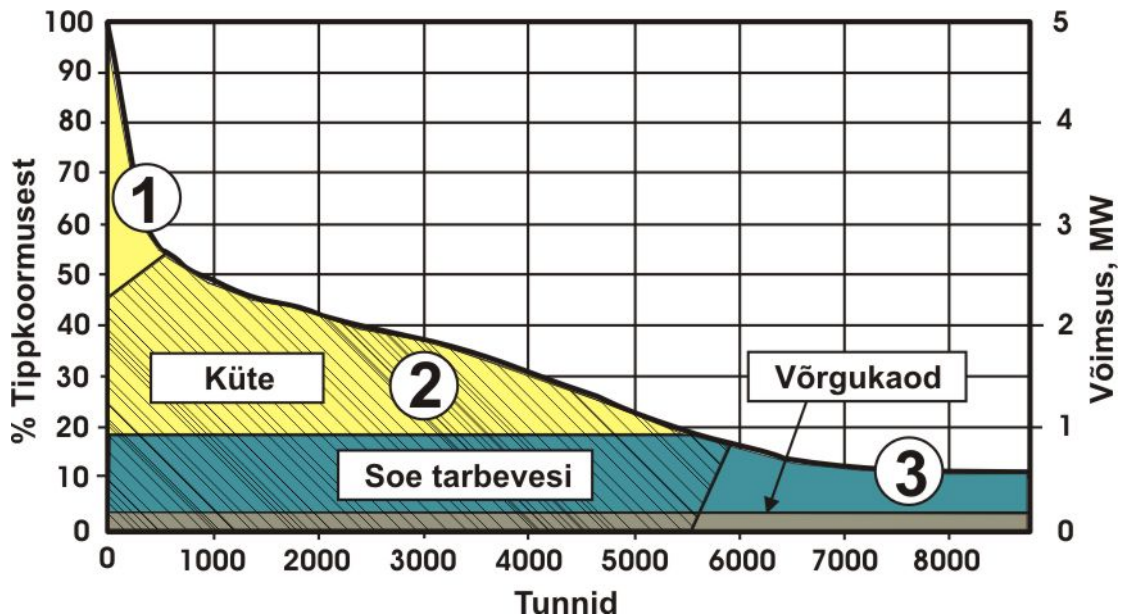
¹⁰ Arvestuslikuks välistemperatuuriks võetakse kõige külmema järjestikuse viie ööpäeva keskmine temperatuur

vaid tarbijate summaarne võimsusevajadus. Katelde vajaliku võimsuse arvutamiseks tuleb arvesse võtta soojustorustikes esinevad kaod kütusevajaduse määramisel ka katelde kasutegurid.

7.2. Koormuskestuskõver

Nagu eelnevalt märgitud, kõigub soojuskoormus ajaliselt, seda nii aasta kui ööpäeva lõikes. Seetõttu on soojusvajaduse ajalise muutumise graafik igal aastal mõnevõrra erinev ja arvutuste lihtsustamiseks kasutatakse järjestatud koormuste muutumise spetsiaalset diagrammi – soojuskoormusgraafikut (nn koormuse kestuskõverat, vt Joonis 7.1). Eriti vajalikuks osutub sellise graafiku kasutamine juhul kui katlamajas on

rohkem kui üks katel. Graafiku koostamiseks on vaja kasutada andmeid katelde (katla) töö kohta: regulaarse sagedusega (soovitavalt iga tunni tagant) mõõdetud võimsust. Järjestades selliselt mõõdetud võimsused kahanevasse järjekorda ning kandes väärtused graafikule, mille horisontaalteljel on ühe aasta tunnid (8760) ja vertikaalteljel võimsus, saame tulemuseks soovitud graafiku, mis näitab võimsuste kasutuskestust ühe aasta jooksul. Graafikul oleva kõverjoone aluse pinna suurus näitab sel perioodil toodetud soojuste kogust energiaühikutes. Koormusgraafiku kuju võib olla väga erinev, sõltudes asukoha kliimast, tarbijate soojusvajaduse iseloomust ja mitmest muust tegurist.



Joonis 7.1. Kaugküttekattlamaja tüüpiline koormuste kestuskõver

Soojusvarustuses kasutatav kraadpäev väljendab 1 °C erinevust hoone keskmise arvestusliku sisetemperatuuri (nn tasakaalutemperatuuri) ja ööpäeva (24 tunnise perioodi) keskmise välisõhu temperatuuri vahel. Näiteks kui ööpäeva keskmine välisõhu temperatuur on 2 °C, siis on 24 tunnise perioodi (1 ööpäev) kraadpäevade arv 16 (18 – 2; siin on

tasakaalutemperatuuriks võetud 18 °C). Seni puudub kraadpäevade kasutamisel soojusvarustuses riikide vahel ühtne praktika, nt on erinevusi keskmise arvestusliku sisetemperatuuri osas, samuti on erinevusi arvutusmetoodikas. Seetõttu pole riikidevahelised andmed mitte alati võrreldavad, kuid see ei takista kraadpäevade kasutamist soojustarbimise muutumise analüüsimiseks näiteks ühe

katlamaja piirkonnas. Selleks oleks soovitatav erinevatel aastatel kütteks kulunud soojuse tarbimine n.ö normaliseerida, jagades selleks iga aasta summaarse kraadpäevade arvu pikaajalise keskmise aasta kraadpäevade arvuga. See võimaldab analüüsida, kas muutuste põhjuseks on näiteks tarbijate juures teostatud säästumeetmed või on tegemist ainult ilmastiku mõjutustega.

7.3. Katelde valik

Kuna biomassil töötavad katlad on suhteliselt kallid, siis on enne investeeringu tegemist oluline valida katel või katlad nii, et nad leiaksid maksimaalset kasutamist, s.t katla töötunde peaks aastast olema võimalikult palju. Järgnevas käsitletakse katelde valiku üldisi põhimõtteid ja kriteeriume. Esitatavad kaalutlused sobivad paremini sellistele katlamajadele, kus ei ole kasutusel üle kolme katla.

Võttes abiks eelnevalt koostatud koormusgraafiku, saab analüüsida soojuskoormuse iseloomu aasta jooksul. Tavaliselt nähtub, et talvise tippkoormuse katmiseks on vaja toota ainult umbes 8 – 15 % aastast soojusvajadusest. Tüüpiliste tarbijatega kaugküttesüsteemis moodustab ka suvine energiakogus umbes 10 % aastast vajadusest. Neid iseärasusi tuleb arvestada katelde valikul.

Arvesse tuleb võtta veel mitmeid tegureid. Nii peab arvestama, et katla töökoormust pole otstarbekas lasta nominaalsega võrreldes teatud piirist madalamale, kuna siis halveneb oluliselt kasutegur. Kõrget kasutegurit ja madalat heitmetaset saab tagada võimalikult ühtlasel töökoormusel. Kuna võrreldes fossiilkütuse kateldegaga kaasnevad biokütusel töötava katla kasutuselevõttuga suuremad erinvesteeringud, kütuse hind on aga odavam, siis peaks biomassi kasutava katla valima nii, et tema nominaalkoormuse kasutusajaks kujuneks 3000 – 5000 tundi aastast sõltuvalt kliimavöötmest. Näiteks Eesti kliimatingimustes ja kütuse hindade vahekorra juures peaks majandusliku

otstarbekuse huvides kasutusaeg ületama 4000 h aastas¹¹.

Enamiku tahket kütust kasutavate katelde jaoks võib kasutusvõimsuse alamiseks piiriks võtta umbes 30 % nominaalvõimsusest. Eeltoodust järeldub, et biokütust kasutava katla võimsus tuleks valida tippkoormusest 40 – 50 % madalam. Kokkuvõtlikult – biokütuse katlaid tuleks rakendada baaskoormuse katmiseks. Baaskoormus on ühtlase iseloomuga ja tagab katlale võimalikult suure nimivõimsuse kasutusaaja. Katlaga, mille võimsus on umbes 50 – 60 % maksimaalsest soojuskoormusest, on võimalik tavaliselt toota 80 – 90 % aastast soojusvajadusest.

Tipu katmiseks on otstarbekas valida fossiilkütust (nt kerget kütteõli) kasutav katel, mille võimsus moodustaks tippkoormusest 50 – 60 %. Juhul kui suvine koormus on madal (ainult sooja tarbevee vajadus), saaks sama katelt kasutada ka siis, vältides biomassil töötava katla kasutamist madalal koormusel.

Tuleb märkida, et kõrgema kvaliteediga puitkütuste (nt pelletid, briketid) põletamiseks mõeldud katlad on paremini ja laiemas diapasoonis reguleeritavad. Seetõttu võib nt pelletikatla võimsuseks valida 65 – 70 % tippkoormusest ja sellisel juhul moodustab toodang 90 – 95 % aastast energiavajadusest. Kaaluda võib ka pelletikatla kasutamist tippkoormuse katmiseks.

Keskmise suurusega ja osalt ka väiksemates biomassil töötavates katlamajades on sageli kasutusel kolm katelt: baaskoormusel töötav biomassi katel ja kaks kerget kütteõli kasutavat katelt, millest üks töötab tippkoormuse ja suvise madala koormuse katmiseks ning teine on reservis.

¹¹ Katelde kasutusaaja all mõistetakse siin arvutuslikku aega, mis saadakse aastase soojustoodangu jagamisel katla nominaalvõimsusega

Varukatla võimsus peaks üldreeglina olema võrdne suurima kasutusel oleva katla võimsusega. Enamasti õnnestub varukatlana kasutada mõnda vana veel eksploatatsioonikõlblikku kuigi väheefektiivset katelt.

Katelde võimsuse valikuga seoses tuleb mainida veel võimalust võtta kasutusele soojust (sooja vee) akumulatsioon. Sellist võimalust tuleks eriti kaaluda ööpäevase väga ebaühtlase tarbimise korral. Soojust akumulatsioonitakse madala tarbimise ajal ja salvestatut kasutatakse kõrge tarbimiskoormuse tundidel. See annaks võimaluse vähendada paigaldatava tipukatla võimsust. Soojussalvesti paigaldamist võib soodsalt mõjutada ka võimalus rakendada sama salvestit suveperioodil päikeseenergia kasutamiseks vee soojendamisel. Muidugi sõltub sellise lahenduse otstarbekus asukoha kliimavöötme- / laiuskraadist.

7.4. Katlamaja infrastruktuur

Kavandades biomassi kasutatavat katlamaja, tuleb arvestada et koos kütusehoidlaga nõuab selline katlamaja rohkem ruumi kui sama võimsusega fossiilkütusel töötav katlamaja. Kui biokütuste kasutuselevõtt toimub senise katlamaja baasil, siis enamikul juhtudel on katlad võimalik paigutada olemasolevasse hoonesse, kuid lisaruumi on vaja kütusehoidlale. Samas tuleb ruumilahendust planeerides silmas pidada ka vajadust eemaldada ja paigutada tuhka ning teostada katelde regulaarset puhastamist. Uue katlamaja rajamise korral tuleb asukohta hoolikalt valida. Mõlemal juhul peab lisaks tehnilistele ja ruumilistele aspektidele pöörama tõsist tähelepanu keskkonnanõuete järgimisele. Koos tuleohutusnõuetega on need määrava tähtsusega eriti katlamaja paigutamisel tiheda asustusega piirkonda. Samas näitab mitmete maade praktika selliste lahenduste võimalikkust. Siiski sõltuvad konkreetsed tingimused iga riigi ehitusseadustikust ja asukoha omavalitsuse vastavatest õigusaktidest, millest tuleb asukohavalikul täpselt lähtuda. Ka keskkonnanõuete osas

ei saa anda universaalseid juhiseid, vaid järgida tuleb kohalikke nõudeid, millest tulenevad piirangud, nt õhusaaste levik, korstna kõrgus, müratase jne.

Piirangud biomassi hoidla paiknemisele võivad tihti olla katlamaja asukoha valikul otsustava tähtsusega. Suurema katlamaja asukoha valikul tuleb kindlasti arvestada transpordiga seonduvaid nõudmisi: peab olema tagatud vajaliku suurusega veokite juurdepääs ja manööverdamisruum. Neid probleeme on lihtsam lahendada uue katlamaja rajamise korral. Alla 1 MW katlamaja korral on kütusekogused nii väikesed, et liiklusoludele erilisi nõudmisi tavaliselt ei ole.

Suuremate biomassil töötavate katlamajade rajamisel võib vajatava territooriumi suuruse osas lähtuda järgmisest ligikaudsest hinnangust (vt Tabel 7.1).

Tabel 7.1. Biomassil töötavate katlamajade orienteeruv territooriumivajadus [57]

Võimsus, MW	Territoorium, m ²
2	2500
5	3000
10	7000

Katlamaja enda ruumivajadus sõltub olulisel määral valitud katla mõõtmetest. Ei tohi unustada ruumi ka tipu- ja varukatelde. Kui soojuskoormuste analüüs näitas võimalikku kasvu tulevikus, siis võimaluse korral võiks jätta ka lisaruumi laienemiseks.

Kütusehoidlaid on üksikasjalikult käsitletud peatükis 5.

7.5. Kütus

Biomassi kasutuselevõtul on valida põhiliselt väärindamata (näiteks hakkpuit) ja väärindatud kütuste (pelletid) vahel. Pelletite (ka puidubriketi) ja hakke omadused on küllaltki erinevad (vt punkt

2.2), kuid tähtsamaks omaduste arvestamisest võib osutuda vajadus lähtuda kohalikust olukorrast, st kütuste saadavusest ja hindadest. Tabelis (vt Tabel 7.2) on esitatud tegureid, millega pelletite ja hakkpuidu vahel valiku tegemisel tuleks arvestada.

Tabel 7.2. Puitkütuste võrdlus kasutamise aspektist

	Plussid	Miinused
Hakkpuit	- reeglina kohalik kütus - soodustab kohalikku tööhõivet - pelletitest odavam	- suurem investeering - vajab suuremat hoidlat - kvaliteet ebaühtlane - kasutamine töömahukam
Puidupelletid	- kvaliteetne (standardiseeritud) - väiksem hoidla - kasutamine vähem töömahukas	- hakkpuidust kallim - ei toeta kohalikku tööhõivet

Kütusekasutuse aspektist võiks kaaluda ka võimalust nii hakke kui pelletite kasutamiseks.

Kütuse valimiseks tuleks lisaks tehnoloogilistele aspektidele viia läbi ka põhjalik ressursi- ja turu-uuring. Hakke korral on tingimata vaja selgitada välja lähipiirkonnas (nt kuni 100 km raadiuses) asuvad hakkpuidutootjad. Seejuures tuleb tähelepanu pöörata sellele, mis liiki haket toodetakse ja millised on hakke omadused, eriti niiskus. Arvesse tuleks võtta ka hakketootja suurst ja usaldatavust tarnijana ning tema arenguperspektiive, et vältida tarnete lakkamist näiteks mõne aasta pärast. Tuleb selgitada välja võimalus sõlmida pikaajaline tarneleping ja sellise lepingu tingimused. Kuna hakke-

tootjate arenguperspektiivid on otseselt seotud vastava piirkonna metsanduse arenguga, siis poleks suurema katlamaja rajamise korral liigne uurida ka kavandatud raiemahtusid lähipiirkonna metsades.

Soovitava kvaliteedi ja soodsa hinnaga kütuse pikaajaline tarneleping on projekti edukuse üheks määravaks teguriks. Eriti oluline on see hakkpuidu kasutamise korral. Hakkpuidu kasutuselevõtu projektide analüüs näitab, et ebaõnnestumise põhjuseks on tihti hakke kvaliteediga ja tarnekindlusega seotud probleemid. Normaalselt tööd raskendab kütusetarnete ebaregulaarsus (ajaline juhuslikkus), kuid valdavalt on probleemiks kütuse omaduste erinevus vajalikest. Seetõttu oleks hakkekatlamaja korral juba projekti kavandamise staadiumis oluline leppida potentsiaalsete tarnijatega kokku hakke põhilised omadused, nt niiskusesisaldus, tüki suurus jms. Läbi-rääkimised peaksid olema küllaltki üksikasjalikud ja seejuures tagatud kõigi terminite ühtne mõistmine kummagi lepinguosalise poolt. Eriti tähtis on see kütuse omaduste kokkuleppimisel (vt punkt 2.5). Kooskõlastada tuleks ka tarnegraafikud ja kasutatavate transpordivahendite suurus. Projekti eduka teostamise jaoks oleks kasulik võimaluse korral sõlmida kütusetarnijaga eelkokkulepe, kus fikseeritaks tähtsamad tingimused.

Varustuskindluse aspektist oleks oluline omada lepinguid mitme tarnijaga. Samas tuleb arvestada, et kui hake tuleb ainult ühelt tarnijalt, siis on lihtsam korraldada nii hakke omaduste määramist kui lahendada võimalikke konfliktsituatsioone.

Arvesse tuleb võtta samuti hinnariski. Kütuste ja energia üldise hinnatõusu trendi taustal on tõenäoline, et ka biokütuste hinnad jätkavad tõusu. Siinjuures on mitmeid tegureid, mille mõju võib olla riigiti erinev. Kuna hakkpuit on rohkem lokaalse päritoluga kütus, siis siin on suurem mõju piirkondlikel teguritel. Puidupelletid on aga kütus, millega kaubeldakse ka rahvusvahelisel turul, seetõttu tuleb siin rohkem arvestada ka hinnataset lähiriikides. Siiski

on võimalik biokütuste hinna suhteline alanemine, seda fossiilkütuste kõrgema maksustamise tulemusena ja ka CO₂ emissiooni maksustamise tõttu. Majanduslikku tasuvust mõjutavad kindlasti ka mitmes riigis praktiseeritavad biokütustele suunatud toetused. Seetõttu saab täpsemaid otsustusi teha ainult konkreetsetest tingimustest lähtudes.

7.6. Kütuselao otstarbeka mahu määramine

Põhilisteks teguriteks, millest hoidla suurus sõltub, on kütuse liik, tarnekindlus, kasutada olev ruum ja territoorium, kütuseveoki suurus jne. Kui on võimalik olemasolevas ehitises hoidla sisse seada, siis tavaliselt osutub odavamaks kütuse tarnegraafikud hoidla mahust lähtudes kooskõlastada, selle asemel et rajada uus hoidlaehitis. Uue hoidla ehitamisel tuleks lähtuda sellest, et hoidla minimaalne maht peaks olema kütuseveoki mahust vähemalt poolteist korda suurem. Tõenäoliselt on vajalik arvestada ka seda, et olemasoleva kütusevaruga oleks võimalik "üle elada" vähemalt paaripäevane tarnepaus – nt nädalavahetused, pühad jne.

Väiksemas katlamajas pelletite kasutamise korral võib kaaluda võimalust rajada mahuti, kuhu saaks suvel osta kogu aastaks vajatav kogus. See võib olla otstarbekas juhul, kui suvel on pelletite hinnad madalamad talvistest. Pelletihoidlate korral tuleb eriti rangelt järgida tuleohutusnõudeid ja vältida pelletite niiskumise võimalus.

7.7. Biokütuste kasutamise projektide majanduslik hindamine ja analüüs

7.7.1. Kaugkütteettevõtte kulud ja tulud

Kaugkütteettevõtte tulud kujunevad soojuste (mõnikord ka elektri) müügist ja need peavad katma täies ulatuses ettevõtte kulud. Kulude hulka kuuluvad:

- kulutused kütustele, kusjuures arvesse tuleb võtta nii biokütusele kui fossiilkütusele tehtavad kulud;
- kapitalikulud, st laenude tagasimaksed ja laenuintressid;
- käidukulud, st igapäevase eksploatatsiooniga seotud kulud;
- hoolduskulud, mille hulka kuuluvad nii plaanilise hoolduse kui võimalike avariide likvideerimisega seotud kulud;
- kasum.

Kasumit võidakse mõista ja käsitleda erinevalt – paljudes maades on kasum see rahaline allikas, millest tehakse investeeringuid, täiustatakse tehnoloogiat, leevendatakse keskkonnamõjusid ja parandatakse töötingimusi. Omanikutulu energiaettevõtte tegevusest, st aktsiatelt saadavad dividendid, võib olla nii lubatud kui keelatud.

Mõnedes riikides (näiteks Taanis) kuuluvad kaugkütteettevõtted tavaliselt kohalikele omavalitsustele ja seal on omanikutulu saamine keelatud. Eestis on seejuures enamik kaugkütteettevõtteid eraomanduses ja omanike huvi teenida mõelduk aktsiatulu tagab varasemast parema majandamise.

Kütusekulude arvestamisel on tavaliselt kõige keerulisem hindade muutumise prognoosimine, sest kavandatavate investeeringute tagasimaksimine sõltub tugevalt kütuste hindadest tagasimaksete perioodil. Fossiilkütuste hinnad kujunevad põhiliselt rahvusvahelisel kütuseturul ja ka biokütuste osas on rahvusvaheline kauplemine hakanud nende hindu rohkem mõjutama.

Kütuste hindu mõjutavad üha enam keskkonnamaksud, kuid see puudutab eelkõige fossiilkütuseid ja parandab biokütuste konkurentsivõimet.

Tehtud investeeringud, laenude tagasimaksed ja intressid moodustavad kapitalikulu. Kapitalikulude arvestamisel võetakse arvesse ka intressimäära, laenu tagasimakse perioodi pikkust ja tingimusi ning

seadme tööga. Investeeringu väärtustamisel ei arvestata, millisest finantseerimisallikast raha on saadud, st. projekti väärtustamise seisukohalt pole oluline, kas finantseerimine toimub omakapitali või pangalaenu alusel (vt punkt 7.7.2).

Ettevõtte majandusliku tegevuse ja investeeringute otstarbekuse hindamisel on kasulik vaadelda kulusid püsi- ja muutuvkuludena. Püsikulude hulka kuuluvad sellised kulud, mille suurus ei sõltu soojustoodangust, st seadmete koormamisest, ja on ligikaudu proportsionaalsed seadme võimsusega. Püsikulude hulka kuuluvad näiteks kapitalikulud ja põhitöötajate palgad. Kuna soojuskadu kaugküttetorustikes ei sõltu edastatava soojuse kogusest, võib ka soojuskadu trassides lugeda püsikulude hulka.

Muutuvkulud moodustuvad põhiliselt kütusekuludest, kuid ka osa käidu- ning hoolduskuludest võivad olla muutuvkulud.

7.7.2. Investeeringu tasuvuse hindamine

Investeeringu tasuvuse hindamisel on võimalik kasutada mitmeid erinevaid meetodeid, sh:

- tasuvusaja meetod, kusjuures tehakse vahet lihttasuvusajal ja nn diskonteeritud tasuvusajal;
- tulu nüüdisväärtuse meetod (NPV);
- sisemise rentaabluuse e tulunormi meetod (IRR) jt.

Investeeringute analüüsil tuleb arvestada raha väärtuse muutumist ajas, st kindel rahaline summa (näiteks miljon krooni) praegu ja 10 aasta pärast pole ekvivalentsed. Raha väärtuse muutumist ajas ei tule seostada mitte inflatsiooniga, vaid eelkõige asjaoluga, et seisev raha ei tooda lisaväärtust, ettevõtlusse paigutatud raha aga toodab majanduse arenedes lisaväärtust.

Kapitali (raha) tegelikku väärtust ajahetkel, mil arvutust teostatakse, nimetatakse tema

nüüdis- ehk diskonteeritud väärtuseks ning vastavate tulevikus teostatavate maksete väärtuste ülekannet sellele ajahetkele diskonteerimiseks. Raha väärtuse muutumise kiirust näitab diskonteerimismäär, mis väljendab väärtuse muutust protsentides aastas.

Investeeringu tasuvusajaks nimetatakse aega, mis kulub investeerimiskulutuste tagasiteenimiseni normaalse eksploatatsiooni käigus. Kasutatakse kaht tasuvusaja mõistet: diskonteerimata e lihttasuvusaeg ja diskonteeritud tasuvusaeg.

Lihttasuvusaega on eriti mugav arvutada siis, kui aastased sissetulekud (tulude ja kulude vahed) on võrdsed. Lihttasuvusaeg määratakse valemiga:

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

kus T – lihttasuvusaeg,

I_0 – investeeringu suurus,

a – igaaastane tulude ja kulude vahe.

Toodud valemi järgi arvutamine on väga lihtne ja ei nõua laenuprotsendi ega teiste laenuitingimuste ning finantsolukorra tundmist. Oma lihtsuse tõttu kasutatakse seda näitajat tavaliselt projekti tasuvuse esmaseks hindamiseks. Kui lihttasuvusaeg on pikem kui laenuvõtja ja pank seda soovivad, tuleks projekti teha muudatusi, mis tasuvusaega lühendavad.

Lihttasuvusaeg näitab tasuvusaega tingimustes, kus laenuprotsente ei maksta, st raha väärtust ei diskonteerita. Tegelikud laenu tagasimaksed sisaldavad ka laenuprotsente ja on seega suuremad ning tegelik projekti tasuvusaeg (diskonteeritud tasuvusaeg) kujuneb pikemaks.

Tavaliselt peetakse normaalseks tasuvusaegu alla 5 – 7 aasta, mis on praktiliselt alati tunduvalt lühem seadme kasutusajast. Kuna biokütusel töötava katlamaja tööga ületab tavaliselt 15 aastat, ei iseloomusta tasuvusaeg katlamaja otstarbekust kogu tööperioodi vältel. Selle puuduse korvamiseks ning projekti ja investeeringu

täpsemaks hindamiseks kasutatakse täiendavalt veel teisi meetodeid. Toodud põhjusel nõuavad paljud pangad laenutaotluses nii tasuvusaja kui tulu nüüdisväärtuse ja tulu sisenormi näitajate esitamist.

Tulu nüüdisväärtus näitab, kui suur on projekti tööea jooksul saadud tulu käesoleva hetke raha väärtust aluseks võttes. Mida suurem on tulu nüüdisväärtus (NPV¹²), seda enam projekti raames rajatud katlamaja oma tööea jooksul tulu teenib. Negatiivne NPV väärtus näitab ettevõtmise kahjumlikkust.

Näitaja NPV väärtus sõltub tugevasti laenuprotsendist (diskonteerimise määrast). Kuna laenuprotsent võib aastate jooksul muutuda, siis on sobiv arvutada ka tulu sisenormi määr (IRR¹³). Näitaja IRR väljendatakse protsentides ja näitab maksimaalset laenuprotsenti, mille korral projekt oma tööea jooksul veel tulu annab. Kui arvutatud IRR väärtus on suurem nii hetke kui tulevikus prognoositavast laenuprotsendist, on projekt tulutoov ja viitab ka positiivsele NPV väärtusele.

Käesoleval ajal on paljudes riikides laenuprotsendid ajaloo ühed madalamad (sageli alla 4 %). Nii madala laenuprotsendi püsimist pikema perioodi kestel peetakse vähetõenäoliseks ja projektide tasuvust soovitakse hinnata kõrgema laenuprotsendi korral.

7.8. Biokütuse kasutuselevõtu planeerimise eripära lokaalküttes

Nii kaugküttes kui lokaalküttes lähtutakse soojusallika valikul koormusest ja koormuste kestusgraafikust (vt Joonis 7.1).

Lokaalküttes on soojuskoormused enamasti väiksemad kui kaugküttes. Seetõttu kujunevad väiksemaks ka katelde (soojusallikate) vajalikud võimused ja mitme katla paigaldamine pole ei tehniliselt ega majanduslikult otstarbekas.

Kui lokaalküttes kavatakse kasutada biokütuseid, tuleks biokütusekatlaga katta kogu vajalik koormus. Arvestades tüüpilise koormuste kestusgraafikuga ja tippkoormusekatla puudumisega kujuneks biokütusekatla arvestuslik kasutusaeg lokaalküttes ligi poole lühemaks kui baaskoormusel töötava biokütusel katla korral kaugküttes.

Et vältida keerukate ja kallite seadmete vajadust lokaalküttes, peetakse lokaalküttes sobivaks kasutada kõrgema kvaliteediga biokütuseid. Eriti mugav on pelletite kasutamine, mis võimaldab praktiliselt samasugust automatiseerituse taset kui vedel- ja gaaskütuste korral.

Tippkoormusekatla puudumist püütakse mõnikord korvata elektriliste kütteelementide paigaldamisega kas biokütusekatlasse või mujale küttesüsteemi. Elektriga oleks võimalik katta lühiajalist tippkoormust. Samuti võiks elektrilisi kütteelemente kasutada lisakütteallikana üheperemajades, seisatades biokütusekatla elanike pikema eemalviibimise ajaks (näiteks talvine suusapuhkus) ja hoides sel ajal kütteevee minimaalselt vajalikku temperatuuri elektriga.

¹² inglisekeelne lühend NPV (*net present value*) tähistab ühtlasi selle suuruse arvutamiseks kasutatavat standardset MS EXCEL'i funktsiooni

¹³ inglisekeelne lühend IRR (*internal rate of return*) tähistab samuti selle suuruse arvutamiseks kasutatavat standardset MS EXCEL'i funktsiooni

8. BIOKÜTUSE KATLAMAJADE RAJAMISE JA KÄIDU KOGEMUSTEST

Käesolevas peatükis selgitatakse biokütuste kasutuselevõtu kogemusi Balti riikides, kusjuures konkreetsed näited pärinevad Eestist. Hoonete kütteks on puitu põhikütusena kasutatud väga pikka aega. Ka puidu kasutamine katlakütusena algas juba üle 100 aasta tagasi, esmalt aurumasinatete auru tootvate katelde kütusena.

Möödunud sajandi seitsmekümnenndatel aastatel toimus kiire sae- ja metsatööstus-ettevõtete areng, kusjuures tekkivaid jäätmeid hakati põletama ettevõtete katlamajades. Mõned sel ajal töösse rakendatud puidujäätmete katlad töötavad veel tänase päevani.

Massiline söe- ja õlikatelde üleviimine puitkütustele ja turbale algas möödunud sajandi 90ndate aastate keskpaigas. Baltimaades peeti peamiseks põhjusteks

nende kütuste järsku kallinemist ja elanikkonna makseraskusi suurte poliitiliste ja majanduslike muutuste perioodil. Biokütuste kiire ja laialdase kasutusele võtmise programmi kaugkütte katlamajade renoveerimisel aitasid käivitada Maailmapanga, EBRD ja eriti Rootsi riigi laenu NUTEK'i (nüüd STEM) kaudu ning sellega kaasnenud Põhjamaade spetsialistide tehniline nõuanne. Tagastamatut abi on andnud ka Taani. Esimene uue põlvkonna biokütuse katlamaja ehitatigi Eestis Taani riigi kingitus (1993).

8.1. Tähelepanekuid statistikast

Ajavahemikul 1993 kuni 2003 kasvas puitkütuste ja turba kasutamine katlakütusena märkimisväärselt. Riikliku statistikaameti andmete alusel (vt Tabel 8.1, [58]) toodeti nende kütuste baasil 2003.a rohkem kui 3,5 korda enam soojust kui 1993. aastal, kusjuures toodangu juurdekasv saavutati põhiliselt puitkütuste arvelt.

Tabel 8.1. Statistilised põhiaandmed puitkütustel ja turbal töötavate katelde kohta Eestis [58]

Näitaja	Ühik	1993	1995	1998	2003
Katelde arv	tükki	609	1080	815	903
Võimsus	MW	712	1366	865	856
Toodetud soojus	GWh	527	1191	1456	1941
Tarbitud kütus	TJ	2790	6144	7099	8719

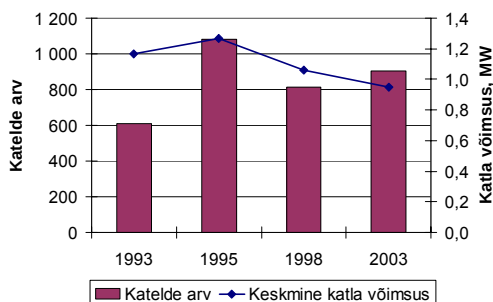
Eesti kaugkütte katlamajades, tööstus-ettevõtetes ja lokaalküttes oli 2003. aastal kasutusel üle 900 biokütuseid ja turvast põletava katla koguvõimsusega ligikaudu 850 MW. 2003. aastal toodeti turbal ja puitkütusel töötavate kateldegagi ligi 2 TWh soojust, mis moodustas üle 30 % katlamajade soojustoodangust. On märkimisväärt, et seejuures vedelkütuste osatähtsus on langenud 22,5 %-ni ja kiviõli kasutamisest on praktiliselt loobunud (osatähtsus umbes 0,01 %).

Puitkütus ja turvast põletavaid katlaid on otstarbekas käsitleda koos, sest enamasti

on samas koldes võimalik põletada mõlemat kütust. Kui põhikütuseks on planeeritud turvas, siis vihmase suve järel on turba vähesuse tõttu seal tihti põletatud valdavalt hakkpuitu. Statistika võtab aga katla arvele turba- või puidukatlana vastavalt sellele, kumba kütust konkreetsel aastal rohkem põletati. Seetõttu võib üks ja seesama katel olla mingil aastal statistikas arvel kui turbakatel, mõnel teisel aastal aga kui puidukatel.

Statistiliste andmete alusel (vt Tabel 8.1) on võimalik välja tuua mitmeid huvipakkuvaid tendentse. Näiteks katelde arv

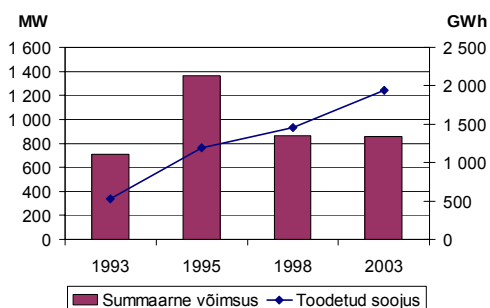
tõusis puit- ja turbakütustele massilise ülemineku perioodi alguses eriti kiiresti, kuid seejärel langes ja hiljem hakkas uuesti kuid aeglasemalt tõusma. Katelde koguarv saavutas maksimumi 1995. aastaks ja ulatus siis 1080 katlani. Samal ajal muutus mõnevõrra ka keskmine katla võimsus (vt Joonis 8.1), mille väärtuse kõikumised on toimunud siiski suhteliselt väikestes piirides umbes 1 MW tasemel.



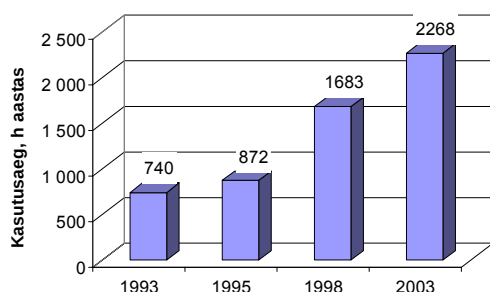
Joonis 8.1. Puidu- ja turbakatelde arvu muutumine

Erinevalt katelde arvust ja summaarsest võimsusest on soojustoodang alates 1993. aastast pidevalt suurenenud (vt Joonis 8.2). Siit võib otseselt järeldada, et katelde koormamine on pidevalt paranenud. Selle tõestuseks on statistiliste andmete alusel (vt Tabel 8.1) leitud arvutuslike kasutusaegade muutumise graafik (vt Joonis 8.3). Nagu eespool selgitatud (vt punkt 7.3), viitab katelde pikem kasutusaeg nende majanduslikult otstarbekamale rakendamisele.

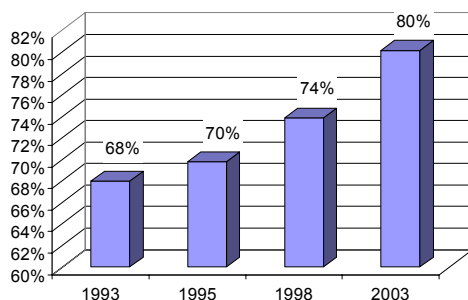
Statistiliste andmete alusel (vt Tabel 8.1) on võimalik välja arvutada ka katelde keskmised aastased kasutegurid (vt Joonis 8.4). Arvutatud kasuteguri väärtusi võib võrrelda TTÜ soojustehnika instituudis paljude aastate kestel läbiviidud mõõtmiste tulemustega, mis näitavad, et optimaalsetel põlemisrežiimidel ulatub enamike biokütusekatelde tegelikult mõõdetud kasutegur 85 – 87 %-ni.



Joonis 8.2. Puidu- ja turbakatelde summaarse võimsuse ja soojustoodangu areng



Joonis 8.3. Puidu- ja turbakatelde arvestusliku kasutusaaja muutumine



Joonis 8.4. Puidu- ja turbakatelde keskmine kasutegur statistiliste andmete järgi

Vajab siiski märkimist, et sageli määratakse katlamajades kütusekogus ja kütuse energiasisaldus lihtsustatult, lisaks puudub mitmel pool katlal soojusmõõtja

ning tarbitud kütuse energiasisaldus ja toodetud soojushulk määratakse arvutuslikult. Kuigi statistiliste andmete järgi arvatud kasutegurite täpsus ei ole nii kõrge kui katselisel määramisel, võimaldab statistika ilmekalt näidata aastate jooksul toimunud seadmete efektiivsuse kasvu ja seetõttu võib kasuteguri tõusu 80 % tasemele aastal 2003 pidada igati tõepäraseks.

Nagu näitab katelde arvu järsk vähenemine pärast aastat 1995, osutusid paljud biokütuste kasutuselevõtu projektid ebaõnnestunuks. Katelde kasutusest väljalangemise tüüpiliste põhjuste hulka kuulusid enamasti tõsised planeerimis-, ehitus- ja eksploatatsioonivead, näiteks:

- ei õnnestunud hankida piisavas koguses ja sobiva kvaliteediga kütust, kütusevarustusega hakati tegelema liiga hilja ja katel jäi kütusepuudusel seisma;
- biokütusekatla võimsuse ebaõige valik, st valikul lähtuti varasemast märksa suuremast soojustarbest ning reaalsete ja oluliselt madalamate soojuskoormuste korral osutus lahendus ebasobivaks;
- kasutati algelist ja väga odavat tehnoloogiat, mis ei olnud töökindel ja ei vastanud ootustele;
- personali ebapiisav kvalifikatsioon, mõnikord ka soovimatus või motivatsiooni puudumine uute seadmete tundmaõppimiseks;
- konkureerivate kütuste (maagaas, põlevkiviõli) ajutiselt soodsam hind ja suurem kasutusmugavus.

Eelmise sajandi üheksakümnendate aastate keskel läksid paljud maa-piirkondade väikeasulate soojusettevõtted suure laenukoormuse ja oskamatu juhtimise tõttu pankrotti. Oma osa mängisid ka planeerimis- ja ehitusvead. Näiteks, eelkõlle puidu või tükkturba põletamiseks paigaldati maagaasile projekteeritud leektoru-suitsutoru katla ette, kuid siis

kujunes suitsutorude tuhande puhastamine äärmiselt tülikaks ja aeganõudvaks.

Esimeste Eestis valmistatud eelkollete vastupidavus oli väike, müüritis lagunes, restielemendid põlesid kiiresti läbi jne. Paljudes katlamajades ei pööratud tähelepanu kütuse kvaliteedile. Esines juhtumeid, kus lühikeseleegilise kivisöö põletamiseks projekteeritud koldes üritati põletada vettinud ja ligi 2 m pikkusi jämedaid puunotte. Sellised vead ja kütuse sobimatus tegid tõsiselt kahju puitkütuste kasutamise mainele.

Katelde arvu vähenemise ja katlamajade sulgemise saab osaliselt kanda ka sotsiaalsete muutuste arvele. Põllumajandustootmise drastiliselt kiire languse tõttu kaotasid maainimesed töö ja sissetuleku ning endiste põllumajandusettevõtete (kolhoosid, sovhoosid) keskasulate korrusmajades elavad töötajad ei jõudnud tasuda soojuse ja sooja tarbevee arveid. Maksmata arvete tõttu kroonilistesse võlgadesse sattunud soojusettevõtted ei suutnud omakorda võetud laene tagasi maksta ega varuda kütust. Elanikud hakkasid paigaldama elamutele või isegi üksikutele korteritele eraldi kütteallikaid, mis veelgi halvendas soojusootjate majanduslikku seisu, sest tarbijate arv kaugküttevõrgus vähenes ja soojuse hind allesjäänud tarbijatele paratamatult tõusis. Sarnased tendentsid soojusmajanduses leidsid aset kõikides Balti riikides enam-vähem samal ajal.

Uue aastatuhande alguses on üle saadud vahepealsest mõonast ja puitkütusel ning turbal töötavate katelde arv ja koguvõimsus on jälle kasvamas. Puitkütuste ja turba populaarsuse tõusu on soodustanud fossiilkütuste ja elektri hindade tõus, kuid paranenud investeerimiskliima ning suurenenud investeeringutoetuste saamise võimalused. Biokütustele ülemineku finantseerimiseks saab kasutada näiteks nn ühisrakendusprojekte, mille raames CO₂ emissiooni vähendamiseks mitte toime-tulevad tööstusriigid (näiteks Soome, Taani jt) aitavad finantseerida kasvuhoone-gaaside emissiooni vähendamise projekte teistes riikides, sealhulgas Eestis.

Puidujäätmete kütusena kasutamise majanduslikku tasuvust näitab ilmekalt asjaolu, et enamik sae- ja puidutööstuse ettevõtteid ja praktiliselt kõik toodangut eksportivad ettevõtted on rajanud oma jäätmetel (koor, saepuru) töötavad katlamajad puidukuivatite soojusega varustamiseks.

8.2. Näiteid edukatest biokütuse kasutuselevõtu projektidest

Biokütuse kasutuselevõtu kavandamisel on nii Balti riikides kui Loo-de-Venemaal silmas peetud kolme põhilist tehniliselt erinevat lahendust:

- olemasolevate söekatelde kohandamine puitkütuste või turba põletamiseks;
- fossiilkütustel töötavate katelde ümberehitamine puitkütuste või turba põletamiseks;
- uute komplektsete biokütusekatelde paigaldamine fossiilkütuste katla asemele või eraldi uue biokütusel töötava katlamaja rajamine.

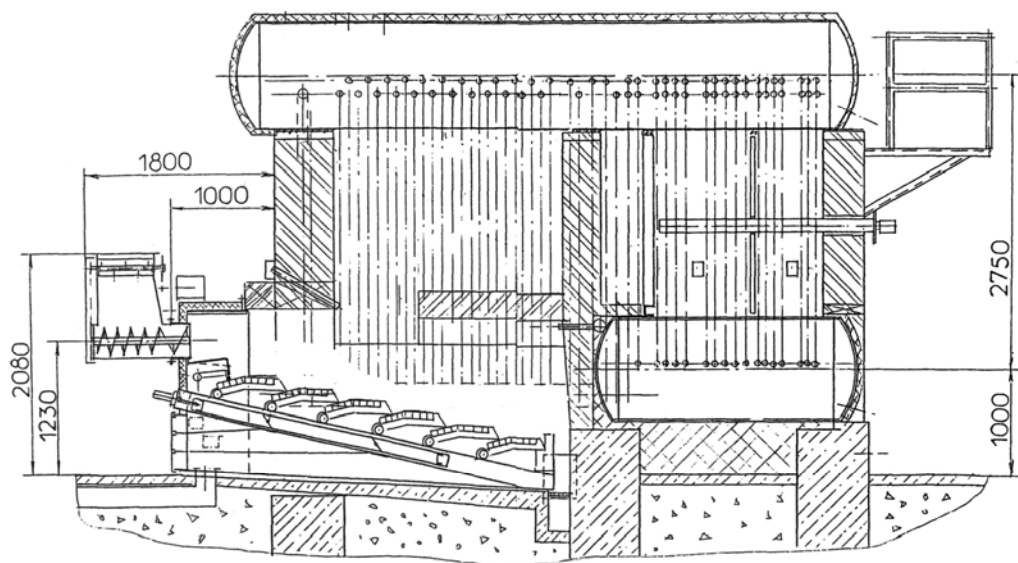
Kütuste hinna hüppelise kasvu perioodil on paljudes kivi-söekatel-des kohalike odavamate kütuste põletamist katsetatud. Reeglina oli see hädalahendus. Lendosaderikka ja niiske puidu või turba põletamisel kivi-söekolletes jäi kolde temperatuur madalaks, mittetäielikust põlemisest tingitud soojuskaod suurenesid järsult, katla kasutegur jäi madalaks ja küttepinnad ning korsten saastusid.

Kuigi kivi-söekatel-des võib oskusliku põlemisprotsessi juhtimisega saavutada rahuldavaid tulemusi [59], ei ole selline biokütuste põletamine kuskil püsivat edu toonud.

Fossiilkütusekatelde biokütustele ümberehitamiseks on kaks võimalikku varianti:

- biokütuste põletamiseks sobiva resti paigutamine koldesse;
- eraldipaikneva eelkolde ehitamine katla ette.

Koldesse resti paigaldamine on võimalik ainult mahuka kolderuumi korral. Selline lahendus on hästi rakendatav väga laia levikuga Venemaal toodetud DKVR tüüpi katelde puhul (vt Joonis 8.5).



Joonis 8.5. Varem masuudil töötanud DKVR-4-13 tüüpi katla koldesse paigutatud rest hakkpuidu ja freesturba põletamiseks

Nagu jooniselt selgub, jääb osa restist DKVR-tüüpi katla koldest väljaulatuvaks. Käesolevas peatükis on mõningaid sellise tehnilise lahendusega biokütusteprojekte lähemalt vaadeldud punktides 8.2.4 ja 8.2.5.

Eelkollet võib ehitada praktiliselt mistahes katla ette. Seejuures on võimalik kasutada eelkolde standardseid lahendusi ja katla juures pole suuri ümberehitusi vaja teha. Enamasti kasutatakse olemasoleva katla kolderuumi eelkoldest väljuvate lendaineriikaste gaaside järelpõletamiseks ja selleks tuleb kolderuumi juhtida lisaõhku (sekundaarõhku, tertsiaarõhku). Ka eelkoldega variante on järgnevates näidetes käsitletud (vt näiteks punktid 8.2.2 ja 8.2.3).

Olemasolevate katelde ümberehitamisel on oluline, et katla tehniline seisukord võimaldaks seda biokütusekatlana piisavalt kaua ekspuataeerida. Vana katla ümberehitamisel võib juhtuda nii, et katel amortiseerub enne kui tema ette ehitatud eelkolle või sisseehitatud rest. Seega on igati loogiline, et eelmise kümnendi keskpaigani oli olemasolevate katelde ümberehitamine väga populaarne, kuid hiljem osutus otstarbekaks ka katel välja vahetada, st paigaldada uus komplektne biokütusekatel.

Uute biokütusekatelde ehitamisel eelistavad kohalikud soojusettevõtjad tavaliselt uute seadmete paigutamist olemasolevasse katlamajja vana katla asemele. Võrreldes uue katlamaja ehitamisega võib sel juhul saavutada märgatavat kulude kokkuhoidu, mis saavutatakse tänu mittestandardse lahenduse kasutamisele. Välismaised tuntud katlafirmad ja nende kohalikud esindused eelistavad tavaliselt uue katlamaja rajamist, sest see võimaldab paremini ära kasutada pikaajaliste kogemuste põhjal väljatöötatud terviklahendusi.

Biokütuseprojektide kohta andmete hankimise esimesel etapil saatsime laiali küsimustiku, et koguda üldist informatsiooni 20 biokütuse kasutuselevõtu projekti kohta. Saabunud vastuste põhjal valisime põhjalikumaks analüüsiks välja

kümme projekti, igaüks 4 – 8 MW võimsusega katlaga. Valikusse võtsime viis projekti, kus olemasolev fossiilkütuse katel rekonstrueeriti, ja viis projekti, kus paigaldati uus kompleksne katelseade. Järgnevalt külastasime valitud objekte, tutvusime seadmetega, vestlesime katlamaja juhtiva personali, katelde operaatorite ja teiste töötajatega ning mõnel juhul ka kütuse tarnijatega.

Tänu personali vastutulekule oli meil enamikel juhtudel võimalik tutvuda seadmete tehnilise dokumentatsiooniga, kasutada eelnevate aastate ekspuataatsioonilisi andmeid ja fotografeerida.

Järgnevalt vaatleme väljavalitud edukaid biokütustele ülemineku projekte, mis viidi läbi ajavahemikul 1993 – 2003, seega kõige pikem ekspuataatsioonikogemus küünib 12 aastani (vt punkt 8.2.1) ning ka kõige uuemate vaadeldud projektide korral on katlad töös olnud vähemalt ühe aasta (vt punkt 8.2.8 ja 8.2.9).

Ekspuataatsioonikogemuste edasiandmisel lähtusime katlamajade personali tähelepanekutest ja ankeetide vastustest. On loomulik, et personal meenutab eelkõige raskusi ja probleeme, mille lahendamiseks nad kogemusi omandasid. Seega ei maksa vigade ja probleemide loetelu käsitleda kui ebaõnnestumiste rida. Kõik vaadeldud biokütuste kasutuselevõtu projektid on olnud edukad ning katlamajade töötajad on väga rahul sellega, et suudavad kodumaiste taastuvate energiaallikate baasil toota odavamalt soojust kui varem fossiilsete kütustega.

Võimalusel on püütud lühidalt esitada ka projekti ettevalmistamise ja ehitamise perioodi tähelepanekuid.

8.2.1. Tehnika katlamaja Türil

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 1993.

Katlamaja:

OÜ Terme Tehnika katlamaja Türil.

Seadmete tarnija:

Vølund Energy Systems A/S, Taani.

Katelseade:

4 MW kompleksne katelseade
Danstoker, jahutuseta mehaanilise
kaldrestiga eelkolle, vertikaalsete
suitsutorudega veekatel.

Kütus:

hakkpuut, raie- ja puidutööstuse
jäätmel, koor, saepuru, tükkturvas
niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

automaatse greiferkraanaga varustatud
kinnine ladu.

Kütuse edastusseadmed:

kütus antakse koldesse koldeesisest
punkrist hüdraulilise tõukuriga.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

kuiv tuhaärastus tigutranspordööriega,
multitsüklon katlamajas, vana
kivikorsten.

OÜ Terme Tehnika katlamajja paigaldatud
4 MW katel oli esimene uue põlvkonna
biokütusekatel Eestis, ühtlasi oli see
esimene suur rahvusvaheline projekt
energeetika valdkonnas pärast Eesti
taasiseseisvumist, mille käigus saavutati
stabiilne soojusvarustus ühes väikelinna
kaugküttevõrgus.

Algselt planeeris Taani valitsus anda
Eestile rahalist abi imporditava kütte-
masuudi ostmiseks. Kuna otsene
energiakriis oli Eestis lühiajaline, siis
otsustas Taani valitsus kasutada toetuseks
eraldatud raha kohalikul kütusel töötava
katlamaja ehitamiseks. Kokku kulus otsuse
tegemisest kuni katlamaja käikuandmiseni
umbes 7 kuud.

Katelseade

Kompleksne Danstoker katelseade
paigutati vaba katla kohale varem ainult
küttemasuudil töötavasse katlamajja. Kuna
vertikaalsete suitsutorudega katelseadme
kõrgus oli suurem katlamaja kõrgusest, tuli

katus montaaži ajaks eemaldada ja hiljem
kõrgemale tõsta (vt Joonis 8.6).



Joonis 8.6. Komplektse biokütusekatla
montaaž AS Terme Tehnika
katlamajas, foto V.Vares

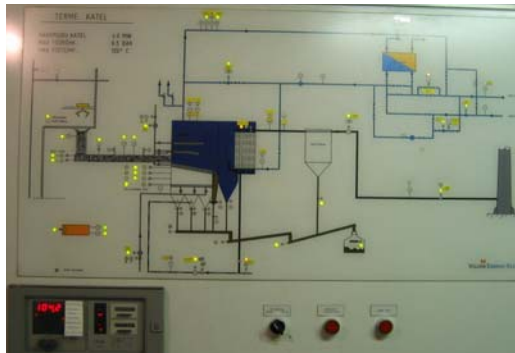
Kuigi Taani firma kasutas igati
läbiproovitud tehnilist lahendust, paigaldati
Türi katlale täiendusena elektrooniline
leegikontrolli andur ebaõigest seadmete
kasutamisest tuleneva plahvatusohu
vältimiseks¹⁴.

Biokütusekatla juhtimiskilbil esitatud skeem
(vt Joonis 8.7) annab üldise ettekujutuse
katla ja selle abiseadmete ning mõõte-
andurite paiknemisest.

Koldeprotsesside jälgimiseks on katlal
piisavalt vaateavasid. See võimaldas
personalil restil ja koldes toimuvat jälgida ja
katla tööd juhtida. Märgati, et resti kohal
olevale kaarvõlvile koguneb mõne töö-
päevaga suur kogus tuhka. Kütuse
põlemistsoon paigutub enam-vähem resti
keskossa, kus restilülid otsad sulavad.
Igal aastal on restilülisid paigutatud ümber
nii, et põlemisjälgedega lülid paikneksid

¹⁴ Lätis toimus käivitusperioodil analoogne
katla koldes plahvatus, sest primaarõhu
ventilaator käivitati ekslikult pärast leegi
kustumist koldes.

madalama koormusega kohtades ja tervemad restilülid keskel, kus soojuskoormus on suurem. Ümberpaigutamiste tõttu on uutega asendada tulnud ainult üksikud restilülid.



Joonis 8.7. Vaade biokütusekatla juhtimiskilbile Türi Tehnika katlamajas, foto Ü.Kask

Huvitava tähelepaneku on teinud operaatorid katla käivitamisel. Tuhaga kaetud (saastunud) restiga võtab nominaalkoormusele jõudmine kaks korda kauem aega kui puhta resti korral, st kuni 8 tundi tavalise 3–4 tunni asemel. Ebakvaliteetse (eelkõige liiga peene-fraktsioonilise, aga ka pinnasega saastunud) kütuse korral ummistuvad resti õhupilud. Lammutus- ja liimpuidujäätmete põletamisel sulas tuhk kaarvõlvi peal ja moodustas kõvu sadestisi katla konvektiivosas (vt Joonis 8.8), millest lahtisaamiseks korraldati nn termošokk.

Pärast 8 aastast ekspluatatsiooni vajas kolde müüritis remonti, mille käigus eemaldati vana müüritis teatud piirini ja valati uuesti. Resti külgedel paiknevad malmplaadid kulusid tugevasti ülemises külmas tsoonis. Need vahetati alumise tsooni omadega.

Suvel kaugküttevõrgu madala tarbimis-koormuse juures võib katla konvektiivosas tekkida kastepunkt. Pärast ligi 15 aastast pidevat käitamist peetakse vajalikuks katla konvektiivosa metalli põhjalikku kontrolli, sest on kahtlusi, et see enam kaua ei vastu

ei pea. Konvektiivküttepinna torusid puhastati varem seestpoolt harjadega, kuid nende puhastusvõime on ammendunud, nüüd toimub see freesiga. Pärast iga freesimist on näha ka eemaldunud korrosioonikihti.



Joonis 8.8. Kõvastunud tuhasadestised kaarvõlvilt, foto Ü.Kask

On põhjust arvata, et suitsutorude ülemäärast saastumist saaks ära hoida teiste puhastusviiside rakendamisega, näiteks perioodilise akustilise puhastusega, mis ei vaja katla seisatamist ja väldiks paksu sadestisekihi tekkimist ning kaitsva oksiidikihi pidevat eemaldamist harjamise ja freesimise ajal.

Kuigi katlamaja juhtimissüsteem oli häireteta töötanud pika aja jooksul, siis 2005. aastal katlamaja juhtarvuti nii-öelda „jooksis kinni“, kuid õnneks suudeti see taaskäivitada varuprogrammiga.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud, nende jõudlus rahuldab katla vajadust ning need on hästi vastu pidanud.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Kütuse ladu (vt Joonis 8.9 ja Joonis 8.10) on ehitatud selliselt, et nii lao täitmine kui muud kütuse teisaldamise operatsioonid tehakse greiferkraanaga.



Joonis 8.9. Türi Tehnika katlamaja kütuse ladu, foto Ü.Kask



Joonis 8.10. Greiferaana töötab laos automaatselt ja jaotab kütuse laos ühtlaselt, foto Ü.Kask

Greiferaana töötab kütuselaos automaatselt koordinaatsüsteemis (valmistatud komplekselt Taanis). Lao-seadmestik on kütuse koostise suhtes tundlik ja kohalikes oludes küllaltki kapriisne. Kui kütusesse satuvad pikad tükid (nt lauajupid) võib kraana välja lülitada. Katlamaja spetsialistid on süsteemi täiustanud. Greiferi trosse vahetatakse iga poole aasta tagant ja määratakse teflonmäärdega, mis on andnud väga häid tulemusi. Talvel kütus külmub lao seinte ääres umbes 30 cm ulatuses. Kuna seinte äärest kütust kätte ei saada, võivad seal hiljem hakata arenema seened.

Kütus

Ettevõtte üheks suuremaks probleemiks on viimastel aastatel kujunenud kütuse kvaliteet ja tarnekindlus. Kinnine ladu mahutab kütusekoguse, millega saab täisvõimsuse korral katelt varustada alla kolme ööpäeva.

Siiani on õnnestunud kasutada erinevate omadustega puitkütuseid, kusjuures koldesse andmiseks sobiva niiskuse (35 – 55 %) saamiseks on tulnud erineva niiskusega kütuseid omavahel segada, näiteks segatakse märga puukoort kuivade spoonijääkidega. Saabuva kütuse niiskuse on kõikunud vahemikus 15 – 65 %.

Katlamajas kasutatakse puitkütuse ettevalmistamiseks haamerveskit, millega peenestatud puit jääb kohevaks (vt Joonis 8.11) ja selle kasutamisel on häiritud kütuse söötmine koldesse – latt-tõukur liigub kütusekihi alt läbi seda restile lükkamata (sööteava kõrgus on 10 cm ja lati kõrgus 5 cm). Sama probleem esineb ettevõtte teiseski katlamajas (Vabriku katlamaja, vt punkt 8.2.5).

Danstoker katlas on võimalik lisakütusena kasutada turvast, kuid see ei ole võimalik ettevõtte teises katlamajas (Vabriku katlamaja, vt punkt 8.2.5), sest turba tuha mineraalosa reageerib kolde müüritise materjaliga ja lõhub müüritise.



Joonis 8.11. Vasarhakkuriga valmistatud hakkpuit, foto Ü.Kask

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Äärmiselt tähtsaks peetakse multitsükloni puhastamist (puhastatakse elektridrelli otsas oleva harjaga). Kui kasutatakse palju peenefraktsioonilist kütust, ummistuvad multitsükloni 12 mm pilud. Tuhaärastusseadmetes tuha hõõgumist praktiliselt ei esine, välja arvatud ebaõige põlemisrežiimi korral: näiteks vähe õhku, ebaõige primaar- ja sekundaarõhu vahekord, kütuse kvaliteedi kõikumise tõttu pole suudetud põlemisõhu koguseid kütusele sobivaks välja reguleerida.

Vibratsiooni vältimiseks asendati tuhatransportööri radiaallaagrid radiaal-aksiaal-laagritega. Eemaldatud tuha kasutavad väetisena ära ümberkaudsed talunikud.

Koos katlamaja rajamisega ehitatud ja varem masuudikatelde jaoks kasutatud kivikorsten on kohati üsna lagunenenud (vt Joonis 8.12) ja vajaks remonti. Viimasel 5 – 6 aastal on talvistel külmaperioodidel korstnale tekkinud jääpurikaid. Suitsugaasidest väljakondenseerunud vesi tungib korstnakivide vahelt väljapoole ja jäätub. Korsten on projekteeritud vedelkütuseid põletavatele kateltele koguvõimsusega ~25 MW, kuid tänapäeval ületab katlamaja koguvõimsus harva 4 – 5 MW.



Joonis 8.12. Kivitükikesed laguneva korstna jalamil, foto Ü.Kask

8.2.2. Aardla katlamaja Tartus

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 1994.

Katlamaja:

AS Eraküte Tartu Aardla katlamaja.

Seadmete tarnija:

KMW Energi AB, Rootsi.

Katelseade:

aastast 1988 fossiilkütusel töötanud DKVR tüüpi aurukatel varustati TRF tüüpi mehaanilise kaldrestiga jahutuseta eelkoldega firmalt KMW Energi, arvestuslik võimsus pärast ümberehitust 6 MW.

Kütus:

hakkpuuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor ja saepuru niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

kaheosaline ja kahelööviline kinnine ladu, mille löövid on varustatud liikuvate rooplattidega, kütuse etteandmine greiferiga ja traktoriga.

Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöörid, kütus antakse eelkoldesse jaotuskruviga katlaesisest punkrist.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

akustilised tahmapuhurid, kuiv tuhaärastus kruvitransportööridega, multitsüklon väljas, vana kivikorsten.

Biokütusele ülemineku projekti Tartus Aardla katlamajas rahastati Rootsi riigi poolt antud laenuga NUTEK'i Keskkonnasõbraliku soojusmajanduse programmi raames Balti riikides ja Ida-Euroopas. Nimetatud programmi raames finantseeris Rootsi riik eraldi projekti konsultantide tegevust. Kõiki NUTEK'i programmi projekte aitasid läbi viia Rootsi konsultatsioonifirma ÅF Energikonsult Syd konsultandid, keda abistas Eestipoolne konsultant.

Katelseade

Tartus Aardla katlamajas ehitati biokütuste põletamiseks olemasoleva masuudikatla ette eelkolle. Umbes 11 aastase eksploatatsiooniperioodi jooksul on täheldatud järgmisi probleeme: eelkolde müüritise vähene vastupidavus, tuha sulamine ja eelkolde resti šlakkumine, küttepindade, sh ökonomaiser ja õhuelsoojendi saastumine, raskused küttepindade puhastamisega ning õhu ja kütuse vahekorra reguleerimisega, küttepindade metalli erosioon ja korrosioon jms.

Eelkolde peamine probleem on restide vähene vastupidavus. Algselt paigaldatud originaalrestid pidasid vastu 4 aastat ja selle aja jooksul vahetati vaid 4 restilüli. Viis aastat peale eelkolde käikuandmist (1999), vahetati praktiliselt kogu rest komplekselt. Tänapäeval kasutatakse Tartu Valumehhaanika Tehases valatud restilülsid (Joonis 8.13), sest originaalrestilülide hind ületab Tartu tehase toodangu hinda ligi 6 korda. Seega originaalsete restilülide kasutamisel oleks tulnud arvestada keskmiselt 50 000 kroonilise iga-aastase lisakulutusega. Tartu tehase malmist restilülid ei sisalda kroomi, nende kvaliteet on kahjuks äärmiselt ebaühtlane ja restilülid tuleb igal suvel asendada (vt Joonis 8.14 ja Joonis 8.15).



Joonis 8.13. Tartu tehase uued restilülid, foto Ü.Kask



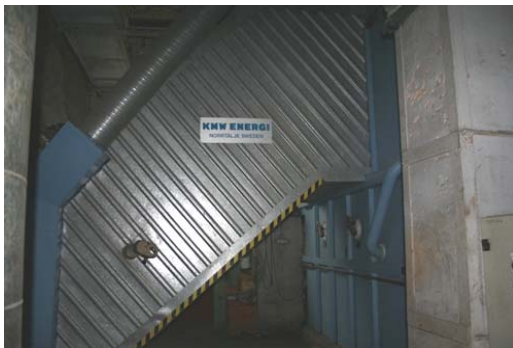
Joonis 8.14. Aasta aega katlas töötanud restilüli, foto Ü.Kask



Joonis 8.15. Põlenud esiotsaga restilüli, foto Ü.Kask

Eelkolde müüritist parandatakse väikeses mahus igal aastal. Oluline juhtum toimus jaanuaris 1995, kui 3,5 kuud peale käivitamist, varises kokku eelkollet katlaga ühendava tulekäigu lagi (vt Joonis 8.16).

KMW Energi AB arvutused näitasid, et pärast katla ümberehitust peaks olema kompleksi väljundvõimsus 6 MW. Selle võimsuse saavutamiseks tõsteti eelkolde temperatuur 1200 °C-ni, millele ei pidanud aga vastu müüritise materjal. Lisaks hakkas lendtuhk gaasikäigus sulama ja küttepinna šlakkumist põhjustama (sama probleem on esinenud ka Kuressaares, vt punkt 8.2.6).



Joonis 8.16. Eelkollet katlaga ühendav käik, foto Ü.Kask

Vältimaks edaspidi selliseid avariisid, muutsid katlamaja spetsialistid põletustehnoloogiat. Lisati tertsiaarõhu kanalid ja nende kaudu juhiti õhk sekundaarõhu ventilaatorist tulekäiku vahetult enne katelt (vt Joonis 8.17).

Renoveerimise tulemusena tekkis pidev leek katla koldes ja katla võimsus tõusis 7 MW-ni ilma et temperatuuri eelkoldes oleks pidanud kõrgena hoidma. Kuna nüüd eelkoldes põlemisprotsess ei lõpe, vaid osa tekkivast gaasist (lendosad) põleb lõpuni katla (DKVR) koldes, siis peab paremini vastu ka eelkolde müüritis ja rest (temperatuur resti piirkonnas on madalam). Samuti välditakse tulekäigu šlakkumist, sest eelkolde temperatuur ei tõuse üle 1000 °C.

2004. aastal lisati veel tertsiaarõhu ventilaator ja CO andur. Nende täienduste vajaduse tingis kütuse kvaliteedi, eriti niiskuse, kiire vaheldumine. Kuiva kütuse korral tuli vähendada sekundaarõhu pealeandmist ja suurendada tertsiaarõhu osakaalu, kuid mõlemat õhku andis sama ventilaator. Nüüd on lihtsam optimaalset põlemisrežiimi välja reguleerida ja maksimaalset kasutegurit saavutada. Varem kuiva kütuse puhul ei põlenud kütus restil lõpuni ja tekkis kadu nii mehaaniliselt kui keemiliselt mittetäielikust põlemisest. 2005. aastal automatiseeritakse põlemisprotsessi reguleerimine, kasutades CO andurilt saadud signaali (seni toimus reguleerimine käsitsi).



Joonis 8.17. Tertsiaarõhukanali lõpuosa, foto Ü.Kask

Ühel korral on toimunud katla avariiline seiskamine esiseina kõigil ekraantorudel tekkinud välise korrosiooni tõttu. Korrosioonilmingute vältimiseks hoitakse katlasse siseneva vee temperatuuri mitte alla 70 °C, varem 55 °C. Kontrollimisel, peale katla aastast käitamist, ei ole torude välist korrodeerumist enam täheldatud.

2004. aastal suurendati rekonstrueerimise käigus ökonomaiseri küttepinda ja selle tulemusena on kvaliteetse kütuse põletamisel saadud katelseadme võimsuseks kuni 9 MW.

Kütuse ladu ja edastusseadmed, probleemid kütusega

Kütuse hoidmiseks ehitati kaheosaline kinnine ladu, mille üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega, kuhu kütuse etteandmine toimub greiferiga (vt Joonis 8.18) ja traktoriga. Laost kütuse katlamajja edastamise transportööride ehitamist

segasid kaugküttetorustikud (vt Joonis 8.19), mille torustike isolatsioon uuendati pärast ümberehituste lõppu.



Joonis 8.18. Kütuse edastamine greiferiga Aardla katlamaja kütuselaos, foto Ü.Kask

Tehnoloogiliselt on kõige suuremaks probleemiks kütuste kõikuv kvaliteet ja seal sageli leiduvad võõrkehad (vt Joonis 8.20).



Joonis 8.19. Laost katlamaja suunduvate transportööride ehitamisele jäid ette torustikud, foto Ü.Kask



Joonis 8.20. Kütusest eemaldatud kivid, foto Ü.Kask

Järgnev näide iseloomustab neid seadistamisprobleeme, mida soojusettevõtte väga erinevate kütuste saamisel peab lahendama. Läbi aastate on ettevõtte saanud mitut liiki puitkütuseid, sh ka erineva tükisuurusega – hakkpuitu, saepuru, puukoort, vineerispoonid ja mitmesugusel kujul hõõvli- ja freesilaastu. Katlamaja sildkraanaga ja greiferiga automaatselt juhitava kaheosalise (kaks löövi, kumbki oma liikuva rooplattidest põhjaga) lao maht on $140+90 \text{ m}^3$. Kui ühel päeval tuuakse lattu 2 koormat hakkpuitu niiskusega 50 %, üks koorem spoonijäätmeid niiskusega 26 % ja üks koorem puukoort niiskusega 60 %, siis reguleeritakse katel tööle kütuse summaarsele niiskusesisaldusele 46,5 %. Järgmisel päeval tuuakse üks koorem hakkpuitu niiskusega 55 %, teine 35 % ja koore asemel 2 koormat spoonijäätmeid niiskusega 26 %. Nüüd peab operaator katla ümber seadistama summaarsele kütuse niiskusele 35,5 %.

Kirjeldatud ümberseadistamine tuleb läbi viia praktiliselt iga järgmise kütusekoorma saabumisel. Kütuse vastuvõtja, kes vastutab kütuste ettevalmistamise, st erinevate omadustega kütuste segamise eest, ei tea ette, mida ta järgmise koormaga saab. Nii tulebki välja, et katel saab töötada optimaalses režiimis ainult lühikest aega ja sellega langeb kogu soojuse tootmise kompleksi keskmine kasutegur.

Gaasipuhastus-, tuhaäärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Katla konvektiivsetelt küttepindadelt sades-tiste eemaldamiseks paigaldati 1998. aastal akustilised puhastusseadmed, mille tööga ollakse rahul. Ökonomaiseril on suruõhuga töötavad tahmapuhurid, mida varem kasutati ka katla konvektiivkäigus.

Maksimaalkoormusel töötamisel tuleb katel iga 4 kuu tagant seisata ning kollet ja konvektiivküttepindu mehaaniliselt puhastada, milleks kulub maksimaalselt 5 ööpäeva.

Algsed tuhaäärastuse kruvitransportööride korpused vahetati juba aasta pärast käivitamist (1995), tunduvalt suurendati nende diameetrit ja parandati disaini. Originaaltransportöörid osutusid Aardla katlamaja tingimustes ebasobivateks ja tekitasid probleeme. Peale uute korpuste paigaldamist on vaid ühel korral tulnud transportööride laagreid vahetada.

Suitsugaaside puhastamiseks paigaldatud multitsüklon töötab häireteta. Kivikorstnat on alates 1994. aastast kaks korda parandanud, kuid selle asendamiseks siiski vajadust ei ole.

8.2.3. Võrusoo katlamaja Võrus

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 1994.

Katlamaja:

AS Võru Soojus, Võrusoo katlamaja.

Seadmete tarnija:

Järforsen Energy Systems AB, Rootsi.

Katelseade:

aastast 1988 fossiilkütusel töötanud DE-25-14 tüüpi aurukatel varustati jahutusega liikuva restiga eelkoldega firmalt Järforsen. Katla ümberehitamise käigus paigaldati tippkoormuse katmiseks masuudipõleti. Arvestuslikuks võimsuseks pärast ümberehitust planeeriti hakkpuidul 7 MW ja masuudil 4,5 MW, kokku 11,5 MW.

Kütus:

hakkpuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor ja saepuru niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

katusealune kaheosaline ladu, otsast avatud, üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega. Kütuse etteanne traktoriga.

Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöörid, kütus antakse eelkoldeesse vahepunkrist hüdraulilise tõukuriga.

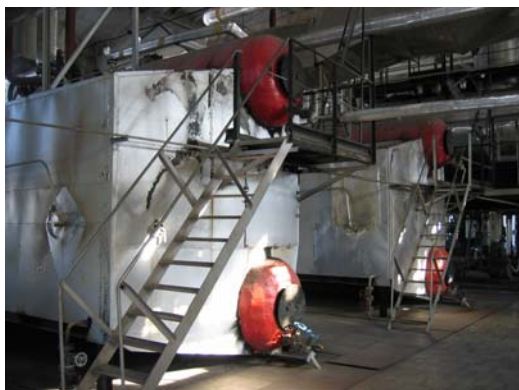
Puhastus-, tuhaäärastus- ja muud seadmed:

kuiv tuhaäärastus kruvitransportööridega, multitsüklon väljas, katlas auruga tahmapuhurid, vana kivikorsten.

Biokütusele ülemineku projekti Võrusoo katlamajas rahastati samuti Rootsi riigi poolt antud laenuga Rootsi Keskkonnasõbraliku soojusmajanduse programmi raames Balti riikides ja Ida-Euroopas.

Katelseade

DE tüüpi aurukatelde seeria on Venemaal välja töötatud moraalselt vananenud DKVR tüüpi katelde seeria asendamiseks. DE tüüpi katelde tootmine algas eelmise sajandi kaheksakümnendatel aastatel. DE-25-14 tüüpi aurukatla tootlikkus oli kuni 25 tonni auru tunnis ja auru rõhk 14 baari. Selle katlal korral puudub mahukas kolderuum resti paigutamiseks, sest katel on algselt ette nähtud ainult gaasi ja vedelkütuse põletamiseks (vt Joonis 8.21). DE tüüpi katla üleviimiseks biokütustele tuleb katla ette ehitada eraldiasetsev eelkolle (vt Joonis 8.22).



Joonis 8.21. DE tüüpi katlad Võrusoo katlamajas, vaade tagant, foto Ü.Kask



Joonis 8.22. Võrusoo katlamaja paigaldatud eelkolle, foto Ü.Kask

Esimene teadaolev katse DE tüüpi katelt biokütustele üle viia tehti Leedus Biržai's samuti Rootsi Keskkonnasõbraliku soojusmajanduse programmi raames, kus sama seeria veidi väiksem mudel (DE-16-14) varustati eelkoldega 1994. aasta alguses ja projekt osutus edukaks.

Biokütusele üleminekul on otstarbekas DE tüüpi kateldes küttepindade soojuskoormust alandada. Lisaks tuleb arvestada asjaoluga, et sadestiste eemaldamine on selle katla konvektiivküttepinandelt küllaltki tülikas.

Võrusoo katlamajas oli üles seatud kokku kolm ühesugust DE-25-14 tüüpi katelt,

kusjuures tarbijate soojuskoormus oli järsult langenud ja katlamaja koguvõimsus ületas vajaliku umbes kolmekordselt. Sellises olukorras oleks reservi jäävaid masuudikatlaid olnud väga tülikas tippkoormusekateldena kasutada. Tippkoormuse katmiseks oli seega kaks võimalust:

- paigaldada täiendavalt vedelkütusel töötav sobiva võimsusega (st väiksem) tippkoormusekatel või
- ehitada ümber biokütusele üleviidav katel nii, et selle küljele saaks monteerida masuudipõletit.

Rootsi konsultatsioonifirma ÅF Energikonsult Syd konsultandid soovitasid katsetada teist lahendust ja nii paigaldati katla küljele 4,5 MW vedelkütuse põletit, mis pidi käivitama tippkoormuste ajal ja töötama paralleelselt eelkoldega (vt Joonis 8.23). Kahjuks ei suutnud katlamaja personal elegantset ideed täiel määral rakendada.



Joonis 8.23. Koht katla küljel vedelkütusepõletit paigaldamiseks, foto Ü.Kask

Katsetuste käigus põletati lisapõletis küttemasuuti ja siis põletustehnilisi häireid ning küttepindade suurenenud saastumist ei täheldatud. Hilisemal ekspluatatsioonil selgus, et odavama ja küttemasuudist erinevate omadustega põlevkiviõli põletamisel moodustusid küttepinadel tugevad sadestised, mida kasutatavate

aurupuhuritega eemaldada polnud võimalik ja personal loobus lisapõleti kasutamisest.

Esimesel aastal pärast katla ümberehitamist oli personalil raskusi põlemisrežiimide seadistamisega ning primaar- ja sekundaarõhu õige vahekorra leidmisega, kuid seejärel omandati vajalikud oskused.

Valdavalt puukoore põletamisel on esinenud šlakkumisprobleeme nii eelkoldes kui katla küttepindadel. Eelkoldes on tekkinud suuri ja väga tugevaid šlakikamakaid, mida tuli eemaldada suruõhuvasaraga. Katla küttepinnad on koore põletamisel kattunud pudeda sadestisega, kuid mõnikord isegi klaasja šlakikihiga, mille täielik eemaldamine ilma toru metalli kahjustamata on väga raske. Šlakkumisest tingitud kolde müüritise kahjustusi on koore põletamise korral täheldatud ka teistes Eesti katlamajades.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetena kasutatakse kraaptransportööre. Kütuse vahepunkrist eelkoldesse söötmiseks kasutatakse hüdraulilist tõukurit. Nende seadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud ja jõudlus rahuldab katla vajadust. Väiksemaid probleeme on esinenud külmunud või mittestandardse tüksuurusega kütuse korral.



Joonis 8.24. Kütus liikuvate rooplattidega lao osas Võrusoo katlamajas, foto Ü.Kask

Kütuse ladu ja laoseadmed

Kütuse jaoks on ehitatud kaheosaline kinnine ladu, mille üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega (vt Joonis 8.24) ja kütuse etteandmine toimub traktoriga.

Esimestel aastatel pärast katlamaja renoveerimist kasutati kütuse tõukamiseks liikuva põhja piirkonda väikest traktorit, mille võimsus oli ebapiisav ning traktor vajas ülekoormuse tõttu sagedast remonti. Uue ja võimsama traktori hankimisega probleem lahenes.

Kütus

Ettevõtte kõige suuremaks probleemiks on viimastel aastatel kujunenud kütuse kvaliteet ja kättesaadavus. Kuna katlamaja territooriumil puudub avaladu ja kinnise lao maht võimaldab täisvõimsuse korral katelt kütusega varustada ainult kuni kolm ööpäeva, siis on esinenud juhtumeid, kus puitkütusel töötava katla koormust on kütuse puuduse tõttu tulnud vähendada.

Kütuse kvaliteeti Võrusoo katlamaja lähistel mõjutab ka asjaolu, et kütuse tarnijad kasutavad vaheladudena asfalteerimata laoplatse. Kütus saastub nii loodusliku (muld, liiv) kui tehispinnasega (kruus, killustik). Sageli esineb kütuses metallesemeid ja metallitükke, mis satuvad kütuse sööteseadmetesse ja mõnikord isegi tuhatransportööridesse (vt Joonis 8.25).



Joonis 8.25. Näiteid kütusest ja tuhasta kogutud metallist, foto Ü.Kask

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Biokütusekatla suitsugaasid juhitakse läbi multitsükloni olemasolevasse kivi-korstnasse (vt Joonis 8.26), kuhu juhitakse ka masuudikatelde suitsugaasid.



Joonis 8.26. Kivikorsten, suitsuimeja ja tuhakonteiner Võrusoo katlamajas, foto Ü.Kask

DE tüüpi katla trumlitevahelise konvektiiv-osa torude vahelt on tuha kättesaamine pikaldane ja tööjõumahukas protsess. Auruga töötavate tahmapuhurite tööle etteheiteid ei ole, kuid suur osa puhuritega küttepindadelt eemaldatud tuhist jääb gaasikäiku, kust seda siis aeg ajalt tuleb käsitsi välja tõsta.

8.2.4. Männimäe katlamaja Viljandis

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 1995.

Katlamaja:

AS ESRO Männimäe katlamaja.

Seadmete tarnija:

HOTAB, Rootsi.

Katelseade:

liigutatavate elementidega kaldrest on paigaldatud varem masuudil töötanud DKVR 10-13 tüüpi aurukatla koldesse, ümberehitatud katla arvestuslik võimsus 6 MW.

Kütus:

hakkpuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor või saepuru niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

Kütusealune kaheosaline ladu, otsast avatud, mille üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega, kütuse etteandmine traktoriga, kütuse niisutamise võimalus.

Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöörid, kütus antakse koldesse katlaesisest punkrist hüdraulilise tõukuriga.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

katla konvektiivosas akustilised tahmapuhurid, kuiv tuhaärastus, multitsüklon katlamajas, vana kivikorsten.

Biokütusele ülemineku projekt Viljandis Männimäe katlamajas on järjekordne projekt, mis rahastati Rootsi riigi poolt antud laenuga Rootsi Keskkonnasõbraliku soojusmajanduse programmi raames Balti riikides ja Ida-Euroopas. Kui enamik vaadeldud katlamaju kuulusid biokütuse kasutuselevõtu perioodil munitsipaal-omandisse¹⁵, siis AS ESRO on üks esimesi erastatud kaugkütteettevõtteid Eestis.

Katelseade

Nagu eespool selgitatud (vt näiteks Joonis 8.5), on DKVR tüüpi kateldel mahukas kolderuum ja see võimaldab resti paigaldamist koldesse (vt Joonis 8.27).

Biokütusele üleviimise järel jäi üleviidud katel algul töötama aurukatlanä, kuid 2002. aastal rekonstrueeriti veekatlaks, mis tõstis võimsust peaaegu 2 MW võrra. Kvaliteetse

¹⁵ Käesoleval ajal on kõik Eesti kaugkütteettevõtted samade seaduste järgi toimivad äriettevõtted, mille aktsiad võivad kuuluda kas kohalikule omavalitsusele, kohalikele või välismaistele investoritele

kütuse põletamisel on katel arendanud püsivat võimsust kuni 8 MW.



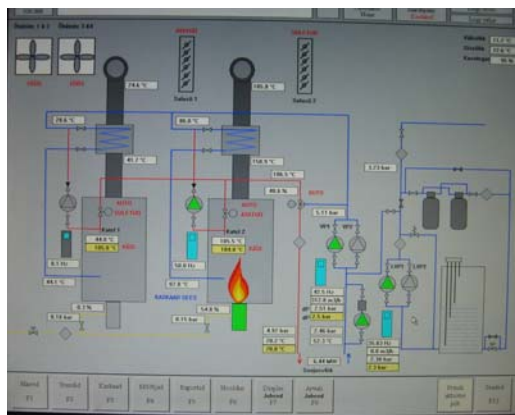
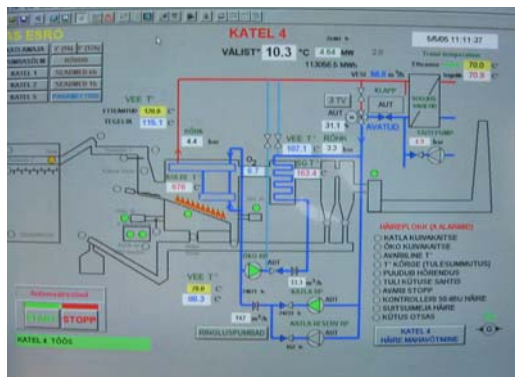
Joonis 8.27. Ümberehitatud DKVR tüüpi katla esiosa, foto Ü.Kask

Biokütusekatla ja kogu katlamaja tööd juhitakse arvuti kaudu (vt Joonis 8.28), kusjuures ekraanilt saab jälgida paljusid katlamaja ja katelde töö parameetreid ning kaugküttevõrku antava ja sealt tagastava vee parameetreid.

Nii nagu Aardla katlamajaski (vt punkt 8.2.2), on ka Männimäel kasutatud Tartu Valumehaanikatehases valmistatud restilülisid, mille esiosad samuti kiiresti läbi põlevad (vt Joonis 8.15).

Esiolgu tehnilisele lahendusele on tehtud hiljem mitmeid muudatusi, näiteks kütuse etteannet reguleeriv ja sulgev siiber kooldus ja seetõttu muudeti selle asukohta.

Kolde tööd on kogu aeg tugevasti mõjutanud kütuse kvaliteet. Niiske kütuse põlemistingimuste parandamiseks ehitati resti ülemise osa (kütuse kuivamistsooni) kohale kuumutuskaar. Kahjuks ei muutnud see kolde tööd oluliselt stabiilsemaks. Kolde temperatuur sageli langeb ja kütus ei põle restil ühtlaselt, ehk täpsemalt: kütus põleb ühes resti servas kiiremini kui teises ja osa resti võib paljaks jääda. See on ühtlasi peamiseks põhjuseks, miks restilülid kiiresti kahjustuvad. Koldeprotsesside seadistamise probleemidele viitab ka asjaolu, et vingugaasi sisaldust katla järel ei suudeta püsivalt hoida alla soovitud taseme (1000 ppm).



Joonis 8.28. Biokütusekatla ja kogu katlamaja tööd juhitakse arvuti abil, foto Ü.Kask

Resti seisukorda on kahjustanud ka tuha pehmenemine või sulamine restil, kuid siin on põhjuseks kas liiga kuiv või mineraalsete lisanditega saastunud kütus. Katlamaja kasutab kütusena muuhulgas ka lähedalasuva puidutööstuse kuivi jäätmeid, mida tuleks segada niiske kütusega või spetsiaalselt niisutada. Kahjuks ei saavutata ei kuiva kütuse niisutamisega ega kütuste segamisega piisavalt ühtlase niiskusega kütust ning aeg ajalt häired korduvad. Kütteperioodi lõpus, st kevadel, on restilülid juba tugevalt kahjustunud ja siis võivad põlemishäirete tõttu hõõguvad lõpuni põlemata osakesed jõuda isegi läbi tsükloni nii, et täheledatakse tsüklonialuse tuha hõõgumist.

Iga 2 – 3 kuu tagant tuleb katel tuhist ja sadestistest puhastamiseks seistada. Katla küttepindade torusid ei ole olnud

tarvis vahetada kogu puitkütuste kasutamise perioodil (~10 aastat), kuid kolde kaarvõlv on tulnud uuesti laduda. Uus võlv ehitati eelmisest väiksema raadiusega. Kolde müüritis on ühel korral resti pinnast kõrgemal paiknevast kohast sisse varisenud (pidas vastu 6 aastat) ja vahetult restide kõrval on müüritis kulunud.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud, nende jõudlus rahuldab katla vajadust ning need on hästi vastu pidanud. Kütusetranspordööri ketid pidasid vastu ligi 9 aastat ning vahetati seejärel uutega mitte vigastuste, vaid väljavenimise tõttu.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Kütuse mõnepäevast varu hoitakse kaheosalises ühest otsast avatud kinnises laos, mille üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega ja kus kütuse etteandmine toimub traktoriga (vt Joonis 8.29). Kuna katlamaja ligidal asub puituste ja -akende tehas, siis sealt hangitava kuiva kütuse (alla 20 % niiskusega) kasutamiseks niiske kütuse põletamiseks ettenähtud koldes, on laos loodud kütuse niisutamise võimalus.



*Joonis 8.29. Kütuse teisaldamine
Männimäe katlamaja
kütuselaos, foto Ü.Kask*

Lao põhjas olevate rooplattide tõukurite hüdrosilindrid pidasid vastu umbes 6 – 7 aastat. Nüüd on kõikide hüdrosilindrite

keevisõmbulusi juba 2 – 3 korda parandatud. Ühel korral on murdunud ka betooni valatud tugi (vt Joonis 8.30).



*Joonis 8.30. Keevitatud hüdrosilindri ots,
foto Ü.Kask*

Laos kütusekihti liigutavate rooplattide kinnitused purunesid ekspluatatsiooni algaastatel mitmest kohast, lisaks kulusid rooplattide esiservad ümaraks ega võimaldanud suvel saepuru ja puukoort edasi liigutada. Seetõttu tuli kinnitusi tugevdada ja rooplattide esiservadele metallikiht peale keevitada. Kui kütuses on olnud spoonijäätmeid ja pikki koorelinte, siis selline kütus ei varise ühtlaselt laost väljuvale kraaptranspordööri.

Kütus

Ettevõtte üheks suuremaks probleemiks on viimastel aastatel kujunenud kütuse kvaliteet ja kättesaadavus. Katlamaja territooriumil puudub avaladu ja kinnise lao maht võimaldab täisvõimsuse korral katelt kütusega varustada kuni kolm ööpäeva.

Saabuva kütuse niiskus kõigub vahemikus 10 – 65 %. Probleemid ilmnevad kui põletatava kütusemassi niiskus ületab 50 %.

Suvel, kui tarbijate koormus on vaid 1,5 – 2,5 MW, põletatakse sageli ainult saepuru ja puukoort. Talvel sellise kütuse kasutamisega nominaalvõimsust ei saavutata ja multitsükklonisse jõuavad hõõguvad lõpuni põlemata osakesed.

Sama probleem esineb ka näiteks Haapsalu ja Keila katlamajades (vt vastavalt punkt 8.2.7 ja 8.2.8).

2004. aastal toodi Männimäe katlamaja palju 45 – 48 % niiskusega haavapuust valmistatud kütust ja selle põletamisel ei olnud võimalik koldes põlemisprotsessi reguleerida ning restil olev kütus kippus kohati kustuma. Selle kogemuse põhjal peaks haavast valmistatud kütus olema kuivem kui teistest puuliikidest kütus, samas võib häid tulemusi anda ka haava segamine teistest puuliikidest valmistatud kütusega.

Gaasipuhastus-, tuhaäärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Katla küttepindade puhastamiseks kasutatakse kahte akustilist puhastusseadet. Nende poolt tekitatav müra ei ole katlamaja personali häirinud. Kuiva kütuse kasutamise korral toimivad akustilised puhastusseadmed rahuldavalt, kuid pidevalt niiske kütuse põletamise ajal akustilistest tahmapuhuritest küttepindade puhastamisel abi ei ole ja katla konvektiivküttepinnad saastuvad kiiresti. 2004. aastal leiti esimest korda ka ökonomaiserist kõvastunud tuhaklompe, mis tuli välja raiuda. Ökonomaiserisse akustilisi puhastusseadmeid ega muud tüüpi tahmapuhureid paigaldatud ei ole.

Kivikorsten remonditakse ning selle metallkonstruktsioonid vahetatakse 2005. aastal.

8.2.5. Vabriku katlamaja Türil

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 1998.

Katlamaja:

OÜ Terme Vabriku katlamaja Türil.

Seadmete tarnija:

AS Tamult, Eesti; Saxlund, Rootsi.

Katelseade:

liigutatavate elementidega kaldrest paigaldati 1981. aastast masuudil töötanud veekatlaks ümber ehitatud DKVR 10-13 tüüpi katla koldesse, ümberehitatud katla arvestuslik võimsus 4 MW.

Kütus:

hakkpuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor, saepuru, tükkturvas niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

Katusealune kaheosaline ladu, otsast avatud, mille üks osa on varustatud liikuvate rooplattidega, kütuse etteandmine traktoriga.

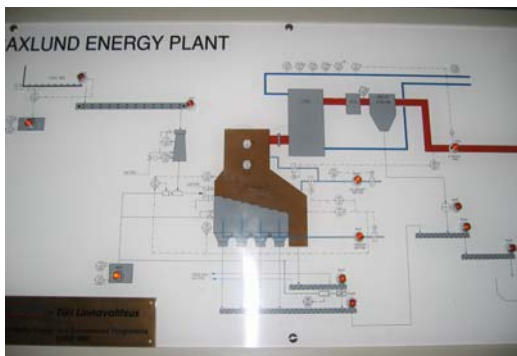
Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöörid, kütus antakse koldesse katlaesisest punkrist hüdraulilise tõukuriga.

Puhastus-, tuhaäärastus- ja muud seadmed:

kuiv tuhaäärastus kruvitransportööridega, multitsüklon katlamajas, vana kivikorsten.

Biokütusele ülemineku projekt Vabriku katlamajas Türil on järjekordne projekt, mis rahastati Rootsi riigi poolt antud laenuga Rootsi Keskkonnasõbraliku soojusmajanduse programmi raames Balti riikides ja Ida-Euroopas. Katlamaja omanikul (Türi linnavalitsus, haldaja OÜ Terme) oli see juba teine biokütuseprojekt. Sama ettevõtte poolt käitavas Tehnika katlamajas (vt punkt 8.2.1) osutus biokütuse kasutamine majanduslikult otstarbekaks ja saadud kogemuste põhjal peeti võimalikuks teha seda ka Vabriku katlamajas (vt Joonis 8.31).



Joonis 8.31. Plakat Vabriku katlamaja tehnoloogilise skeemiga Türi linnavalitsuses, foto Ü.Kask

Katelseade

Vabriku katlamajas loobuti uue kompleksse seadme paigaldamisest ja otsustati olemasolev heas tehnilises seisukorras DKVR tüüpi katel ümber ehitada (vt ka punkt 8.2.4 ja Joonis 8.5).

Ümberehitamisel kasutati Rootsi firma Saxlund'i resti, mis on mitmes Eesti katlamajas end hästi õigustanud, sh ka seadmete tarnija ja projekti peaettevõtja AS Tamult katlamajas Eestis.

OÜ Termel on hea võimalus võrrelda kahe erineva tehnilise lahendusega biokütusekatla tööd oma kahes katlamajas. Vabriku katlamajas DKVR-tüüpi katla koldes saavutatakse kõrgem temperatuuri tase kui Vølund'i katla koldes (vt punkt 8.2.1). See asjaolu võimaldab ümberehitatud katlas põletada jäätmekütust ja kände, kuid sellega kaasneb resti tugevam šlakkumine.

Tugevad tuhasadestised tekivad DKVR tüüpi katla torudele konvektiivse gaasikäigu alguses. Sama probleemi täheldati ka varem ümberehitatud DKVR katlas Männimäe katlamajas Viljandis (vt 8.2.4).

Katla ümberehitamise järel ei õnnestunud kohe saavutada projekteeritud võimsust, vaid ainult ligikaudu pool sellest. Alles siis, kui väga käänulised ja suure takistusega õhukanalid uutega asendati, õnnestus jõuda nominaalse võimsuseni 4 MW.

Ühel korral on Vabriku katlamajas elektrikatkestuse ajal katel seiskumise tõttu üle kuumenenud, sellepärast kannatasid

temperatuuriandurid ja need tuli välja vahetada. Siiski ei kuumene katel äkkseiskumise korral sel määral, et vesi kolde ja müüritise jääsoojusest keema läheks ja katla rõhu ohtlikult kõrgele tõstaks.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud, nende jõudlus rahuldab katla vajadust ning need on hästi vastu pidanud.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Otsast avatud ja liikuvate rooplattidega varustatud laos ega ka kütuse etteandmisel kraaptransportöörile erilisi häireid ei ole olnud. Laoseadmed jõuavad katelt hästi varustada kõigi koormuste juures. Kütuse tõukamiseks liikuva põhja piirkonda kasutatakse selleks kohandatud traktorit (vt Joonis 8.32).



Joonis 8.32. Kütuse tõukamiseks kohandatud traktor, foto Ü.Kask)

Kütus

Nii nagu Tehnika katlamajas nii ka Vabriku katlamajas on OÜ Termel probleeme kütuse tarnekindlusega ja kvaliteediga, kuid Vabriku katlamaja seadmestik ei ole kütuse kvaliteedi suhtes nii tundlik. Katsed põletada turvast ei olnud piisavalt edukad, seega tuleb turba pikaajaline kasutamine reservkütusena välistada.

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Restilt langeva tuha eemaldamiseks paigaldatud kruvitransportöör oli valmistatud liiga õhukesest metall-lehest ja see tuli paariaastase töötamise järel välja vahetada. Enne vahetamist tehti katla taha kruvitransportööri purunemise ärahoidmiseks spetsiaalsed avad šlakitükkide ja mehaaniliste lisandite eemaldamiseks, kuid see ei osutunud piisavaks ning uus transportöör valmistati paksemast ja tugevamast metall-lehest Võrdluseks võib tuua OÜ Terme Tehnika katlamaja samades tingimustes töötava kruvitransportööri, mis on juba 14 aastat vastu pidanud.

Küttepindade puhastamiseks projekteeritud gaasi-impulss puhastusseade jäi välja ehitamata ja puhastamise toimub seni mehaaniliselt.

Algselt oli ette nähtud koldesse tertsiaarõhu andmine, kuid sellest tuli loobuda, sest tertsiaarõhk ei parandanud põlemisrežiimi ja tõstis hoopis hapnikusisaldust ökonomaisemis.

Suitsugaaside temperatuur katlast väljumisel on kogu aasta jooksul tasemel (~170 °C), mis väldib veeauru kondenseerumise ja korstna märgumise.

8.2.6. Kalevi katlamaja Kuressaares

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg:

- I etapp 1998;
- II etapp 2002.

Katlamaja:

AS Kuressaare Soojus Kalevi katlamaja.

Seadmete tarnija:

- I etapp - Saxlund, Rootsi;
- II etapp – AS Tamult.

Katelseade:

I etapp – paigaldati Taani päritolu 5 MW katel Danstoker ja mehaanilise kaldrestiga eelkolle, mõni aasta hiljem paigaldati ka suitsugaasidest veeauru kondenseerimise seade;

II etapp - liigutatavate elementidega kaldrest paigaldati 1983. aastast masuudil töötanud ja veekatlaks ümber ehitatud DKVR 10-13 tüüpi katla koldesse, ümberehitatud katla arvestuslik võimsus 6 MW.

Kütus:

hakkpuuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor, saepuru, tükkturvas niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

ühelt otsast avatud katusealune ladu, mille ühes osas hüdrauliliste tõukurite roopladid, kütuse etteanne mehitatud greiferkraanaga ja traktoriga. Lisaks kasutatakse suurt biokütuse avaladu.

Kütuse edastusseadmed:

laost katlamaja kahele katlale ühised kraaptransportöörid, kütus antakse koldesse katlaesisest vahepunkrist hüdraulilise tõukuriga.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

I etapp – akustiline tahmapuhur, märgtuhaärastus kraaptransportööriga, multitsüklon katlamajas, mõlemale katlale ühine vana kivikorsten, suitsugaasidest veeauru kondenseerimise seade (annab 5 % lisavõimsust);
II etapp – kuiv tuhaärastus kruvi- ja kraaptransportööriga, 2005.a valmib uus mõlemale katlale ühine suitsugaaside kondensaator ja paigaldatakse ühe kivikorstna asemele sama kõrge metallkorsten.

Ühes ja samas katlamajas on viieaastase vahega käiku lastud 2 biokütusel töötavat katelseadet. Esimesel etapil (1998) rahastati projekti Rootsi riigi poolt antud laenuga Rootsi Keskkonnasõbraliku

soojusmajanduse programmi raames Balti riikides ja Ida-Euroopas.

Kuna esimene biokütuse kasutusevõtu etapp osutus edukaks ja osa baaskoormust tuli jätkuvalt katta majanduslikult ebasoodsama kütuse (raske kütteõli) baasil, otsustati ümber ehitada veel teinegi katel ja finantseerida seda kommerts-laenu abil.

Esimesel etapil rajatud kütuse laod osutusid piisavaks ja edastusseadmed niivõrd tootlikuks, et need võimaldasid ka teist biokütusekatelt teenindada. Kuna esimese katla töö põhjal oli kavatsus otsustada teise biokütusekatla rajamise otstarbekuse üle, siis registreeris ettevõtte tehnikajuht esimese katla käivitamisjärgse aasta jooksul hoolikalt kõik ilmnenud puudused ja häired. Nendest esitatakse järgnevalt kokkuvõtlik ülevaade.

Mais 1998 seisatati katelseade kütuse puudusel, kusjuures seisak kasutati ära keevitustöödeks ja seadmete ülevaatuses. Avastati mõned praod kolde müüritises, lekked märgtuhaärastuse süsteemi segisti laagrite kaudu ja kolderesti lõpuosas oleva tuhakanali metalltala läbipaindumine.

Septembris 1998 kütusetõukuri poldid lõdvenesid iseeneslikult, vee kõrvaldamisel lisati vedruseibid. Kütuse transportööride puhastamisel ilmnedid probleemid, mis on siiani lahendamata. Puhastamisel oli tarvis transportööri tagurpidi liigutada, kuid seda sai teha ainult ajami mootori jahutustiivikut pöörates.

Oktoobris 1998 leiti koldes rohkelt sulanud tuhka ja müüritise vigastusi.

Novembris 1998 vajas parandamist märgtuhaärastuse süsteemi ujuk. Vahetati välja mittetöötavad primaarõhu reguleerimise siibrid teisetüübiliste vastu.

1998 detsembris kontrollimise ajal ei töötanud katla kaitseklapid.

Jaauanuaris 1999 märgati kolderesti kerkimist, mille vältimiseks paigaldati juhtlatid. Kütusejaotur (pöörlev kidadega silinder, mille abil ühtlustatakse laos

kütusekihi etteannet kütuse transportöörile) oli teljesuunaliselt nihkunud, sest puudus fiksaator.

Veebruaris 1999 kütuselaos liikuvate rooplattide (nn redelite) metallist põikplaadid olid juhtlati küljest keevisõmbluste kohast lahti murdunud.

Probleemid kütuselaoga kordusid **1999. aasta märtsis**: kütuselaos liikuva põhja hüdrosilindri kinnitus purunes keevisliite kohast. Umbes samal ajal purunesid ka tuhaärastussüsteemi segisti laagrid, mis oli tingitud sellest, et tuhateo (kruvi-transportööri) kaitseülili ei toiminud. Kuna algselt puudusid platvormid gammaseensori ja alarõhusensori teenindamiseks, ehitati platvormid soojusettevõtte algatusel omavahenditega.

Katelseade

Kõigi eelmiste projektidega võrreldes tehti Kuressaare Kalevi katlamaja ümberehituse esimesel etapil üks oluline tehniline täiustus – paigaldati suitsugaasidest veeauru kondenseerimise seade (nn suitsugaaside „kondensaator”), mis tõstis katla väljundvõimsust umbes 5 % võrra.

Esimesel etapil ehitatud eelkoldes ja katlas puudub automaatne põlemisrežiimide reguleerimise võimalus, mis oleks lihtsustanud muutuva kvaliteediga (liik, niiskus, tükisuurus) biokütuste põletamist. Eialgu puudus ka suitsugaaside retsirkulatsiooni-süsteem (ringlussüsteem), mis aasta hiljem rajati oma jõududega. Nagu eelpool (vt punkt 4.1.2) selgitatud, saab suitsugaaside retsirkulatsiooni abil reguleerida kütusekihi ja koldest väljuvate suitsugaaside temperatuuri, seega ka vältida müüritise ülekuumenemist. Silindrilises horisontaalses koldeosas (nn järelkoldes) on müüritis ühel korral pikaajaliselt püsinud kõrge temperatuuri tõttu sisse vajunud. Kahjuks polnud võimalik selle piirkonna temperatuuri korrektselt jälgida, sest temperatuurandur oli valesti paigaldatud (projekti viga).

2004. aastal pärast kuueaastast eksploatatsiooni selgus, et Danstoker katla torude seinapaksus vee sisenemiskoha ümbruses oli kohati alla 1 mm, torud

muutusid laperguseks ja tekkisid vee lekked. Ilmselt ei olnud kaugküttevõrgust tagastuva vee segamine katlaveega välja reguleeritud ja katlasse siseneva vee temperatuur jäi madalaks, mis põhjustas toru metalli suitsugaasidepoolset nn madalatemperatuurilist e kastepunkti tekkimisest tingitud happekorrosiooni. Torude sage puhastamine harjadega lõhub iga kord ka suitsugaaside poolel tekkivat oksiidi kihti ja lühendab seega torude eluiga. Torude kulumise üheks põhjuseks võis olla ka tuhas olevate mineraalsete osakeste tekitatud erosioon.

Teisel etapil ehitati DKVR tüüpi katla ümberehituse käigus poole resti ulatuses šamott-tellistest kuumutuskäär. Vaatamata sellele ei õnnestu ümberehitatud DKVR katlas nii märga kütust põletada kui Danstoker katla jahutuseta eelkoldes. Aeg-ajalt on DKVR tüüpi katla mõningaid veetorusid vahetatud ja seda tuleb teha ka tulevikus (2005. aasta lõpus vahetatigi hulk torusid).

Nii Danstoker katla eelkolde kui DKVR katla restide mõningaid elemente on tulnud vahetada, lisaks on mõlema katla restielementide asukohti omavahel muudetud, resti mõningaid elemente on metalli pealekeevitamisega ka remonditud.

Kütuse edastusseadmed

Esimesel etapil pärast Danstoker katla käivitamist likvideeriti kohe esimese tööaasta jooksul kütuse edastamis-seadmete töös ilmnenud puudused, näiteks asendati katla ees olevad kütuse söötekruvid hüdraulilise tõukuriga. Siiani on kõrvaldamata kraaptransportööri puhastamise ja ummistuste likvideerimise ebamugavused, mis esmakordselt ilmnesisid juba 1998. aasta septembris.

Kui 2002. aastal viidi samas katlamajas ka kõrvalasuv DKVR-tüüpi katel üle biokütusele, siis lisati olemasolevale kütuse etteandesüsteemile täiendav horisontaalne kraaptransportöör, mis viib kütuse selle katla ees olevasse punkrisse. Muudeti ka vahejaotuspunkrit. Hiljem viidi selles katlas läbi pilliroo katsepõletamine ja siis selgus, et pikakõrreline roog ei varise vahepunktis

hästi transportöörile, sama probleem oli ka hakkpuidu ja pilliroo seguga. Pilliroog vajaks peenendamist kuni 7 – 10 cm pikkusteks tükkideks, mis tõenäoliselt tagaks nii pilliroo kui segukütuse varisemise.

Kütuse ladu, laoseadmed

Pärast esimese tööaasta jooksul ilmnenud vigade ja puuduste kõrvaldamist pole laoseadmete ekspluateerimisel tõsisaid häireid esinenud. Seitsmeaastase ekspluatatsiooni järel on kulunud kütuse laos rooplattide all olev betoonpõrand. Hüdrauliliselt liigutatavatele rooplattidele on juurde keevitatud täiendavaid põiklatte ja aeg ajalt on üle keevitatud olemasolevaid rooplattide kinnitusi. Väga palju probleeme on olnud greiferi (vt Joonis 8.33) hoolduse ja remondiga. Greifer telliti ühelt Eesti ettevõttelt ja selle esimene versioon pidas vastu tänu pidevale hooldamisele ja remontimisele 5 aastat. Kuigi ladu ja laoseadmed olid algselt projekteeritud 5 MW katla teenindamiseks, suutsid nad hiljem kütusega varustada ka kahte kokku 10 – 11 MW võimsusega katelt.



Joonis 8.33. Greiferiga ja mehitatud sildkraana, foto Ü.Kask

Kütus

Kvaliteet. Katlamaja avalaos on mõnel talvel kütuse lumesisaldus suur. Sageli satub lumi kütusesse ka transpordi käigus või vaheladudest laadimise ajal. Sageli

ulatub kütuse niiskus isegi üle 55 %. Seda juhtub sademeterohkel ja lume sulamise perioodil, kuid mõnikord on suur niiskus tingitud kütuse koostisest (palju peente okste haket ja/või palju okkaid, koort). Kui kütuses on palju kuusekoort, on häiritud kütuse etteanne laost kraaptransportöörile ja edasi katlasse, sest pikad koorelindid keerduvad ümber kütusejaoturi ja viimane ei täida oma ülesannet (laos ei jaotu kütusekiht kraaptransportöörile ühtlaselt). Kõik kütuseliigid peaksid olema peenendatud projektis ettenähtud tükisuuruseni.

Teiseks kütuse kvaliteedi probleemiks on kütuse saastumine pori ja liivaga, sageli leidub kütuses ka suuri mehaanilisi lisandeid (metall ja kivid).

Kütuse avalaos on esinenud märja koorerikka puitkütuse isesüttimist. Nagu näitas mõne aasta tagune kogemus, võib kõrgetes (5 – 6 m) aunades kütuse kütteväärtus kolme-nelja kuu jooksul väheneda üle 50 %. Ettevõtte varus ühel suvel rohkelt puukoort ja ladustas selle avalattu. Kütteperioodil selgus, et sealt võetud kütuse erikulu kasvas peaaegu 50 %. Biokütuseid (eriti üle 50 % niiskusega) ei tohiks ladustada kõrgetesse aunadesse ja aunasid tuleks aegajalt segada, et kütuse niiskus kogu auna ulatuses ühtlustuks.

Kütuse kättesaadavus. Sooja talvega (maa ei külmu) ei pääse metsatehnikaga raielankidele ja ettevõtte liikuvat puiduhakkurit ei saa metsas kasutada ning ainsaks võimaluseks jääb hakkida ümarpuitu laoplatsidel. Ilma oma puiduhakkurita oleks ettevõttel aga kütuse hankimine veelgi enam häiritud, sest Kuressaare paikneb saarel ja osa kütust veetakse veoautodega mandrilt. On juhtumeid, kus kütust pole mandrilt saabunud mitme päeva jooksul. Soojal talve korral võib puitkütus olla külmumata pinnase tõttu raskesti kättesaadav kogu riigi ulatuses või isegi kõigis Balti riikides üheaegselt.

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Vaatamata akustilise tahmapuhuri kasutamisele tuleb Danstoker veekatla suitsutorude ühte osa iga kahe kuu tagant täiendavalt ka käsitsi harjadega puhastada. DKVR konvektiivse küttepinna torusid puhastatakse gaasidepoolsetest sadestistest ainult kaks korda aastas. Puhastamine on aegavõttev ja töömahukas, sest lendtuhk ja tahm on sadenenud tihedate torukimpude vahele. Küttepinna šlakkumist ei ole täheldatud.

Olemasolevaid kivikorstnaid on pika aja jooksul kasutatud väävlirikaste kütuse (masuut, põlevkiviõli) suitsugaaside atmosfääri juhtimiseks. Seni kasutati neist ühte nii biokütusekatelde kui varem vedelkütusel töötavate katelde suitsugaaside atmosfääri juhtimiseks ja tulemuseks oli korstna lagunemine. 2005. aasta lõpus asendati see uue metallkorstnaga. Niiskete biokütuste põletamise korral tekib korstnas kastepunkt, suitsugaasides olev veeaur kondenseerub ja reageerib seal varem ladestunud väävliühenditega. Tekkiv väävelhape lagundab korstnat (lagunemise jäljed võivad näha olla nii korstna sise- kui välispinnal).

Korstnate lagunemisele aitavad kaasa ka kliimaatilised põhjused. Näiteks korstna sisepinnal kondenseerunud vesi tungib kividesse ja/või kivide vahele ja külmub seal kareda pakasega (lagunemise jäljed on näha korstna välispinnal).

Teisel etapil ehitatud DKVR tüüpi katla tuhaärastuseks paigaldatud kruvitransportöör tuli pärast aastast ekspluatatsiooni kulumise tõttu välja vahetada, sest tuhk sisaldas liiga palju abrasiivseid mineraalseid lisandeid. Kruvitransportöör otsustati asendada kraaptransportööriga ja see on kauem vastu pidanud. Kuiv tuhk suunatakse tolumise vältimiseks tuharuumis asuvasse veega täidetud vanni.

8.2.7. Haapsalu katlamaja

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 2001.

Katlamaja:

AS Eraküte Haapsalu katlamaja.

Seadmete tarnija:

Saxlund, Rootsi ja AS Tamult, Eesti.

Katelseade:

jahutuseta mehaanilise kaldrestiga eelkolle ja 7 MW Danstoker katel.

Kütus:

hakkpuuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor, saepuru niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

kaheosaline kinnine ladu, mille üks osa on varustatud hüdrauliliste rooplattidega, kütuse etteanne traktoriga, laos on võimalik kütust niisutada.

Kütuse edastusseadmed:

kraap- ja kummilint- ja kruvitranspordöörid.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

kuiv tuhaärastus kraap- ja kruvitranspordööridega, multitsüklon katlamajas, vana kivikorsten.

AS Eraküte kujutab endast Prantsuse kapitamil baseeruva DALKIA kontserni tütarfirmat, mis on omandanud Eestis rea kaugkütteettevõtteid. Biokütuse kasutuselevõtu projekti Haapsalu katlamajas (vt Joonis 8.34) finantseeriti emafirma poolt garanteeritud kommerts-laenu abil.

Katelseade

Katelseade on töötanud tõrgeteta ja saavutab ettenähtud kvaliteediga kütuse kasutamise korral hõlpsalt nominaalvõimsuse. Katelt saab ka umbes 10 % ulatuses üle koormata. Võimsuse valik on hästi õnnestunud ja vastab kaugküttevõrgu soojusvajadusele.



Joonis 8.34. Vaade Haapsalu katlamajale pärast ümberehitust, foto Ü.Kask

Väga kuivade vineeri ja mööblitööstuse jäätmete (niiskus umbes 10 – 15 %) põletamisel tekkisid katlas probleemid tuha sulamise ja paakumisega. Kuna katel on projekteeritud märksa niiskema kütuse (30 – 55 %) põletamiseks, on laost kraaprestile antava kütuse niisutamiseks paigaldatud augustatud veetoru ja kütuse niisutamisest tingitud kütteväärtuse languse kulud korvab lepingu kohaselt kütuse tarnija. Suvel, kui katla keskmine koormus ei ületa 2 MW, saab kasutada ka kuiva niisutamata kütust (hõõvlilaast). Liiga märja (üle 55 % niiskusega) puukoore põletamisel ei ole katla nominaalkoormust võimalik saavutada.

Haapsalus on katla poolelt koormuselt (3 MW) võimalik saavutada nominaalvõimsus vähem kui 2 tunniga, sama tehnilise lahendusega Keila katlamaja biokütusekatlas (vt punkt 8.2.8) seevastu 4 tunniga. Katla koormuse kiiremat tõstmist Haapsalu katlamajas võimaldab koldesse ehitatud kuumutuskaar (kaarvõlv), mis Keila katlas puudub (mõlemas katlamajas on üles seatud sama firma samatüübilised katelseadmed).

Haapsalu katla restil on kolm liikuvat astet, Keilas ainult kaks. Ka see erinevus võib soodustada Haapsalu katla koormuse hõlpsamat reguleerimist ja niiskema kütuse põletamist.

Nii nagu Kuressaares (vt punkt 8.2.6) nii ka Haapsalus oli Danstoker tüüpi katlasse koldeprotsessi juhtimiseks paigaldatud temperatuuriandur algselt ebaõiges kohas ja näitas seetõttu tegelikust madalamaid temperatuure. TTÜ spetsialistid registreerisid müüritise tegelikuks temperatuuriks Kuressaares isegi kuni 1200 °C, millega tõestati müüritise kokkukulamine liiga kõrge temperatuuri tõttu.

Kuumutusvõlvile tuha kogunemise jälgimiseks oleks otstarbekas teha vaateavad, tuha sadestumise vähendamiseks tuleks leida kuumustusvõlvile sobivam konfiguratsioon.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud, nende jõudlus rahuldab katla vajadust ning need on hästi vastu pidanud.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Kuna katlamaja territoorium on väike ja ruumi ebapiisavalt, ehitati väike ladu, mis vajab sagedast täitmist. Täidetud laoga saab töötada kuni kaks ööpäeva ja see muudab transpordi ladusa korraldamise eriti oluliseks (vt Joonis 8.35).



Joonis 8.35. Kütuse teisaldamine Haapsalu katlamaja laos, foto Ü.Kask

Kütus

Nii nagu teisteski katlamajades, on siingi ettevõtte üheks viimaste aastate

suuremaks probleemiks kujunenud kütuse kvaliteet ja kättesaadavus. Katlamaja territooriumil puudub avaladu ja kinnise lao maht võimaldab täisvõimsuse korral katelt kütusega varustada kuni kaks ööpäeva. Kütuse senine tarnija on ladustanud kütust avaväljakutel Haapsalu linna lähistel ja kütuse transpordiga nendelt väljakutelt katlamajja ei ole tõrkeid esinenud.

Haapsalu kandis ja Läänemaal suuri puiduvarusid ja suuri puidutööstusi kahjuks pole. Puudub ka võimalus raiejäätmete põletamiseks, sest lähikonnas suured raielangid puuduvad ja jäätmeid ei koguta. Kaugelt hangitud kütuse maksumuses kasvab pidevalt transpordikulude osakaal.

Kütuse madalast kvaliteedist annab tunnistus foto, millel näeme kütusest väljasõelatud lisandeid (vt Joonis 8.36).



Joonis 8.36. Näidised kütusest eemaldatud lisanditest ja purustamata puutükkidest, foto Ü.Kask

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaemaldusseadmed ning korstnad

Kui ebasobiva kütuse või kütuste segu kasutamisel ei suudeta pidevalt hoida optimaalset põlemisrežiimi, siis satuvad põlemata kütuseosakesed multitsükklonisse, multitsükkloni metall võib kuumeneda kuni paarisaja kraadini Celsiuse järgi ja hõõgav tuhk võib jõuda isegi tuhatransporditöridesse. Multitsükkloni metall-luugid ja transportöörikanalite betoonkaaned ei pea kõrgele temperatuurile vastu (vt Joonis 8.37).

Veekatla küttepindade puhastamiseks kasutusel oleva akustilise puhuriga ja selle tekitatava müraga ei ole probleeme olnud. Katlamaja lähedal elavatelt inimestelt kaebusi müra kohta ei ole tulnud.



Joonis 8.37. Multitsükkloni alus ja kanali betoonkaas, foto Ü.Kask

8.2.8. Keila katlamaja

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 2003.

Katlamaja:

AS Eraküte Keila katlamaja.

Seadmete tarnija:

Saxlund, Rootsi ja AS Tamult, Eesti.

Katelseade:

jahutuseta mehaanilise kaldrestiga eelkolle, 7 MW veekatel Danstoker.

Kütus:

hakkpuuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor, saepuru, ehitus- ja lammutusjäätmed niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

automaatse greiferkraanaga varustatud kinnine ladu.

Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöör, kummilint-transportöör, kruvitransportöör.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

märg ja kuiv tuhaärastus, multitsükklon katlamajas, vana kivikorsten.

Biokütuse kasutuselevõtu projekti Keila katlamajas finantseeriti emafirma DALKIA poolt garanteeritud kommerts-laenu abil. Otsus biokütuse kasutuselevõtuks sündis pärast seda, kui selgus, et AS Eraküte eelmine projekt Haapsalu katlamajas (vt punkt 8.2.7) oli nii tehniliselt kui majanduslikult edukas.

Keila katlamaja rekonstrueerimise käigus vahetati välja kõik vanad katlamaja seadmed, paigaldati eelkoldega (vt Joonis 8.38) biokütusekatel koos laoseadmetega ja põlevkiviõilil töötavad tipukoormuse ja reservkatlad. Katlamaja hoone renoveeriti. Hiljem on jõutud järeldusele, et katlamajas oleks olnud otstarbekas kohe paigaldada suitsugaaside kondensaator. Pärast ümberehituste lõppu on kondensaatori paigaldamine seotud suuremate kulutustega, sest algselt polnud selleks ruumi ette nähtud.



Joonis 8.38. Eelkolle Keila katlamajas, foto Ü.Kask

Katelseade

Katelseade on ettenähtud kvaliteediga kütuse kasutamise korral töötanud tõrgeteta ja saavutab hõlpsalt nominaalvõimsuse. Alla 45 % niiskusega kütuse korral on võimalik katelt ka umbes 10 % ulatuses üle koormata. Põlemisrežiimide reguleerimisega probleeme ei ole esinenud.

Algselt oli kolde ja katla vahelises horisontaalses gaasikäigus temperatuuriandur valesti paigaldatud, kuid pärast ümberpaigutamist hakkas andur adekvaatselt registreerima gaasivooluse keskmist temperatuuri, mida tuleb põlemisrežiimi reguleerimisega hoida kuni 1000 °C.

Katlasse vee sisenemiskiirkonnas avastati katlatorudel tõsiseid korrosioonikahjustusi ja seinapaksuse vähenemist 4 mm-lt kohati kuni 2 mm-ni. Katlaehitusfirma soovib Danstoker kateldel hoida vee sisenemistemperatuuri tasemel 108 °C või üle selle. Niiske kütuse põletamisel algab liiga madala temperatuuri piirkonnas küttepinna metalli ohtlik korrodeerumine. Kuna katlasse siseneva vee temperatuuri hoidmine vastavalt firma soovitudele pole Keila katlamajas siiani õnnestunud, tuleks seda hoida siiski vähemalt 85 – 90 °C.

Katlasse siseneva vee temperatuuri reguleeritakse segamispumba abil, mis lisab katla toitevette katlast väljuvat

kõrgema temperatuuriga vett. On pakutud kaks võimalikku põhjust, mis võisid tingida katla toitevee liiga madala temperatuuri:

- segamine toimub liiga katla ligidal või
- temperatuurianduri viga.

Kasutatud jäätmekütuses on (mingil perioodil) olnud palju mineraalseid lisandeid, seega võis torude seinapaksuse vähenemisele mõju avaldada ka erosioon.

Kuiva kütuse (spoonijäätmete) põletamisel esineb tuha paakumist restil. Mõnikord jääb kütusekihi paksus restil ebaühtlaseks, mistõttu resti äärtes põleb kütus kiiremini.

Kütuse edastusseadmed

Kütuse edastusseadmetega märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud ja nende jõudlus rahuldab katla vajadust.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Vaatamata sellele, et pakkumise ja selle tehnilise spetsifikatsiooni koostasid väliskonsultandid, jäeti lao projekteerimise faasis määratlemata mitmed olulised parameetrid või hinnati neid valesti. Automaatse greiferkraana tootlikkuseks valiti 80 m³/h ja greiferi mahuks 5 m³, kuid tänaseks on see asendatud poole väiksema mahuga (2,5 m³) ja vastavalt ka poole väiksema tootlikkusega greiferiga. Greiferkraana mootor oli algselt valesti valitud – pärast üheminutulist tööd oleks see pidanud 5 minutit jahtuma ja – mootor põles läbi. Greifer valmistati Eesti ettevõttes AS Eesti Kraanavabrik (vt Joonis 8.39).



Joonis 8.39. Eestis valmistatud greiferiga sildkraana, foto Ü.Kask

Greiferkraana tootja pole oma eksimusi täiel määral tunnistanud, kuigi seadme töös on esinenud palju probleeme. 2005. aastal ei rakendunud ühel korral ülekoormuskaitse, mille tagajärjel katkes tross ning greifer kukkus kütusehunnikusse. Tehase spetsialist oli pärast kaaluanduri paigaldamist eksinud ülekoormuskaitse seadistamisega. Greiferkraana puuduseks tuleb lugeda ka seda, et seinte äärest ja nurkadest pole võimalik kütust kätte saada (vt Joonis 8.40).

Maapinda süvendatud laos oleks äärmiselt keeruline ja kallis ka traktori kasutamine. Paksus kihis liikumatult seisev märg kütus võib iseeneslikult süttida, samuti võivad seal areneda hallitusseened.



Joonis 8.40. Seinte ääres seisev kütus, foto Ü.Kask

Greiferkraanaga kütuselao lahendust oleks saanud märgatavalt parandada, kui projekteerimisel oleks arvesse võetud kohalikke olusid ning valitud sobivad ja vastupidavad seadmed. Väga oluliseks on osutunud greiferkraana ja teiste laoseadmete pidev ja õigeaegne hooldus, mis vaatamata konstruktsiooni puudustele on aidanud vältida tõsisemaid avariisid.

Kütus

Ettevõtte üheks suuremaks probleemiks on kütuse kvaliteet ja kättesaadavus. Katlamaja territooriumil puudub avaladu ja kinnise lao maht võimaldab täisvõimsuse korral katelt kütusega varustada kuni kolm ööpäeva.

Kui ühel perioodil põletati ka ehitus- ja lammutusjäätmeid, tekkisid kohe probleemid kolde resti ja müüritise šlakkumisega, st tekkisid kõvad sadestised (vt Joonis 8.41), ning küttepindade erosiooni ja saastumisega. Katsed jäätmekütuse põletamisega on lõpetatud, sest tekkivate probleemide lahendamine maksab rohkem kui odavama kütuse ostmisega oleks võimalik säästa.



Joonis 8.41. Koldest eemaldatud sadestise tükk, foto Ü.Kask

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Kui mõne kütuse või kütuste segu põletamisel ei suudeta pidavalt hoida optimaalset põlemisrežiimi, siis satuvad

põlemata kütuseosakesed multitsüklonisse (multitsükloni metall võib kuumeneda kuni paarisaja kraadini Celsiuse järgi, vt Joonis 8.42) ja sealt edasi isegi tuha-transportööridesse, kus need osakesed lõpuni põlevad.



Joonis 8.42. Multitsüklon ja tuha transportöör, foto Ü.Kask

8.2.9. Peetri katlamaja Paides

Põhiandmed biokütuste kasutuselevõtu projekti kohta:

Projekti käivitamise aeg: 2003.

Katlamaja:

OÜ Pogi Peetri katlamaja Paide linnas.

Seadmete tarnija:

Wärtsilä OY, Soome.

Katelseade:

8 MW Wärtsilä patenteeritud koonilise restiga altsöötmisega jahutamata eelkolle BioGrate (vt Joonis 4.6) koos veekatlaga.

Kütus:

hakkpuuit, raie- ja puidutööstuse jäätmed, koor, saepuru, tükkturvas niiskusega 35 – 55 %.

Kütuse ladu:

küljelt avatud ja ühes osas liikuva põhjaga vaheladu ning soojendatava ja liikuva põhjaga põhiladu, lisaks kasutatakse avaladu, ladudes kütuse etteandmine traktoriga.

Kütuse edastusseadmed:

kraaptransportöör, kütus antakse koldesse alt kruvisööjtuga.

Puhastus-, tuhaärastus- ja muud seadmed:

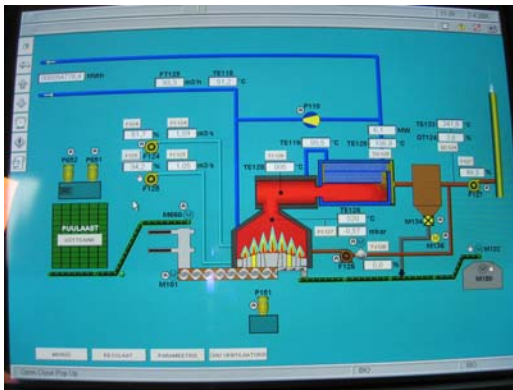
märgtuhaärastus kraap- ja kruvi-transportööridega, multitsüklon katlamajas, uus metallkorsten, 2005.a valmib suitsugaasidest veeauru kondenseerimise seade.

Paide uus biokütuse katlamaja (vt Joonis 8.43 ja Joonis 8.44) üks esimesi Eestis, mille ehitamise rahastamiseks kasutati Kyoto kokkuleppel põhineva ühisrakendusmehhanismi (*joint implementation*) võimalusi. Arvestusperioodi jooksul välditav CO₂ emissiooni kogus võetakse selle skeemi korral kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamisena arvele Soomes. Vastutasuks kattis Soome riik osa investeeringukulusid. Kogu katlamaja seadmetiku tarnis Soome firma Wärtsilä.

OÜ Pogi on erafirma, mis on pikka aega rentinud ja opereerinud Paide linnale kuuluvat Peetri katlamaja. Lühiajalise rendilepingu tõttu ei saanud OÜ Pogi garanteerida katlamaja ümberehitamiseks vajalikku laenu. Biokütuse kasutuselevõtt sai võimalikuks tänu sellele, et OÜ Pogi ostis kõrvalasuva maatüki ja rajas sellele uue katlamaja, kusjuures ehitatav biokütusekatlamaja oli ühtlasi omafinantseeringuks vajaliku pangalaenu saamisel.



Joonis 8.43. Biokütusel töötav Peetri katlamaja Paides, foto Ü.Kask



Joonis 8.44. Peetri katlamaja tehnoloogiline skeem koos tööparameetritega juhtarvuti ekraanil, foto Ü.Kask

Kuna biokütusekatlamajast saadav soojus osutus märgatavalt odavamaks vedelkütuse baasil toodetust, siis otsustati ehitada suitsugaasidest veeauru kondenseerimise seade, mis tõstaks biokütusekatla võimsust ligi 2 MW võrra ja suurendaks puitkütuse osa linna soojusega varustamisel praeguselt 70 – 76 % umbes 90 %-ni. Suitsugaaside kondenseerimise seade peaks valmima 2005. aastal.

Katlamaja rajamise periood venis esialgselt kavandatust pikemaks ja kestis kokku üle 1,5 aasta, mis võimaldas kiirustamisest tulenevaid vigu vältida. Katlamaja on projekteeritud töötama mehitamata, kuid tegelikkuses esinevad tõsised häired kütuse tarnimises ja kütuse kvaliteet kõigub suurtes piirides, mistõttu valveoperaatorit on siiani kasutatud kogu ööpäeva jooksul.

Töötajate kohusetundlikku ja efektiivset tööd motiveeritakse lisatasude süsteemiga, mille rakendamine on ennast täiel määral õigustanud.

Katelseade

Katelseadme kõikide sõlmede tööd ja põlemisrežiime juhitakse arvuti abil ja inimese sekkumist juhtimisse läheb vaja ainult väheste tõsisemate häirete likvideerimisel. Näiteks on koldest väljuvas gaasikäigus mõnikord esinenud slakkumisest tingitud ummistusi ja

temperatuuri tõusu, mis käivitavad kolde kustutussüsteemi ja tuli summutatakse. Mõnikord kattub temperatuurianduri pesa tuhaga ja siis kustutussüsteem ei rakendu. Normaalses olukorras peab kustutussüsteem rakenduma siis, kui kolde ja katla vahelise gaasikäigu temperatuur tõuseb üle 950 °C ning 1050 °C juures seiskub katel täielikult. Lubatavast kuivema kütuse kasutamisel tõusebki temperatuur sellele tasemele, kuid temperatuuriandur on seni vältinud kuiva kütuse kasutamisest tulenevaid ohud.

Horisontaalselt paiknevat veekatelt tuleb iga 6 – 8 nädala tagant puhastada. Katel on otse ühendatud linna kaugküttevõrguga, kuid plaanis on paigaldada plaatsoojusvaheti, mis võimaldaks eraldada katla kaugküttevõrgust ja tõsta süsteemi töökindlust.

Kasutatavat BioGrate eelkolde tööd on käsitletud eespool (vt punkt 4.2.1.2 ja Joonis 4.6). Selles kolde on võimalik edukalt põletada väga muutuva kvaliteedi ja niiskusega kütuseid, mistõttu võib seda koldetüüpi selliste kütuste põletamisel pidada üheks kõige sobivamaks tehniliseks lahenduseks.

Kütuse edastusseadmed

Kütusetransportööriks oli algselt valitud turba transportöör, kuid see ei edastanud hästi ei hakkpuitu ega saepuru. Pärast sagedusmuunduri paigaldamist töötas transportöör kõigi nende kütustega võrdselt hästi.

Kütuses sisalduvad suured tükid, kivid ja mitmesugused metallitükid jõuavad sageli söötekruvini (enne katelt), mis on varustatud siduri ja reverseerimise võimalusega ja see kaitseb kruvi purunemise eest. Kütuses leiduvate ebasobivate tükkide eemaldamiseks on söoteseadmeid tulnud lühiajaliselt seisatada.

Kokkuvõttes kütuse edastusseadmetega siiski märkimisväärsed tehnilisi probleeme ei ole esinenud ning nende jõudlus vastab katla vajadustele.

Kütuse ladu ja laoseadmed

Küljelt avatud ja liikuvate rooplattidega varustatud vahelaost, mis mahutab ühe nädalavahetuse kütusevaru (vt Joonis 5.2, saab kütust põhilattu anda transportööridega ja ka traktorlaaduriga. Laoseadmed jõuavad katelt varustada kõigi koormuste juures. Põhilaos hoitav kütus võimaldab katelt ainult ühe ööpäeva jooksul nominaalkoormusel käitada. Põhilao põhja köetakse kütuse külmumise vältimiseks kaugküttevõrgust tagastuva veega (vt Joonis 5.3). Selline lahendus näitas end heast küljest juba esimesel talvel. Kütus ei jää seisma ka lao nurkadesse.

Kütus

Väga mitmesugust kütust alates saepurust kuni raiejäätmeteri hangitakse mitmetelt tarnijatelt kuni 100 km raadiuses katlamajast.

Kütusest on sageli leitud mitmesuguseid tundmatu päritoluga lisandeid, mis põletamisel alandavad tuha sulamistemperatuuri ja põhjustavad resti ja koldeseinte šlakkumist. Kütus on tehti saastunud ka muda ja liivaga, mis samuti mõjutavad koldeprotsesse ja tuha käitumist. Kolde ja resti puhastamine on pikaajaline ja kallis ettevõtmine.

Peamine probleem nagu kõikjal on üha langev kütuse kvaliteet ja tõusev hind.

Gaasipuhastus-, tuhaärastus- ja tahmaeemaldusseadmed ning korstnad

Katlal puudub akustiline küttepindade puhastusseade, kuid see on plaanis lähiajal paigaldada.

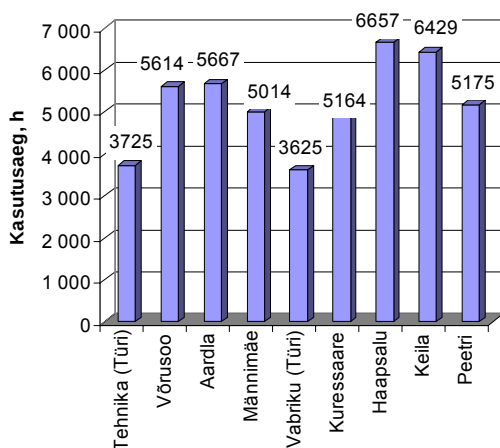
Kütus jõuab kõigil katla koormustel ja erinevate kütuste puhul restil lõpuni põleda, seega põlemata osakesed multitsüklonini ei jõua ning nii multitsüklon kui ka tuhatransportöörid üle ei kuumene.

Märgtuhaärastuse süsteemis on tulnud vahetada vigastatud veenivoo andureid, sest mittetoimivate andurite tõttu alaneb automaatselt katla koormus.

8.3. Kokkuvõte biokütuste kasutamise kogemustest Eestis

8.3.1. Katelde koormamine ja kütuse erikulu

Nagu eespool näidatud (vt punkt 7.2), tuleks suuri investeeringuid nõudnud biokütusekatlaid majandusliku tasuvuse saavutamiseks maksimaalselt koormata, st nad peaksid töötama baaskoormusel. Järgneval tulpdiaagrammil (vt Joonis 8.45) on toodud katelde arvutuslikud (st tinglikult nominaalkoormusel töötamise) kasutusajad 2004. aasta kohta.



Joonis 8.45. Biokütusekatelde arvutuslik kasutusaeg 2004.aastal

Väga pikk arvutuslik kasutusaeg (Haapsalus ja Keilas isegi üle 6 000 tunni) näitab eeskujulikku ja häireteta tööd praktiliselt kogu aasta jooksul. Võrdluseks võib tuua tüüpilise kütteperioodi pikkuse Eestis - umbes 5300 h. Pikk kasutusaeg garanteerib ühtlasi investeeringute kiire tasuvuse.

Vaadeldud biokütusekatelde väga pikk kasutusaeg oli meeldivaks üllatuseks ka käesoleva käsiraamatu koostajatele. Niivõrd hea tulemuse saavutamist võimaldasid järgmised tegurid:

- Haapsalus ja Keilas kuuluvad soojustarbijate hulka sanatooriumid ja veekeskused, mille suvine kõrge soojustarve võimaldab pikendada biokütusekatelde baaskoormusel töötamise aega;
- biokütusekatlaid on suudetud edukalt rakendada ka väljaspool kütteperioodi, st suvise sooja tarbevee valmistamiseks;
- seadmete häireteta töö pika aja vältel ning sunnitud seisakute vähesus ja/või lühiajalisus;
- stabiilne kütusevarustus.

Lisaks eelnevalt loetletud põhjustele tuleb kõigi vaatluse all olnud katlamajade puhul veel rõhutada ettevõtte oskuslikku majandamist ja personali motiveeritust.

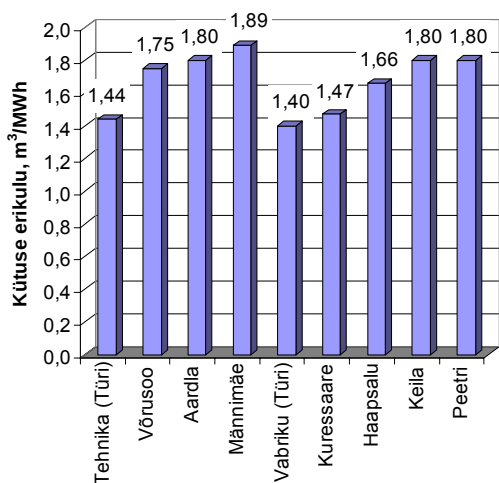
OÜ Terme hallatavas kahes katlamajas Türil on katelde kasutusajad mõnevõrra lühemad (alla 4000 tunni aastas). Seejuures on Türi linnas tarbijate koormused langenud ja sealsetes väikestes kaugküttevõrkudes ei saa biokütusekatlaid kasutada ainult baaskoormuse katmiseks ja nad peavad kütteperioodi alguses ja lõpus (st sügisel ja kevadel) töötama osalise koormusega.

Kui võrrelda arvutatud kasutusaegu Eesti biokütusekatelde statistiliste keskmistega (vt Joonis 8.3), näeme kuni kolmekordset erinevust. Seega oleks paljudel biokütusekateldegas ettevõtetel põhjust oma tööd kriitiliselt analüüsida ja edukalt töötavate katlamajade kogemustest õppida.

Kõigis vaadeldud katlamajades peetakse biokütuste kasutamise arvestust vastu võetud kütuse kuupmeetrites ehk nn puistekuupmeetrites. Katlamajades puuduvad saabuvate kütusekoormate kaalumise võimalused, pole sisse seatud laboratooriume kütuse niiskuse operatiivseks määramiseks ja seetõttu ei saa ka saabuvate kütusekoguste energiasisaldust arvutada.

Erinevate kütuste kasutamisel peegeldab kütuse erikulu ühe MWh soojuse

väljastamiseks kaudselt kütuse kvaliteeti, sest vaatluse all olnud biokütusekatelde eeldatavad kasutegurid ei tohiks ekspertide arvates oluliselt erineda. Tulpdiagrammil esitatud (vt Joonis 8.46) biokütusekatelde kütuse erikulud kõiguvad 1,4 ja 1,9 m³/MWh vahel. Kui Türi mõlemas katlamajas ja Kuressaares kasutatakse keskmisest kõrgema kvaliteediga kütust (erikulud vastavalt 1,40, 1,44 ja 1,47 m³/MWh), siis näiteks Männimäe katlamajas märksa madalama energiasisaldusega ja eeldatavalt madalama kvaliteediga või madalama puistehtedusega kütuseid.



Joonis 8.46. Biokütusekatelde kütuse erikulud 2004. aastal

8.3.2. Biokütuse kasutusevõtu riskid

Biokütuste kasutuselevõttu soodustavate tegurite hulka kuuluvad katlamajade küsitlusandmete põhjal:

- puitkütuste ja selle baasil energiatootmise pikaajalised traditsioonid ja oskusteabe olemasolu;
- loodusliku metsaressursi ja teiste biokütuste olemasolu;

- arenenud metsa- ja puidutööstus, mis võimaldab stabiilset kütusega varustamist;
- vaba tööjõuressurs (tööpuudus) maapiirkondades;
- kasvav nõudlus biokütuste kui loodussõbraliku kütuse järele;
- fossiilkütuste jätkuv hinnatõus koos keskkonnamaksude suurenemisega.

Lisaks biokütustele saab enamikes biokütusekateldes põletada ka turvast, mis võimaldab paindlikumalt reageerida kütuseturu muutustele. Siiani on kütusena praktiliselt kasutamata õled, lisaks on palju sellist mittekasutatavat põllumaad, mis võimaldaks energiavõsa või energiaheina kasvatamist. Seega ei ole otseselt karta, et tulevikus biokütuste ressursid ammenduksid.

Kui biokütuste kasutamist soodustava tegurina mainiti vaba tööjõu olemasolu, siis kahjuks on vabal tööjõul sageli madal kvalifikatsioon ja vähene usaldusväärsus.

Sageli puuduvad maapiirkondades ettevõtlikud inimesed, kes oleksid võimelised biokütuseprojektidele laenu- või toetusetaotlusi ette valmistama ja projekte ellu viima. Piduriks võib osutuda ka kohalike omavalitsuste suur laenukoormus, mille tõttu krediitdiasutused neile laenu anda ei saa.

Riskidena loetletakse paljusid tegureid, mis suures osas on seotud kas turumajandusest tulenevate mõjutustega või keskkonnamajanduslike piirangutega:

- süveneb konkurents biokütuste tooraine turul;
- potentsiaalsed investeeringud lähevad mujale, kus nende tasuvusaeg on lühem;
- bensiini ja diiselmootori hindade tõus muudab biokütuste tootmise kallimaks, kuid samas võib see olla stiimuliks vedelate biokütuste tootmise alustamiseks;

- kütuste turul muutuvad biokütuste hinnad samas suunas fossiilsete kütuste hindadega;
- välisturgude suur nõudlus väärindatud biokütuste järele, mis sealse kõrgema hinnataseme tõttu tõstab biokütuste hindu ka biokütuseid tootvates riikides ja vähendab nende ressursse kodumaal;
- tööjökulutuste pidev suurenemine;
- järjest karmistuvad loodus- ja keskkonnakaitselised piirangud (näiteks nn Natura alade moodustamine);
- energiavõsa ja agrobiomassi kasvatamise projekte ei suudeta majanduspoliitilistel põhjustel käivitada.

Kuigi erinevaid riske loetakse palju, tuleneb see eelkõige inimeste teadlikkuse tõusust ja soovist kõiki biokütuste tulevikuga seotud aspekte oma projektis ette näha ja arvestada. Käesoleval ajal süveneb veendumus, et biokütuste kui kodumaiste taastuvate kütuste kasutamisel on riskid oluliselt väiksemad kui fossiilkütuste kasutamisel.

8.3.3. Järeldused ja soovitused

12 aastase biokütuse kasutuselevõtu kogemuste analüüs võimaldab teha mitmeid järeldusi ja anda soovitusi edaspidiseks. Üldistuste tegemisel juhinduti küll peamiselt Eesti näidetest, kuid võeti arvesse ka mõnede Läti, Leedu ja Loo-de-Venemaa edukate biokütuseprojektide kogemusi.

1. Biokütusekatlamajade lihtsustatud tehnilised lahendused ei taga katlamaja stabiilset tööd ja kujunevad lõpptulemusena kallimaks kui suuremaid algseid kulutusi nõudvad kaasaegsed läbiproovitud kompleksed tehnoloogilised lahendused. Seega, tehnilised lihtsustused kulutuste vähendamiseks on ohtlikud ja mittesoovitavad.
2. Varem fossiilkütustel töötanud katelde ümberehitamine biokütustele võib anda rahuldava lõpptulemuse. Ümber-

ehitused nõuavad seejuures olemasolevate katelde väga põhjalikku tundmist ja iga konkreetse katlamaja jaoks tuleb koostada individuaalne lahendus, mis võib tõsta kulutusi samale tasemele kui komplekssete uute seadmete kasutamisel. Reeglina on ümberehitatud katlad kütuse kvaliteedi kõikumiste suhtes tundlikumad kui uued kompleksed seadmed. Kokkuvõttes soovitame lähedaste investeeringute taseme korral eelistada uusi kompleksseid lahendusi.

3. Biokütusekatlamajade rajamiseks vajalikud investeeringud on küllaltki suured. Projektid tasuvad end seda paremini, mida enam suudetakse biokütuseseadmeid koormata. Seega peaksid need seadmed töötama baaskoormusel ja tippkoormuste katmiseks tuleks kasutada kas olemasolevaid või uusi vedel- või gaaskütusekatlaid.
4. Biokütuste kvaliteet, sh niiskus, võib kõikuda väga suurtes piirides, kuid põletusseade on reeglina arvestatud mingi konkreetse niiskuse ja kvaliteediga kütuse kasutamiseks. Katla jaoks mittesobiva kütuse kasutamine (isegi lühiajaline) võib viia tõsiste häireteni seadmete töös, näiteks resti või küttepindade šlakkumine, põlemata osakeste jõudmine multitsükklonisse jne. Kõikude kvaliteediga kütuste kasutamist tuleks võimalusel vältida, kuid probleeme aitaks leevendada ka kütuste segamine ja kuiva kütuse niisutamine.
5. Biokütuste kasutamine seab suured nõudmised katlamaja personalile, seda nii töö organiseerimise kui kütusevarustuse osas, aga ka katla operaatorite ja tehnilise personali oskuste ja motiveerituse osas. Enamasti kalduvad katlamaja spetsialistid oma oskusi üle hindama. Seega on võrdsele tähtsusele nii kogemuste vahetamine teiste katlamajade spetsialistidega kui täienduskoolitus. Biokütusel töötava katla

operaatorite kohustused on palju keerukamad kui gaas- ja vedelkütusekatelde teenindajatel. Seega on hädavajalik biokütusekatlamaja personali täiendav motiveerimine ja tasustamine.

6. Juhul kui biokütusekatla ja väävlirikkal kütusel töötava katla jaoks kasutatakse samu suitsukäike ja korstnat, võivad niiske biokütuse põletamise tõttu sageli tekkida gaasikäikude ja korstna ohtlikud korrosioonikahjustused. Sellised nn madalatemperatuurilise korrosiooni ilmingud võivad esineda ka varem masuudil töötanud katla mõnedel madalama temperatuuriga küttepindadel. Kokkuvõttes oleks

soovitav biokütusekatel varustada eraldi korstna või korstnalõõriga. Lisaks tuleks hoida katlasse siseneva vee temperatuur nõutaval (st piisavalt kõrgel) tasemel.

7. Nii Balti riikides ja Poolas kui ka Venemaal on võimalik biokütuse kasutuselevõtu projektide finantseerimisel saada finantstoetust nendelt riikidelt, mis ei suuda Kyoto protokollist tulenevat kohustust kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamiseks muul viisil täita.

9. LISAD

9.1. Kasutatavad ühikud

Tabel 9.1. Energiaühikute teisendamine

	toe	MWh	GJ	Gcal
toe	1	11,630	41,868	10,0
MWh	0,08598	1	3,6	0,86
GJ	0,02388	0,2778	1	0,2388
Gcal	0,1	1,1630	4,1868	1

Tabel 9.2. Kordsed ühikud

k	= kilo	= 10 ³	= 1 000
M	= mega	= 10 ⁶	= 1 000 000
G	= giga	= 10 ⁹	= 1 000 000 000
T	= tera	= 10 ¹²	= 1 000 000 000 000
P	= peta	= 10 ¹⁵	= 1 000 000 000 000 000

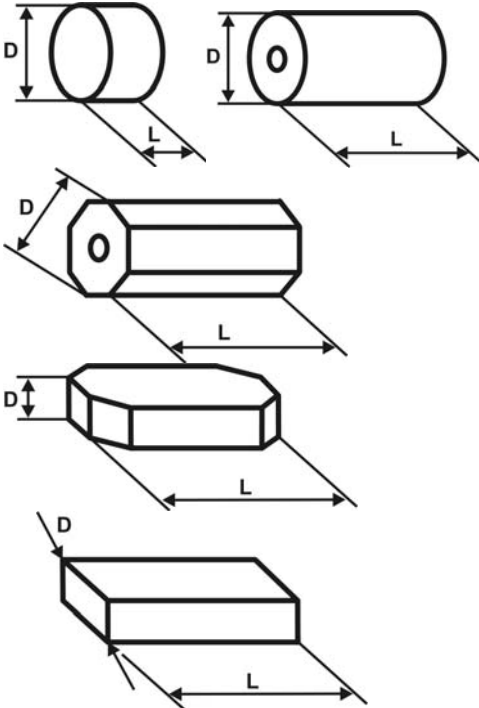
9.2. Biokütuste ja turba tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid

Tabel 9.3. Hakkpuidu tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel			
	Kütuse päritolu:		Puidupõhine biomass	
	Kaubanduslik vorm:		Hakkpuit	
Normatiivsed näitajad	Mõõtmed, mm ^a			
		Põhifraktsioon > 80 % kaalust	Peenfraktsioon < 5 %	Jämeifraktsioon, maksimaalne osakese pikkus
	P16	3,15 mm ≤ 16 mm	< 1 mm	max 1 % ^a > 45 mm, kõik < 85 mm
	P45	3,15 mm ≤ 45 mm	< 1 mm	max 1 % ^a > 63 mm
	P63	3,15 mm ≤ 63 mm	< 1 mm	max 1 % ^a > 100 mm
	P100	3,15 mm ≤ 100 mm	< 1 mm	max 1 % ^a > 200 mm
	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M _{ar}			
	M20	≤ 20 %	Kuivatatud	
	M30	≤ 30 %	Sobib ladustamiseks	
	M40	≤ 40 %	Piiratud ladustamisvõimalused	
	M55	≤ 55 %		
	M65	≤ 65 %		
	Tuhasisaldus kuivaines, A _d , %			
	A0.7	≤ 0,7 %		
	A1.5	≤ 1,5 %		
	A3.0	≤ 3,0 %		
	A6.0	≤ 6,0 %		
	A10.0	≤ 10,0 %		
	Lämmastikuisaldus kuivaines, N _d , %			
	N0.5		Lämmastikuisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral	
	N1.0			
	N3.0			
	N3.0+			
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m ³ puiste)		Soovitatakse määrata jaemüügi korral	
	Tarbimiskütuse puistetihedus, (kg/m ³ puiste)		Soovitatakse kasutada siis, kui müük toimub mahu alusel	
	Kloorisisaldus kuivaines, Cl _d kaaluprotsentides		Soovitakse rakendada klasse Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 ja Cl0.10+ (kui tegelik Cl sisaldus on > 0,1 % näidatakse tegelik kloorisisaldus)	

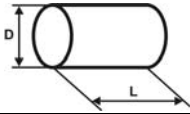
^a – mõõtmete väärtused näitavad osakeste suursi, mis lähevad läbi märgitud suurusega ümmargustest sõela avadest (3,15 mm, 16 mm, 45 mm, 63 mm ja 100 mm). Osakeste tegelikud mõõtmed, eriti aga pikkus, võivad erineda toodud suurusest

Tabel 9.4. Brikettide tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel		
	Kütuse päritolu:		Puidupõhine biomass Rohtne biomass Turvas Lisanditega biokütused ja kütuste segud
	Kaubanduslik vorm:		Briketid
Normatiivsed näitajad	Läbimõõt (D) või ekvivalentne mõõde, mm:		
	D40	25 ≤ D ≤ 40	
	D50	≤ 50	
	D60	≤ 60	
	D80	≤ 80	
	D100	≤ 100	
	D125	≤ 125	
	D125+	> 125 (tuleb näidata tegelik väärtus)	
		Pikkus (L)	
	L50	≤ 50	
	L100	≤ 100	
	L200	≤ 200	
	L300	≤ 300	
	L400	≤ 400	
	L400+	> 400 (tuleb näidata tegelik väärtus)	
	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M _{ar}		
	M10	≤ 10 %	
	M15	≤ 15 %	
	M20	≤ 20 %	
	Tuhasisaldus kuivaines, A _d , %		
	A0.7	≤ 0,7 %	
	A1.5	≤ 1,5 %	
	A3.0	≤ 3,0 %	
	A6.0	≤ 6,0 %	
	A10.0	≤ 10,0 %	
	Väevlisisaldus (S) kuivaines, %		
	S0.05	≤ 0,05 %	Väevlisisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral
S0.08	≤ 0,08 %		
S0.10	≤ 0,10 %		
S0.20	≤ 0,20 %		
S0.20+	> 0,20 % (tuleb näidata tegelik väärtus)		

	Brikketide tihedus, kg/dm ³		
	DE0.8	0,80 – 0,99	
	DE1.0	1,00 – 1,09	
	DE1.1	1,10 – 0,99	
	DE1.2	≥ 1,20	
	Lisanditesisaldus kaaluprotsentides pelletite lähteaines		
	Brikketide pressimisel toorainesse lisatavad liimained ja muud lisandid tuleb ära näidata		
	Lämmastikuisisaldus kuivaines, N _d , %		
	N0.3	≤ 0,3 %	Lämmastikuisisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral
	N0.5	≤ 0,5 %	
	N1.0	≤ 1,0 %	
N3.0	≤ 3,0 %		
N3.0+	> 3,0 % (tuleb näidata tegelik väärtus)		
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m ³ puiste)		Soovitatakse rakendada jaemüügi korral soovitatakse informeerida
	Tarbimiskütuse puistetihedus, (kg/m ³ puiste)		Soovitatakse kasutada siis, kui müük toimub mahu alusel
	Kloorisisaldus kuivaines, Cl _d kaaluprotsentides		Soovitakse rakendada klasse Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 ja Cl0.10+ (kui tegelik Cl sisaldus on > 0,1 %, näidatakse tegelik kloorisisaldus)

Tabel 9.5. Pelletite tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel	
	Kütuse päritolu:	Puidupõhine biomass Rohtne biomass Turvas Lisanditega biokütused ja kütuste segud
	Kaubanduslik vorm:	Pelletid
Normatiivsed näitajad	Mõõtmed, mm	
		
	Läbimõõt (D) ja pikkus (L). Maksimaalselt 20 % kaalust võivad olla pelletid pikkusega 7,5 x D	
	D06	$\leq 6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ja $L \leq 5 \times D$
	D08	$\leq 8 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ja $L \leq 4 \times D$
	D10	$\leq 10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ja $L \leq 4 \times D$
	D12	$\leq 12 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$ ja $L \leq 4 \times D$
	D25	$\leq 25 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$ ja $L \leq 4 \times D$
	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M_{ar}	
	M10	$\leq 10 \%$
	M15	$\leq 15 \%$
	M20	$\leq 20 \%$
	Tuhasisaldus kuivaines, A_d , %	
	A0.7	$\leq 0,7 \%$
	A1.5	$\leq 1,5 \%$
	A3.0	$\leq 3,0 \%$
	A6.0	$\leq 6,0 \%$
	A6.0+	$> 6,0 \%$ (tuleb näidata tegelik väärtus)
	Väävlisisaldus (S) kuivaines, %	
	S0.05	$\leq 0,05 \%$
	S0.08	$\leq 0,08 \%$
	S0.10	$\leq 0,10 \%$
	S0.20+	$> 0,20 \%$ (tuleb näidata tegelik väärtus)
	Mehaaniline püsivus (DU) kaaluprotsentides pärast katsetamist	
	DU97.5	$\geq 97,5 \%$
	DU95.0	$\geq 95,0 \%$
	DU90.0	$\geq 90,0 \%$
	Peenfraktsiooni sisaldus ($< 3,15 \text{ mm}$ osakeste sisaldus kaaluprotsentides tehast väljastamisel)	
	F1.0	$\leq 1,0 \%$
	F2.0	$\leq 2,0 \%$
	F2.0+	$> 2,0 \%$ (tuleb näidata tegelik väärtus)
	Lisanditesisaldus kaaluprotsentides pelletite lähteaines	
	Pelletite pressimisel toorainesse lisatavad liimained ja muud lisandid tuleb ära näidata	
	Lämmastikuisaldus kuivaines, N_d , %	

	N0.3	$\leq 0,3 \%$	Lämmastiksisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral
	N0.5	$\leq 0,5 \%$	
	N1.0	$\leq 1,0 \%$	
	N3.0	$\leq 3,0 \%$	
	N3.0+	$> 3,0 \%$ (tuleb näidata tegelik väärtus)	
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m ³ puiste)		Soovitatakse rakendada jaemüügi korral soovitatakse informeerida
	Tarbimiskütuse puistetihedus, (kg/m ³ puiste)		Soovitatakse kasutada siis, kui müük toimub mahu alusel
	Kloorisisaldus kuivaines, Cl _d kaaluprotsentides		Soovitakse rakendada klasse Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 ja Cl0.10+ (kui tegelik Cl sisaldus on $> 0,1 \%$, näidatakse tegelik kloorisisaldus)

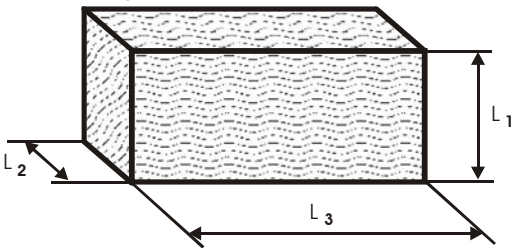
Tabel 9.6. Puidukoore tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel		
	Kütuse päritolu:		Puidupõhine biomass
	Kaubanduslik vorm:		Koor
Normatiivsed näitajad	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M_{ar}		
	M40	$\leq 40 \%$	
	M50	$\leq 50 \%$	
	M60	$\leq 65 \%$	
	M70	$\leq 70 \%$	
	Tuhasisaldus kuivaines, A_d , %		
	A0.7	$\leq 0,7 \%$	
	A1.5	$\leq 1,5 \%$	
	A3.0	$\leq 3,0 \%$	
	A6.0	$\leq 6,0 \%$	
	A12.0	$\leq 12,0 \%$	
	Lämmastikuisaldus kuivaines, N_d , %		
	N0.5	N0.5	Lämmastikuisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral
	N1.0	N1.0	
	N3.0	N3.0	
	N3.0+	N3.0+ (tuleb näidata tegelik väärtus)	
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m ³ puiste)		Soovitatakse määrata
	Tarbimiskütuse puistetihedus, (kg/m ³ puiste)		Soovitatakse kasutada siis, kui müük toimub mahu alusel
	Kloorisisaldus kuivaines, Cl_d kaaluprotsentides		Soovitakse rakendada klasse Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 ja Cl0.10+ (kui tegelik Cl sisaldus on > 0,1 %, näidatakse tegelik kloorisisaldus)

Tabel 9.7. Halupuude tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel	
	Kütuse päritolu:	
	Kaubanduslik vorm:	
Normatiivsed näitajad	Mõõtmed, mm	
	Pikkus L ja jämedus D (iga üksiku halu maksimaalne läbimõõt)	
	P200-	$L < 200 \text{ mm}$ ja $D < 20$ (süütamispuid)
	P200	$L = 200 \pm 20$ ja $40 \text{ mm} \leq D \leq 150 \text{ mm}$
	P250	$L = 250 \pm 20$ ja $40 \text{ mm} \leq D \leq 150 \text{ mm}$
	P330	$L = 330 \pm 20$ ja $40 \text{ mm} \leq D \leq 160 \text{ mm}$
	P500	$L = 500 \pm 40$ ja $60 \text{ mm} \leq D \leq 250 \text{ mm}$
	P1000	$L = 1000 \pm 50$ ja $60 \text{ mm} \leq D \leq 350 \text{ mm}$
	P1000+	$L > 1000 \text{ mm}$, tegelik pikkus L ja läbimõõt D tuleb näidata
	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M_{ar}	
	M20	$\leq 20 \%$ Kütmiseks sobivalt kuiv
	M30	$\leq 30 \%$ Seisnud hoidlas
	M40	$\leq 40 \%$ Seisnud metsas
	M65	$\leq 65 \%$ Metsast värskelt lõigatud
Informatiivsed näitajad	Puuliik	
	Tuleb ära näidata puuliik või erinevate puuliikide osatähtsus	
	Energiasisaldus $E_{net,ar}$ (kWh/m ³ , st ruumimeetri või puistekuupmeetri kohta)	Soovitatakse määrata jaemüügi korral
	Koguse mõõtühik: tihumeeter, ruumimeeter või puistekuupmeeter saabumisolukorras	Tuleb näidata, millist mõõtühikut jaemüügi korral kasutatakse (tihumeeter, ruumimeeter või puistekuupmeeter saabumisolukorras)
	Lõhutud puude proportsioonid	Lõhkumata, st ümarpuud
		Lõhutud, st üle 85 % halgudest on lõhutud
		Segapuud: lõhutud ja lõhkumata halud segamini
	Saagimispind	Tuleb näidata, kas saagimispind on tasane ja sile või on halgude otsad ebatasased
	Hallitus ja mädanemine	Tulen näidata, kui oluline osa (üle 10 % kaalust) on hallitanud või mädanenud
		Võib kasutada näitajana ebaloomuliku puu tiheduse või alumise kütteväärtuse korral

Tabel 9.8. Pressitud õlgede tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel			
	Kütuse päritolu:		Rohtne biomass	
	Kaubanduslik vorm:		Suured õlepallid	
Normatiivsed näitajad	Mõõtmed, mm: kõrgus L_1 , laius L_2 ja pikkus L_3			
				
	Läbimõõt (D) ja pikkus (L). Maksimaalselt 20 % kaalust võivad olla pelletid pikkusega 7,5 x·D			
		Kõrgus L_1	Laius L_2	Pikkus L_3
	P1	1 300	1 200	2 200
	P2	1 300	1 200	2 400
	P3	600 – 900	1 200	2 400
	P4	1 300	1 200	1 100 – 2 750
	Õlepalli tihedus, kg/m^3			
	BD130	≤ 130		
	BD150	≤ 150		
	BD165	≤ 165		
	BD165+	> 165		
	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M_{ar}			
	M16	$\leq 16 \%$	Üheski kohas ei ületa 23 %	
	M16+	$\leq 16 \%$	Mõnes kohas võib ületada 23 %	
	M23	$\leq 23 \%$	Üheski kohas ei ületa 30 %	
M23+	$\leq 23 \%$	Mõnes kohas võib ületada 30 %		
M30	$\leq 30 \%$	Üheski kohas ei ületa 35 %		
M30+	$\leq 30 \%$	Mõnes kohas võib ületada 35 %		
Tuhasisaldus kuivaines, A_d , %				
A05	$\leq 0,7 \%$			
A10	$\leq 1,5 \%$			
A10+	$\leq 3,0 \%$			
Biomassi päritolu				
Tuleb näidata				
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m^3 puiste)		Soovitatakse määrata	
	Osakeste suuruste jaotus		Soovitatakse näidata vilja koristamise meetod, mis mõjutab õlgedeosakeste suurusi	

Tabel 9.9. Saepuru tehnilised tingimused ja kvaliteedi klassid [16]

	Koondtabel		
	Kütuse päritolu:		Puidupõhine biomass
	Kaubanduslik vorm:		Saepuru
Normatiivsed näitajad	Niiskusesisaldus kaaluprotsentides tarbimiskütusest, M_{ar}		
	M20	$\leq 20 \%$	Kuivatatud
	M30	$\leq 30 \%$	Sobib ladustamiseks
	M35	$\leq 35 \%$	Piiratud ladustamisvõimalused
	M55	$\leq 55 \%$	
	M65	$\leq 65 \%$	
	Tuhasisaldus kuivaines, A_d , %		
	A0.7	$\leq 0,7 \%$	
	A1.5	$\leq 1,5 \%$	
	A3.0	$\leq 3,0 \%$	
	A6.0	$\leq 6,0 \%$	
	Lämmastikuisaldus kuivaines, N_d , %		
	N0.5	N0.5	Lämmastikuisaldust normeeritakse ainult keemiliselt töödeldud biomassi korral
	N1.0	N1.0	
	N3.0	N3.0	
	N3.0+	N3.0+ (tuleb näidata tegelik väärtus)	
Informatiivsed näitajad	Tarbimiskütuse alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$ (MJ/kg) või mahuline energiasisaldus (kWh/m ³ puiste)		Soovitatakse määrata
	Tarbimiskütuse puistetihedus, (kg/m ³ puiste)		Soovitatakse kasutada siis, kui müük toimub mahu alusel
	Kloorisisaldus kuivaines, Cl_d kaaluprotsentides		Soovitakse rakendada klasse Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10 ja Cl0.10+ (kui tegelik Cl sisaldus on > 0,1 %, näidatakse tegelik kloorisisaldus)
NB! Saepuru peab olema homogeenne (ühtlase osakeste suurusega). Vajadusel tuleb ebaühtlase saepuru osakeste suuruse jaotus määrata			

9.3. Praktikas enamkasutatavate andmete tabelid

Tabel 9.10. Küttepuidu alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$, MWh/t (põlevaine keskmise kütteväärtuse 19,2 MJ/kg korral)

Niiskus, M_{ar} , %	Kütteväärtus $q_{net,ar}$, MWh/t, vastavalt tarbimisaine tuhasisaldusele				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
25	3,79	3,75	3,71	3,67	3,63
26	3,73	3,69	3,65	3,61	3,57
27	3,67	3,63	3,59	3,55	3,52
28	3,61	3,57	3,54	3,50	3,46
29	3,55	3,51	3,48	3,44	3,40
30	3,49	3,46	3,42	3,38	3,34
31	3,43	3,40	3,36	3,32	3,29
32	3,37	3,34	3,30	3,26	3,23
33	3,31	3,28	3,24	3,21	3,17
34	3,25	3,22	3,18	3,15	3,11
35	3,19	3,16	3,13	3,09	3,06
36	3,14	3,10	3,07	3,03	3,00
37	3,08	3,04	3,01	2,97	2,94
38	3,02	2,98	2,95	2,92	2,88
39	2,96	2,92	2,89	2,86	2,83
40	2,90	2,86	2,83	2,80	2,77
41	2,84	2,81	2,77	2,74	2,71
42	2,78	2,75	2,72	2,68	2,65
43	2,72	2,69	2,66	2,63	2,60
44	2,66	2,63	2,60	2,57	2,54
45	2,60	2,57	2,54	2,51	2,48
46	2,54	2,51	2,48	2,45	2,42
47	2,48	2,45	2,42	2,40	2,37
48	2,42	2,39	2,36	2,34	2,31
49	2,36	2,33	2,31	2,28	2,25
50	2,30	2,27	2,25	2,22	2,19
51	2,24	2,22	2,19	2,16	2,14
52	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08
53	2,12	2,10	2,07	2,05	2,02
54	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96
55	2,00	1,98	1,96	1,93	1,91
56	1,94	1,92	1,90	1,87	1,85
57	1,88	1,86	1,84	1,82	1,79

Niiskus, M_{ar} , %	Kütteväärtus $q_{net,ar}$, MWh/t, vastavalt tarbimisaine tuhasisaldusele				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
58	1,82	1,80	1,78	1,76	1,73
59	1,76	1,74	1,72	1,70	1,68
60	1,71	1,68	1,66	1,64	1,62
61	1,65	1,62	1,60	1,58	1,56
62	1,59	1,57	1,55	1,53	1,51
63	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45
64	1,47	1,45	1,43	1,41	1,39
65	1,41	1,39	1,37	1,35	1,33
66	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28
67	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22
68	1,23	1,21	1,19	1,18	1,16
69	1,17	1,15	1,14	1,12	1,10
70	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05

Tabel 9.11. Õhukuivade halupuude tüüpilised omadused [41]

Puuliik	Puidu tihedus, kg/tm	Mahumass, kg/rm	Alumine kütteväärtus $q_{net,ar}$, MJ/kg	Energiasisaldus, kWh/rm
Kask	680	485	13,6	1 800
Kuusk	490	340	13,7	1 295
Mänd	550	385	13,6	1 450
Lepp	570	400	13,3	1 470
Haab	540	380	12,9	1 360

Tabel 9.12. Rootsi pelletite klassifikatsioon SS 187120 [6]

Näitaja	Ühik	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3
Läbimõõt (D) ja pikkus (L) tootja laos	mm	$L < 4 \cdot D$	$L < 5 \cdot D$	$L < 5 \cdot D$
Mahukaal, D_{ar}	kg/m ³	$D_{ar} \geq 600$	$D_{ar} \geq 500$	$D_{ar} \geq 500$
Peenfraktsiooni (alla 3 mm) sisaldus massi järgi, F	%	$F \leq 0,8$	$F \leq 1,5$	$F \leq 1,5$
Tarbimisaine alumine kütteväärtus, $q_{net,ar}$	MJ/kg	$q_{net,ar} \geq 16,9$	$q_{net,ar} \geq 16,9$	$q_{net,ar} \geq 15,1$
	kWh/kg	$q_{net,ar} \geq 4,7$	$q_{net,ar} \geq 4,7$	$q_{net,ar} \geq 4,2$

10. KASUTATUD KIRJANDUS

1. *Green Paper: Towards a European strategy for the security of energy supply.* COM(2000) 769: Brussels, p. 115.
2. *Energy and Transport in Figures.* 2004: Eurostat.
3. *Forest Resources of Europe; CIS, North America; Australia, Japan and New Zealand. Main Report.* UNESCO/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment. 2000, United Nations: New York and Geneva.
4. *Eurostat Yearbook 2004. The Statistical Guide to Europe. Data 1992 - 2002.* 2004, Luxembourg.
5. Hohle, E.E., ed. *Bioenergi.* 2001, Energigården: Brandbu, p. 390.
6. Alakangas, E. *Properties of fuels used in Finland.* 2000, VTT: Espoo, p. 172+17.
7. *prCEN/TS 14775: Solid Biofuels - Methods for determination of ash content.*
8. *CEN/TS 14774-1: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method.*
9. *CEN/TS 14774-2: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method.*
10. *CEN/TS 14774-3: Solid Biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample.*
11. *prCEN/TS 15148: Solid biofuels - Method for determination of the content of volatile matter.*
12. *CEN/TS 14918: Solid Biofuels - Methods for determination of calorific value.*
13. Nurmi, J. *Heating values of whole-tree biomass in young forests in Finland.* Acta Forestalia Fennica 236. 1993, Tampere, p. 27+3.
14. Nitschke, M. *Standard proposals. In Standardisation of Solid Biofuels - Tools for Trading.* 2005: Tallinn.
15. *prCEN/TS 15103: Solid Biofuels - Methods for determination of bulk density.*
16. *CEN/TS 14961: Solid Biofuels - Fuel Specification and Classes.* April 2005, p. 40.
17. *Fuel Quality Assurance, prCEN/TS 15234 - Solid biofuels, Working document N117. In Working document N117.* January 2005, p. 40.
18. Alakangas, E. *CEN Technical Specification for Solid Biofuels - Fuel Specification and Classes.* 2005, VTT, p. 12.
19. Alakangas, E. *Quality guidelines for fuel peat, in NORDTEST - Report.* 2005, VTT Processes.
20. Impola, R. *Puupolttoaineiden laatuohje.* In *FINBIO Julkaisuja* 5. 1998. 1998, VTT: Jyväskylä, p. 33.
21. *Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. In Technology Programme Report 6/2004.* 2004: Helsinki.
22. *Wood for Energy Production. Technology-Environment-Economy.* 2nd Edition ed. 1999.
23. *Production of forest chips in Finland., in OPET Report 6.* 2001, VTT Energy.
24. Uusitalo, J. *Metsäteknologian perusteet.* Metsälehti Kustannus, 2003.
25. *Nordic Treasure Hunt: Extracting Energy from Forest Residue.* 2000: Technical Research Centre of Finland (VTT).
26. *Grothantering.* SCA SKOG, 1990.
27. *Wood Fuel. Heat from the forest.* 1983, Domänverket och SSR: Stockholm.

28. Pottie, M., Guimier, D. *Preparation of Forest Biomass for Optimal Conversion*. 1985, Forest Engineering Research Institute of Canada, p. 112.
29. Junkkari OY. www.mako-junkkari.fi
30. Sivatec A/S. www.sivatec.com
31. Logset OY. www.logset.com
32. *Mobiler Holzhäcksler. Modul für Mengle-Fahrgestell*, Bauereihe 6000.
33. LHM Hakkuri OY. www.lhmhakkuri.com
34. Pinox OY. www.pinox.com
35. John Deere Forestry OY. www.deere.com/fi_FI/
36. Komatsu Forest OY. www.komatsuforest.com
37. *Metsänomistajan puunkorju*. In *Työtehoseuran Julkaisuja 307*. 1989, Vaasa OY.
38. Maaselän Kone OY. www.maaselankone.fi.
39. Posch GmbH. www.posch.com
40. Laitilan Tautarakenne OY. www.japa.fi
41. Saarman, E. *Puiduteadus*. 1998: OÜ Vali Press.
42. *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, ed. Sjaak van Loo, J.K. 2002: Twente University Press.
43. *Straw for Energy Production: Tecgnology - Environment - Economy*. 1998, The Centre of Biomass Technology, p. 52.
44. Klemetti, V., Scholz, A., Selin, P., Nyrönen, T. *Advantages of mole drainage in the peat harvesting fields during the first two experimental years*. In *Conference on Peat Production and Use, June 11 - 15. 1990. Jyväskylä, Finland*.
45. Lakso, E., Ihme, R., Heikkinen, K. *Development of methods for purification runoff water from peat production areas*. In *International Conference on Peat Production and Use, June 11 - 15. 1990. Jyväskylä, Finland*.
46. Varpu Savolainen, H.B. *Wood Fuels*. 2000, Jyväskylä, p. 192.
47. Senior, J. *Boiler Test Calculations*. 1989, London, p.140.
48. *Audit Procedures for Solid-Fuel-Fired Heating Plants*. 1997, MOTIVA, Ekono Energy, VTT Energy: Helsinki, p. 80.
49. Irak, A., Veide, H. *Aurukatlad*. 1952, Tallinn: ERK, 288 lk.
50. *Kotimaista polttoainetta käyttävien pienten kaukolämpöjärjestelmien suunnittelu ja toteutus*, in *KTM Energiaosasto, Sarja D:92*. 1986, EKONO OY: Helsinki, p. 173.
51. Stassen, H.E. *Small-Scale Biomass Gasifiers for Heat and Power: A Global Review*. 1995, World Bank Technical Paper No. 296. Energy series: Washington, p. 88.
52. Saviharju, K. *Combustion of Low Grade Fuels in Finland*. In *VTT Symposium 107: Low-grade fuels*. 1990, Technical Research Centre of Finland: Espoo, pp. 67 – 80.
53. Houmann Jakobsen, H., Helge, T. *Gasification breakthrough in biomass*. News from DBDH, 2005. 2/2005: p. 14 – 17.
54. Condens OY. www.condens.fi
55. *Energiesparend: Info-Mappe: O.Ö.ENERGIESPARVERBAND*.
56. Aagard Jensen, J.-O., Jakobsen, L.K. *DH production based on bio fuels*. News from DBDH. 2/2005: p. 11 – 13.
57. *Alle 10 MW:n biolämpölaitoksen suunniteluperiaattet*. 2001, OPET Finland, Elomatic: Jyväskylä.
58. *Energiabilanss 1993, 1994., 2003: Statistikaamet*.
59. *Tükkturba põletamine kivisöekateldes*. 1991: EV Riiklik Energiaamet, TTÜ STI, Eesti Innovatsioonifond, 24 lk.