Susmulkintojo medienos kuro naudotojo vadovas

SUSMULKINTOJO MEDIENOS KURO NAUDOTOJO VADOVAS

Šios knygos leidimą rėmė INTERREG Baltijos jūros regiono bendradarbiavimo programa

Ši knyga atspindi autorių požiūrį ir nuomonę. Programos vadovaujančioji institucija nėra atsakinga už tai, kaip ši informacija gali būti naudojama

Išversta iš *Wood Fuel User Manual,*
originalo kalba *Puitkütuste kasutaja käsiraamat*

Redaktorius (anglų ir estų k.)**:** Villu Vares
Redaktorius (lietuvių k.)**:** Albinas Tebėra

Teksto autoriai: Ülo Kask, Villu Vares, Marten Saareoks
Autoriai dėkoja Neeme Kärbo, Annika Urbas ir Martin Kikas už jų indėlį

Vertimas (estų–anglų k.) **ir kalbų redaktorius:** Multilingua Translation Agency
Vertimas (anglų–lietuvių k.): UAB „Skrivanek vertimų biuras“ ir Rita Verbylaitė

Maketas ir dizainas: Stella Adamson

Leidėjas: Tartu regioninė energetikos agentūra

www.trea.ee

Autorių teisės: kopijavimas visiškai ar iš dalies nekomerciniais, asmeniniais ar akademiniais tikslais leidžiamas nurodant šaltinį

ISBN 978-9955-887-39-3 (pdf)

Tartu regioninė energetikos agentūra

Ülo Kask, Villu Vares, Marten Saareoks

Susmulkintojo medienos kuro naudotojo vadovas

Redaktorius
(anglų ir estų k.) Villu Vares

Kaunas
2021

Įžanga

Mediena ilgą laiką buvo svarbiausias žmonijos atsinaujinantis energijos šaltinis, iš jos pagaminama apie 10 % pasaulinės energijos. Mediena yra pagrindinis energijos šaltinis daugiau nei dviem milijardams žmonių. Nors deginant medienos kurą į atmosferą išsiskiria anglies dioksidas, miškui augant jis sekvestruojamas – vienas kubinis metras medienos sukaupia vidutiniškai 800 kilogramų anglies dioksido. Todėl mediena laikoma atsinaujinančiu kuru, o medienos, kaip kuro naudojimas reiškia sumažėjusias šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.

Medienos kuro naudojimas padeda kovoti su klimato kaita, padidina energijos tiekimo saugumą ir užtikrina energetinį saugumą, o tai yra ES energetikos politikos tikslai. Tačiau mediena gali tik iš dalies prisidėti sprendžiant energetikos problemas, todėl reikia plėtoti kitas atsinaujinančios energijos technologijas ir efektyviai naudoti energiją (pvz., taupus energijos vartojimas aukštos energijos efektyvumo klasės pastatuose). Sąmoningas vartojimas ir tvarus miškų tvarkymas, apima subalansuotą miškų kirtimų apimties ir medienos prieaugio santykį, bei užtikrina būtiną medienos išteklių kaupimą ir ilgalaikį bei stabilų jų naudojimą.

Medienos kuro vartotojo vadove siekiama pateikti išsamią visos medienos žaliavos energijos vertės grandinės apžvalgą, pradedant medienos ištekliais ir baigiant įvairiais šildymo sprendimais, aplinkosaugos reikalavimais, ir sąnaudų bei efektyvumo skaičiavimais. Knygoje daugiausia dėmesio skiriama medienos kuro naudojimo plėtrai taip pat beatliekiam ir efektyvesniam naudojimui – siekiant, kad mums visiems pakaktų miško!

Šis medienos kuro vartotojo vadovas pirmiausia skirtas individualių ir įmonių pastatų valdymo profesionalams, kurie kasdieniniame darbe susiduria su pastatų, pastatų grupių ir mažų gyvenviečių šildymo sprendimų projektavimu, statyba ir eksploatavimu. Taip pat šis vadovas galėtų būti naudingas atsinaujinančios energijos, energijos tiekimo, ir planavimo ekspertams, konsultantams ir studentams.

Šį vadovą sudaro vienuolika skyrių ir priedai. Pirmajame knygos skyriuje pateikiama miškų išteklių ir jų naudojimo įvairiose Baltijos jūros regiono šalyse apžvalga. Kituose skyriuose daugiausia dėmesio skiriama medienos kuro klasifikacijai, jo savybėms, kokybės klasėms ir atitinkamiems standartams. Penktame skyriuje pateikiama kuro saugojimo apžvalga. Šeštajame ir septintajame skyriuose aprašomi medienos kuro degimo pagrindai ir skirtingos deginimo technologijos. Kituose skyriuose pateikiama šilumos tiekimo būdų, tokių kaip centralizuotas šildymas, vietinis šildymas, kambario šildymas ir kombinuotas šildymas bei energijos gamyba apžvalga. Paskutiniuose skyriuose pagrindinis dėmesys skiriamas šildymo sprendimų planavimui, aplinkosaugos reikalavimams, įrangos parinkimo metodologijai ir kaštų-naudos analizei.

Vadovą bendrai finansavo „Baltic ForBio“ (Miško bioenergijos gamybos spartinimas Baltijos jūros regione) projektas, finansuotas iš INTERREG Baltijos jūros regiono programos.

Martin Kikas
Tartu regioninės energetikos agentūros generalinis direktorius

Turinys

	Įžanga	3
	Turinys	5
1.	**Energetika ir miškininkystė**	9
1.1.	Mediena kaip energijos šaltinis	9
1.2.	Miško ištekliai, atsinaujinančios energijos gamyba ir ateities perspektyvos	9
2.	**Medienos panaudojimas kurui**	13
2.1.	Bendrosios žinios	13
2.2.	Biomasės klasifikacija	14
2.3.	Biomasės kuras – medienos biomasė – medienos kuras	14
2.3.1.	Bendrosios žinios	14
2.3.2.	Medienos sudėtis	14
2.3.3.	Medienos biomasės pasiskirstymas	15
2.4.	Medienos biomasės klasifikacija	18
2.5.	Medienos kuro tipai	20
2.6.	Medienos kuro matavimo ir apskaitos vienetai	21
3.	**Kietojo medienos kuro savybės**	24
3.1.	Drėgnis	24
3.2.	Džiovinimo įtaka medienos kurui	28
3.3.	Kuro kaloringumas ir energijos kiekis	30
3.4.	Kuro energijos kiekis (energijos tankis)	34
3.5.	Kuro mineralai, pelenai, peleningumas, pelenų lydymasis	35
3.6.	Lakiosius medžiagos, fiksuotoji anglis ir cheminė kuro sudėtis	39
3.7.	Kuro erdmetrinis tankis	41
4.	**Medienos kuro kokybės klasės, standartai**	44
5.	**Kuro laikymas ir paruošimas deginimui**	50
5.1.	Bendrosios žinios	50
5.2.	Savaiminis susmulkintojo medienos kuro užsidegimas	53
5.3.	Medienos nuostoliai	54
5.4.	Rąstinės medienosparuošimas laikymui	55
5.5.	Miško kuro laikymas	56
5.6.	Susmulkintojo miško kuro laikymo ir pristatymo metodai	58
6.	**Medienos kuro deginimo pagrindai**	59
6.1.	Degimo reakcijos	59
6.2.	Oro pertekliaus koeficientas	59
6.3.	Kuro degimas kūrykloje	60
6.4.	Degimo zonos ir pakopos	61
6.5.	Degimo nuostoliai ir degimo efektyvumas	64
6.6.	Degimo proceso pagerinimo galimybės	64

6.7. Degimo produktai, išlakos ir jų poveikis katilo veikimui 65
6.7.1. Bendroji dalis 65
6.7.2. Kietųjų dalelių išlakos 65
6.7.3. Galimi nuosėdų susidarymo ir aukštos temperatūros nulemtos korozijos keliamų problemų sprendimai 67
6.7.4. Dujų pavidalo išlakos 67

7. Deginimo technologijos ir įranga 69
7.1. Kuro sluoksnio deginimas 69
7.1.1. Kūryklos su stacionariaisiais ardynais 70
7.1.2. Kūryklos su judamaisiais ardynais 71
7.1.3. Kūrykla su grandininiu ardynu 72
7.2. Pulverizuoto kuro deginimas 73
7.3. Cikloninis deginimas 74
7.4. Deginimas verdančiajame sluoksnyje 75
7.5. Kietojo kuro gazifikacija 77
7.6. Kietojo kuro degikliai 80
7.7. Deginimo technologijoms tinkamos galios ribos 84

8. Šilumos tiekimo būdai ir naudojama įranga 85
8.1. Šilumos tiekimo būdai 85
8.2. Centralizuotas šildymas ir centrinės katilinės, jų bazinė įranga 85
8.2.1. Centralizuotų šildymo sistemų apibrėžtis 85
8.2.2. Trumpa istorinė centralizuoto šildymo raidos pasaulyje ir Estijoje apžvalga 85
8.2.3. Centralizuoto šildymo energijo šaltiniai 87
8.2.4. Centralizuoto šildymo katilinės ir jų bazinė įranga 87
8.2.5. Kombinuotieji centralizuoto šildymo šilumos šaltiniai 91
8.3. Vietinės centralizuoto šildymo katilinės ir įranga 93
8.3.1. Vietinės hibridinės šildymo sistemos, įranga ir technologijos 97
8.3.2. Patalpos šildymo sistemos ir įranga 99
8.4. Šilumos ir elektros energijos kogeneracija 102
8.4.1. Kogeneracija naudojant garų įrenginius 103
8.4.2. Kogeneraciniai blokai su organiniu šilumnešiu 106
8.4.3. Biomasės kogeneracinės jėgainės su dujų turbinomis ir vidaus degimo varikliais 109
8.4.4. Biomasę deginantys mikrokogeneraciniai blokai 112

9. Šildymo įrangos išlakos į aplinką 116
9.1. Šildymo įrangos poveikis aplinkai 116
9.2. Kietųjų dalelių ir dujų išlakos 117
9.2.1. Kietųjų dalelių išlakos 117
9.2.2. Dujų išlakos 117
9.3. Išlakų prevencijos galimybės 118

9.4. Teršalų išlakų ribinės vertės 119
9.5. Pelenų šalinimo ir dujų filtravimo įranga 120
10. Kietojo biokuro naudojimo centralizuoto ir vietinio šildymo sistemose planavimas ir įgyvendinimas 124
10.1. Būtinieji pradiniai duomenys projektuojant šilumos tiekimo sistemą 124
10.2. Apkrovos trukmės grafikas 124
10.3. Šilumos apkrovos analizė ir šilumos šaltinių pasirinkimas 126
10.3.1. Šilumos apkrovų savybės 126
10.3.2. Optimalios biokuro katilo galios nustatymas pagal apkrovos trukmės kreivę 127
10.4. Katilinės infrastruktūra 130
10.5. Investicijų į šilumos tiekimą ekonominio pagrįstumo vertinimas 131
10.5.1. Metinių fiksuotųjų kaštų skaičiavimas 131
10.5.2. Atsipirkimo laikotarpio metodas 131
10.5.3. Dabartinės grynosios vertės metodas 132
10.5.4. Vidinės grąžos normos (IRR) metodas 132
10.6. Šilumos gamybos kaštų analizė 133
10.6.1. Kuro kaštų skaičiavimas 133
10.6.2. Šilumos kainos priklausomybė nuo fiksuotųjų ir kintamųjų kaštų 134
10.7. Skirtingų atsinaujinančiųjų šilumos šaltinių derinimas centralizuoto šildymo sistemoje 135
10.8. Kiekiai, nusakantys centralizuoto šildymo sistemų eksploatavimą 137
11. Econominis kogeneracinių sistemų vertinimas 138
11.1. Kogeneracijos efektyvumas tiekiant šilumą 138
11.2. Energijos gamybos kainų pasiskirstymas šilumos ir elektros energijos kogeneracijos sistemoje 140
11.3. Kogeneracija šilumos tiekimo sistemoje su technologine šilumos apkrova 141
11.4. Kogeneracija centralizuoto šildymo sistemoje 141
12. Literatūra 145
13. Priedai 150
13.1. Units and Their Conversion 150
13.2. Standards for the Quality of Solid Biofuels, Fuel Sampling and Preparation, and the Classification and Classes of Different Biofuels 151

1. Energetika ir miškininkystė

1.1. Mediena kaip energijos šaltinis

Žmonės naudojo medieną kaip kurą tūkstančius metų. Deginant medieną išlaisvinta energija buvo naudojama šildymui, šviesai, maisto ruošai taip pat apsaugai nuo pavojingų gyvūnų ar kitų žmonių. Senais laikais, kai vienam žmogui tenkanti miškų išteklių dalis buvo žymiai didesnė nei dabar, nebuvo svarbu rūpintis efektyviu jų naudojimu – buvo laikoma, kad tikslinga deginti mišką, o jo užimamą žemę galima paversti dirbamais laukais. Deja, su tokia praktika vis dar susiduriama kai kuriose pasaulio dalyse. Tačiau išsivysčiusiose šalyse mediena tapo vertinga ir kiekvienas etapas pradedant nuo miško sodinimo iki jo naudojimo tampa vis efektyvesnis.

Nors mediena nebenaudojama tiesiogiai apšvietimui, medienos naudojimas šilumos gamybai vis dar svarbus daugelyje šalių, o energijos kogeneracija tampa vis labiau įprasta kaip kurianti pridėtinę vertę.

Mediena visada buvo laikoma atsinaujinančiu energijos šaltiniu, t. y. jos degimo proceso metu išsiskiriantis anglies dioksidas yra absorbuojamas fotosintezės metu, augant miškui. Neseniai pradėta diskutuoti, ar intensyvus medienos naudojimas yra naudingas CO_2 absorbavimui, ar paliktas augti brandus miškas tinkamu mastu absorbuoja anglį. Iškastinio kuro naudojimo mažinimas yra nepaprastai svarbus norint pažaboti klimato kaitą. Mediena, kaip atsinaujinantis energijos šaltinis (tvaraus miškų tvarkymo atveju), turėtų vaidinti svarbų vaidmenį šiame procese, o mediena, kaip energijos šaltinis, turėtų išlikti dar ilgą laiką.

Tačiau pagrindinė medienos vertė nėra jos panaudojimas energijos gamybai, iš tiesų tai mažiausios pridėtinės vertės gavimo būdas. Nors kai kurių medienos ruošos ir medienos apdirbimo pramonės sortimentų naudojimas kurui yra perspektyviausias, ekonomiškiausias ir ekologiškiausias jų naudojimo būdas. Žaliavinė mediena kiekvienu atveju turėtų būti naudojama kaip galima efektyviau. Tas pats pasakytina ir apie energetinę medieną, kurios vienas efektyviausių panaudojimo būdų yra deginimas kogeneracinėse jėgainėse.

Energijos tiekimo saugumo ir energetinio saugumo užtikrinimas, naudojant vietinius išteklius, bei energetinis efektyvumas, tvarus miškų naudojimas ir poveikio aplinkai mažinimas nuo žodžių ir tolimų pažadų vis labiau pereina prie kasdienio gyvenimo ir politikos sprendimų. Optimizuoti energijos gamybą ir naudojimą, sumažinti iškastinio kuro naudojimą ir pereiti prie atsinaujinančių energijos šaltinių yra tarptautinių susitarimų, taip pat ir aplinkos politikos susitarimų ES (įskaitant Estiją) klausimai.

Greta politinių susitarimų, paramos priemonių, bei atitinkamų taisyklių priėmimo, ekonominė nauda yra ekologiškesnės energijos gamybos katalizatorius. Aplinkosauginiai ir išteklių taupymo sprendimai eina koja kojon, nes efektyvesnis medienos kuro naudojimas taupantis išteklius taip pat užtikrina aplinkos apsaugą, todėl svarbu nuolat gerinti medienos kuro naudojimo efektyvumą.

1.2. Miško ištekliai, atsinaujinančios energijos gamyba ir ateities perspektyvos

37,9 % arba 160 milijonų hektarų **Europos Sąjungos** (ES 28) žemės ploto yra miško žemė. Eurostato duomenimis, apvaliosios medienos ruoša kasmet augo, ir 2018 m. siekė 501 milijoną kubinių metrų[1], tai yra 72 mln. kubinių metrų daugiau nei 2010 m. Labiausiai išaugo malkinės medienos ruošos apimtys (25 proc.), o absoliučiais skaičiais pjautinės medienos kiekis padidėjo iki 32 mln. m^3 (17 %) kertamo tūrio. Vertinant medienos tūrį ir prieaugį bei nustatant kirtimų apimtis, kirtimo tūris vaidina svarbų vaidmenį užtikrinant tvarų miškų

[1] Visi medienos tūriai kubiniais metrais pateikti kietmetriais, nebent nurodyta kitaip

valdymą. INTERREG Baltijos jūros programos projektas „Baltic ForBio“ šešioms dalyvaujančioms šalims sukūrė internetinę GIS platformą, kuri leidžia vartotojams įvertinti miškų ir energetinės medienos išteklių teritorinį pasiskirstymą.

Remiantis „EurObservER“ metiniu leidiniu „Solid Biomass Barometer“, pirminės energijos iš kietosios biomasės kiekis 2017 m. Europoje buvo 1101 TWh. Tais pačiais metais elektros energijos (bruto) buvo pagaminta 95 TWh, o šilumos – 929 TWh. Tais pačiais metais iš atsinaujinančių išteklių pagamintos energijos dalis nuo viso suvartojamos energijos kiekio Europos Sąjungoje (ES 28) sudarė 18 proc.; centralizuoto šilumos tiekimo ir vėsinimo srityje atsinaujinančios energijos dalis buvo 20 proc., o elektros energijos – 31 proc. Trumpa Baltic ForBio šalių miškų sektoriaus suvartojamos energijos apžvalga parengta remiantis Eurostato ir 2019 m. leidinio EU Energy in Figures, kietosios biomasės suvestinės parengtos „EurObservER“ ir INTERREG Baltijos jūros programos projekto Baltic ForBio parengtos apžvalgos duomenimis [1, 2, 3, 4, 5].

Daugiau nei pusė **Estijos** žemės ploto arba 51,4 % yra miško žemė; 2019 m. tai sudarė 2,33 milijonus hektarų. Estijoje vyrauja pušynai (31 proc.) ir beržynai (29 proc.). Pastaraisiais metais metinė kirtimų apimtis buvo nuo 10 iki 13 milijonų m^3. 2018 m. pramoninė mediena sudarė 7,4 mln. m^3, o malkinė mediena – 4,7 mln. m^3 metinio kirtimų tūrio. Didžioji energijai gaminti sunaudojamos medienos dalis gaunama iš plynų kirtimų. Medienos ruošos liekanų dalis iš atkuriamųjų kirtimų sudaro 15 proc., t. y., 1,3 mln. m^3 per metus.

Biomasė Estijoje, kur iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagamintos energijos suvartojimas sudaro 29,2 % nuo bendro energijos kiekio, yra labiausiai paplitusi atsinaujinančių išteklių rūšis, o pirminės energijos pagaminamas iš jos – 17,3 TWh, o tai sudarė daugiau nei 63 % visos atsinaujinančios energijos gamybos 2017 m. Estijoje daug centralizuoto šilumos tiekimo katilinių perėjo prie susmulkintojo medienos kuro katilų. Tai įvyko dėl investicijų subsidijavimo skatinant atsisakyti iškastinio kuro naudojimo. 2017 metais Estijoje šiluma, pagaminta iš atsinaujinančių energijos šaltinių, sudarė 52 % visos pagamintos šilumos.

Estijos nacionalinės energetikos tiksluose ir klimato plane numatyta 70 % sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą iki 2030 m., lyginant su 1990 m. Atsinaujinančios energijos dalis turi būti 50 % arba 16 TWh suvartojamos energijos, įskaitant 4,3 TWh iš atsinaujinančių išteklių pagamintos elektros energijos (2018 m. – 1,8 TWh), 11 TWh iš atsinaujinančių išteklių pagamintos šilumos (2018 m. – 9,5 TWh), ir 0,7 TWh iš atsinaujinančių išteklių pagaminto transporto kuro (2018 m. – 0,3 TWh). Taip pat Estijoje svarbu užtikrinti energetinį saugumą – kuo daugiau naudoti vietinio kuro. Pagrindinės priemonės energetiniam saugumui pasiekti apima tolesnę efektyvios kogeneracijos plėtrą, kai elektra ir šiluma gaminama kartu, bei šiluminės energijos plėtros valdymą. Miškininkystės plėtros plane teigiama, kad medienos, kaip atsinaujinančios žaliavos, naudojimui energijai gaminti yra teikiama pirmenybė prieš turtingesnius anglimi ir neatsinaujinančius energijos šaltinius.

Estijoje vis dar yra biomasės ir durpių kogeneracinių jėgainių potencialas miestuose ir mažesnėse gyvenvietėse. Nekokybiška mediena ir medienos pramonės liekanos vaidina svarbų vaidmenį tiek šilumos, tiek kombinuotoje šilumos ir elektros gamyboje.

Suomija yra šalis, pasižyminti didžiausiu miškingumu Europoje. 73,1 % žemės arba 22,2 milijono hektarų čia užima miškai. Vyraujanti medžių rūšis yra pušis, o pušynai sudaro 67 % viso miškų ploto. Po pušynų labiausiai paplitę eglynai ir beržynai, užimantys atitinkamai 22 ir 10 proc. miškų ploto [6]. Metinė kirtimų apimtis Suomijoje pastaraisiais metais buvo daugiau nei 60 mln. m^3, kuri 2018 metais padidėjo iki 68,3 mln. m^3. Kirtimų apimtis padidėjo dėl padidėjusios pramoninės medienos – pjautinųjų rąstų ir popierrąsčių ruošos. Malkinės medienos tūris bėgant metams išliko toks

pat, t. y. 7–8 mln. m³ per metus. Medienos ruošos liekanų potencialas yra nuo 4,0 iki 6,6 milijono m³, o kelmų – tarp 1,5 ir 2,5 mln. m³ per metus.

2017 m. Suomijoje iš medienos kuro iš viso buvo pagaminta 100 TWh energijos, kas sudarė 27 % visos suvartojamos energijos ir tris ketvirtadalius pagaminamos atsinaujinančios energijos. Dvidešimt milijonų m³ medienos panaudota Suomijoje šilumai ir elektrai gaminti. Tankiausiai apgyvendintos Suomijos gyvenvietės turi susmulkintąjį medienos kurą naudojančias kogeneracines jėgaines, o 41 proc. suvartojamos energijos (bendrosios) ir 55 proc. šildymui ir vėsinimui sunaudojamos energijos pagaminama iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Bendras energijos suvartojimas Suomijoje išliko toks pat kaip ir amžiaus pradžioje, tačiau kogeneracinė šilumos ir elektros energijos gamyba žymiai sumažėjo per paskutinius dešimt metų. Medienos kuro naudojimui įtakos turi ekonominė aplinka, prekyba teršalų emisijomis, iškastinio kuro konkurencija, padidėjęs energijos vartojimo efektyvumas bei neseniai buvusios švelnios žiemos. Dideliems investiciniams sprendimams priimti reikia ilgalaikio vyriausybės įsipareigojimo remti atsinaujinančius energijos šaltinius ir CO_2 emisijų prekybos politikos.

Savo veikla Suomija remia tvarų miškų valdymą ir naudojimą, ir vis didesnis dėmesys skiriamas biologinės įvairovės išsaugojimui. Tačiau medienos biomasė bus vertinama kaip sparčiausiai augantis atsinaujinantis energijos šaltinis per ateinančius dešimt metų. Kadangi medienos pramonės šalutiniai produktai Suomijoje pilnai sunaudojami, papildomas medienos kuro kiekis gali būti gaunamas tik iš susmulkintojo medienos kuro. Susmulkintojo medienos kuro vartojimo apimtys Suomijoje auga žymiai sparčiau, nei kertamos medienos tūris. Vietinio susmulkintojo medienos kuro naudojimo apimtys 2030 m. sieks 12,7–14,2 mln. m³, o tokį kiekį paruošti galima tik naudojant kirtimo liekanas ir kelmus. Pagal bazinį energetikos ir klimato strategijos scenarijų, kombinuota šilumos ir elektros gamyba 2030 m. bus 29 TWh, o tai atitiktų 14,5 mln. m³ susmulkintojo medienos kuro.

Miškai **Vokietijoje** užima beveik 33 % žemės ploto, o tai yra 11,4 milijono hektarų. Pagrindinės medžių rūšys Vokietijos miškuose yra eglė (26 %) ir pušis (23 %), po to seka bukas (16 %) ir ąžuolas (10 %) [7]. Medienos, naudojamos kurui, tūris per pastaruosius dvejus metus padvigubėjo, lyginant su praėjusiu dešimtmečiu. 2018 m. buvo sunaudota 21,9 mln. m³ susmulkintojo medienos kuro, kas kartu su padidėjusiais pjautinės medienos ir faneros kiekiais padidino miškų kirtimų apimtį nuo ankstesnio stabilaus 48–55 mln. m³ iki atitinkamai 66 ir 72 mln. m³ 2017 ir 2018 m.

Vokietija taip pat yra daugiausiai energijos suvartojanti ir atsinaujinančios energijos pagaminanti šalis Europos Sąjungoje, tačiau atsinaujinančios energijos dalis čia siekia tik 16 %. Kogeneracinių jėgainių, naudojančių biomasę, skaičius išaugo daugiau nei 14 kartų nuo šio amžiaus pradžios ir siekia daugiau nei 700 jėgainių. Pirminės energijos iš biomasės kiekis Vokietijoje 2017 m. buvo 139 TWh ir sudarė 7 % viso pirminės energijos tiekimo (TPES Total Primary Energy Supply).

Augant kirtimų apimtims Vokietijoje buvo daugiau investuojama į darnų miškų tvarkymą. Miškų tvarkymo plėtra (augimas ir kokybė) bei gamtos apsauga tapo viešojo intereso klausimas. Nacionalinė ir regioninė miškų politika orientuota į miškų apsaugą, miškininkystės pritaikymą klimato pokyčiams, ir gamtos apsaugą. Vyriausybė labai skatina susmulkintojo medienos kuro naudojimą namų ūkių šildymui. Nuo 2020 m. bus finansuojamos investicijos į modernias nedidelio masto šildymo sistemas, naudojančias medienos biomasę.

Vokietijoje planuojama, kad kirtimų apimtys ateityje mažės ir bus 23–35 mln. m³ per metus 2020–2050 m., iš jų medienos ruošos liekanos sudarys 5–12 milijonų m³.

Latvija turi didžiausią miškų ir miško žemės ploto dalį Baltijos šalyse, atitinkamai 54 proc. ir 3,36 mln. ha. Pušynai užima 29 % miško žemės, po jų – beržynai ir eglynai atitinkamai užimantys 28 proc. ir 17 proc.

ploto [8]. Latvijoje miškų kirtimų apimtys išlieka stabilios ir siekia 12–13 milijonų m³ per metus, juose didžiąją dalį, arba 10–11,5 mln. m³ sudaro pramoninių rąstų ruoša. Remiantis miškų inventorizacijos (2004–2008) duomenimis, teorinis medynų retinimų tūris yra 4,9 mln. m³ (4 cm skersmens ir storesnių medžių biomasė), iš jų 1,8 mln. m³ gali būti laikomi ekonomiškai tinkamais energijos gamybai.

Latvija turi trečią didžiausią atsinaujinančių energijos šaltinių dalį energijos gamyboje ES. 2017 m. iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminta energija sudarė 39 % visos suvartojamos energijos. Pirminės energijos iš biomasės kiekis buvo 23,7 TWh, o jos pagrindu pagaminta energija sudarė 55 % visos iš atsinaujinančių išteklių pagamintos energijos. 2017 m. Latvijoje buvo 204 kogeneracinės jėgainės, gaminančios šilumą bei elektrą, ir 24 % jų naudojo susmulkintąjį medienos kurą, kaip pagrindinę žaliavą energijos gamybai. Atsinaujinančios energijos dalis šilumos gamyboje buvo 55 %.

Latvija yra labai arti užsibrėžto tikslo – 40 proc. suvartojamos energijos, pagamintos iš atsinaujinančių išteklių iki 2020 m. Nacionalinis klimato ir energetikos planas numato pasiekti 50 % atsinaujinančios energijos dalį. Bazinis Nacionalinis energetikos ir klimato plano scenarijus numato iš biomasės pagaminamos energijos dalies padidėjimą 13 proc. iki 2030 m., lyginant su 2015 m. Siekiant įgyvendinti šį tikslą, buvo imtasi priemonių, skatinančių biomasės naudojimą elektros ir šilumos gamybai. Tuo pačiu Latvijoje neplanuojama padidinti biomasės ruošos.

Lietuvoje miško žemė sudaro 33,5 proc. šalies ploto. 2017 metais tai sudarė 2,19 milijono hektarų. Lietuvoje vyrauja pušynai (33 %), beržynai (21 proc.) ir eglynai (20 proc.). Metinės kirtimų apimtys, vidutiniškai 6,8 mln. m³, paskutinį dešimtmetį išliko stabilios. Maždaug 25–30 proc. ruošiamos žaliavinės medienos kiekio yra kelmai, medienos ruošos liekanos, jauni medžiai. Šiuo metu surenkama ir naudojama apie 15–20 % medienos ruošos liekanų. Iš metinio kirtimo kiekio malkos sudaro apie 1,8 mln. m³. Susmulkintojo medienos kuro potencialas iš miško – 2,5 mln. m³.

2017 m. iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminta energija sudarė beveik 26 % suvartojamos energijos Lietuvoje. 2016 m. Lietuvoje buvo 332 biokuro katilinės, kuriose sumontuotų katilų galia siekė 990 MW. Centralizuotas šildymas sudaro daugiau kaip 50 % suvartojamos šilumos. Pagrindinė priemonė, remianti elektros gamybą iš atsinaujinančių išteklių, yra fiksuotas tarifas, kuris pagrįstas įsipareigojimu pirkti atsinaujinančią elektros energiją fiksuota kaina. Lietuvoje skatinama iki 10 MW galios elektrinių, gaminančių elektrą iš vėjo, biomasės, saulės ar hidroenergijos, statyba.

Lietuvos nacionalinis tikslas yra iki 2025 m. gaminti mažiausiai 38 proc. arba 5 TWh elektros energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių, iš kurių mažiausiai 15 % sudarytų biokuras.

Švedijoje miško žemės dalis siekia 68,9 % (28.1 mln. ha), šalies teritorijos Pagal miškingumą – Švedija atsilieka nuo Suomijos, bet kartu šios šalys gerokai lenkia kitas ES valstybes. Absoliučiaisiais skaičiais Švedija yra miškingiausia šalis Europos Sąjungoje. Pagrindinės medžių rūšys čia – eglė ir pušis. Pastaraisiais metais metinė Švedijos kirtimų norma buvo 73–75 mln. m³. Maždaug 6–7 mln. m³ kertamos medienos yra malkinė mediena, o likusią lygiomis dalimis sudaro pjautinieji ir kiti rąstai bei popierąsčiai.

Bioenergija sudaro didžiausią suvartojamos energijos dalį Švedijoje, kur iš viso suvartojama 370 TWh energijos per metus. 2017 m. 111 TWh energijos buvo pagaminta iš kietosios biomasės, 19,5 TWh – iš susmulkintojo miško kuro, o dar 9,5 TWh energijos iš medienos kuro buvo sunaudota privačių namų (krosnių) šildymui. Panaudojamų medienos ruošos liekanų tūris 2020–2029 m. laikotarpiu Švedijoje gali būti padidintas nuo 8,5 TWh iki 29 TWh.

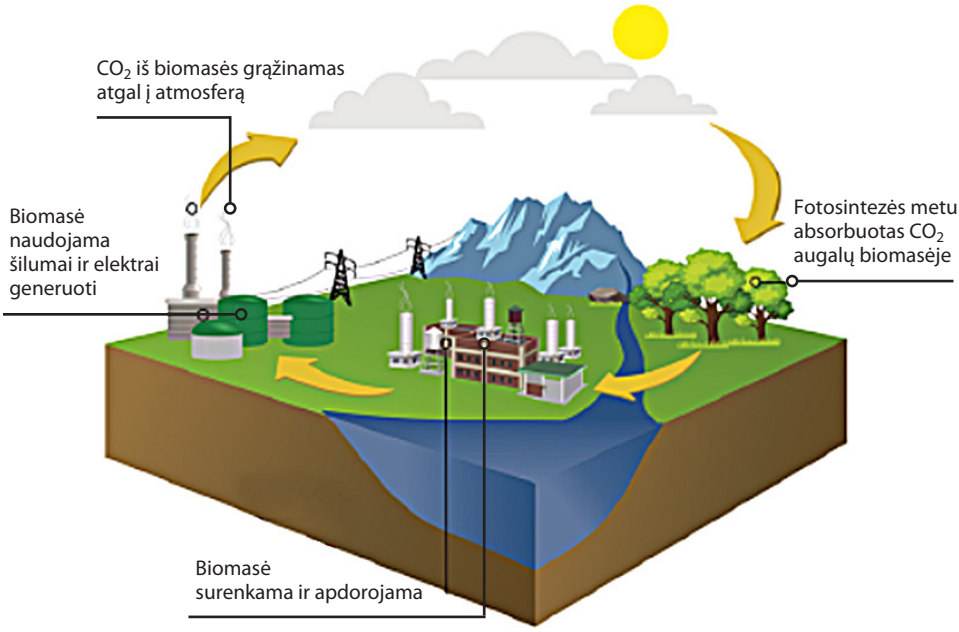
Įrengtų biokuro katilų galia Švedijoje yra 4,3 TW. Centralizuoto šilumos tiekimo potencialas Švedijoje yra beveik visiškai išnaudotas, bet čia vis dar yra galimybė statyti mažesnes vietines šildymo sistemas.

2. Medienos panaudojimas kurui

2.1. Bendrosios žinios

Biomasė yra viena iš svarbiausių atsinaujinančių energijos šaltinių pasaulyje ir apima visą sausumos ir vandens augmeniją bei visas organines liekanas. Žaliųjų augalų biomasė susidaro fotosintezės metu iš ore esančio anglies dioksido ir saulės šviesos energijos. Fotosintezei sunaudojama mažiau nei 1 % žemę pasiekiančios saulės šviesos energijos, kuri kaupiama kaip cheminė energija biomasėje. Biomasė visada buvo svarbus žmonijos energijos šaltinis, o jos dalis pasaulio energijos tiekime yra šiuo metu sudaro 10–14 %.

Kai biomasė chemiškai ar biologiškai skaidoma, jos cheminėse jungtyse sukaupta energija išlaisvinama, o kai tai vyksta esant deguonies – biomasėje esanti anglis oksiduojasi į CO_2 ir išsiskiria atgal į atmosferą. Šis procesas yra cikliškas, nes ore esantis CO_2 vėl naudojamas biomasės ruošai (2.1 pav.).



2.1 pav. Anglies ciklas auginant ir naudojant biomasę [9]

2.2. Biomasės klasifikacija

Biomasė yra ketvirtas pagal dydį energijos šaltinis pasaulyje po akmens anglies (įskaitant rudąją ir rusvąją anglį), naftos ir gamtinių dujų. Biomasę sudarančios medžiagos labai įvairios, todėl biomasę labai sunku apibūdinti kaip visumą.

Europos Sąjungos standartai CEN/TS 14961:2005 [10] hierarchiškai suskirsto biomasę pagal kietojo biokuro kilmę į:

- medienos biomasė,
- žolinė biomasė,
- vaisių biomasė,
- vandeninė biomasė,
- mišiniai.

2.3. Biomasės kuras – medienos biomasė – medienos kuras

2.3.1. Bendrosios žinios

Turtingose miškais šalyse, turinčiose miško pramonės tradicijas, medienos kuras kaip vyraujantis biomasės tipas buvo naudojamas šildymui ir maisto gaminimui šimtmečius. Dabar mediena vis rečiau ir rečiau naudojama naujiems gyvenamiesiems namams šildyti (privatiems namams), (ta pati tendencija stebima ir kitur Europoje). Pagrindinės to priežastys yra imli darbui malkų ruoša (gamyba ir deginimas) bei automatizacijos trūkumas.

Pastaraisiais dešimtmečiais atsirado nemažai vadinamojo „patobulinto medienos kuro“ – granulės (medienos granulės), medžio anglies ir pjuvenų briketai. Taip pat įdiegtos naujos technologijos ir efektyvi įranga jų deginimui. Naujos įrangos ir technologijų taikymas mažuose namuose leidžia drastiškai sumažinti išmetamų teršalų kiekį (kietosios dalelės, CO_2 ir kt.), kurie daug kur tampa vienais iš pagrindinių oro teršalų. Medienos kuro pramonės ir terminalų kūrimas sudaro galimybę sukurti daug darbo vietų, ypač kaimo vietovėse.

Parengiamasis medienos kuro terminalų, kurą deginančių įrenginių ir technologijų kūrimo darbas yra išsiaiškinti medienos kaip šildymo medžiagos savybes. Medienos savybės daro ją aplinkai nekenksmingu kuru ir ji yra naudojama Europos Sąjungos energetikos sistemoje tiek šilumos, tiek ir elektros gamybai.

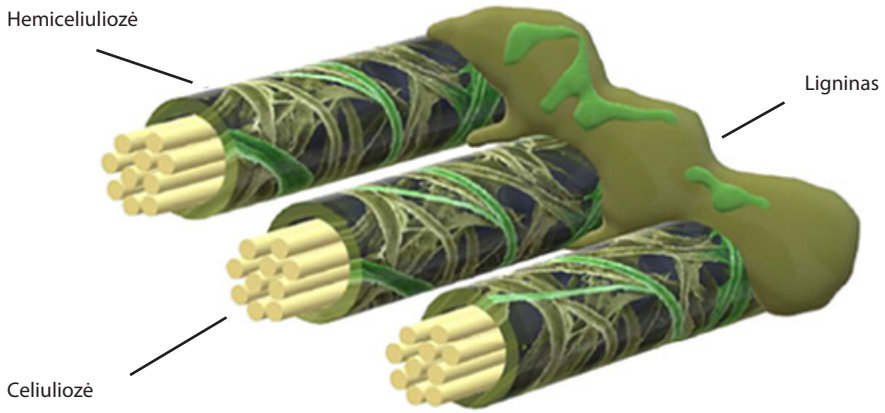
Dažniausiai medienos biomasė energijai gaminti gaunama iš šių keturių pagrindinių šaltinių:

- gamybos liekanos ir likučiai;
- nekomercinės medienos liekanos;
- medienos liekanos po vartojimo (t. wy. statybinė ir sugriovus pastatus likusi mediena);
- miesto, žemės ūkio ir sodininkystės liekanos (pvz., šakelės, krūmai).

Medienos biomasė šiuo metu yra svarbiausias atsinaujinančios energijos šaltinis pasaulyje. 2010 m. maždaug 30 EJ medienos biomasės visame pasaulyje panaudota energijai gauti, iš jų 16 EJ buvo sunaudota namų ūkiuose ir 14 EJ dideliuose pramoniniuose įrenginiuose [11].

2.3.2. Medienos sudėtis

Mediena, kaip lignoceliuliozinė medžiaga, yra pagrindinė kamieno ir šakų dalis sumedėjusiuose augaluose (medžiai, krūmai), kuri sudaryta iš sumedėjusių ląstelių. Medienos ląstelių sienelės daugiausiai sudarytos iš celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino (2.2 pav.). Ligninas suteikia medienai mechaninį stiprumą. Absoliučiai sausa pušies, eglės ir beržo medienos dalis turi 40–45 % celiuliozės ir 25–40 % hemiceliuliozės (2.3 pav., 2.1 lentelė). Lignino kiekis sausojoje spygliuočių medienoje yra 24–33 %, lapuočiuose – 16–25 %. Maždaug 40 % medienos kaloringumo priklauso nuo lignino kiekio medienoje.



2.2 pav. Lignoceliuliozinės biomasės struktūra (apima ir medienos biomasę) [9]

2.3.3. Medienos biomasės pasiskirstymas

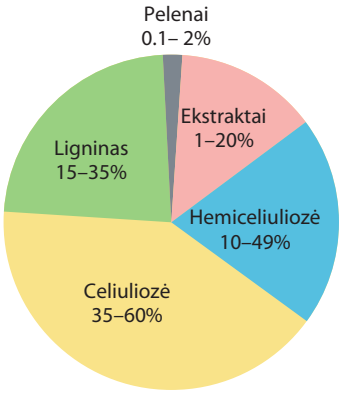
Augantį medį sudaro stiebas, šakos ir lapija. Gaminant kurą iš medienos biomasės, netikslinga jam naudoti kokybišką stiebo medieną, bet visų pirma reikia panaudoti medienos ruošos liekanas (šakas, viršūnes).

Apskaičiuota, kad antžeminė suaugusių spygliuočių biomasė susideda iš: 73 ± 10 % stiebo, 10 ± 5 % šakų, 5 ± 3 % žievės ir tiek pat (5 ± 3 %) spyglių biomasės. Naudinga lapuočių stiebų dalis paprastai yra apie 5 – 10 % mažesnė negu spygliuočių, nes daugelis lapuočių medžių turi šakotesnius stiebus (2.2 lentelė).

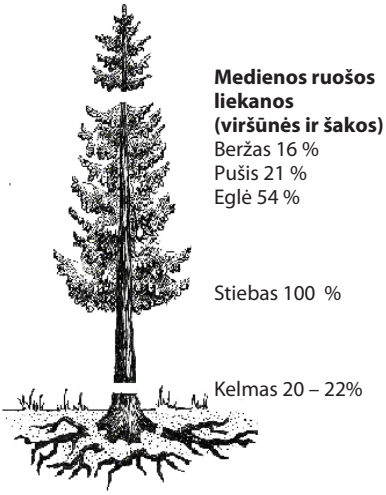
2.1 lentelė. Medienos sudėtis [13]

Medžiaga	Spygliuočiai	Lapuočiai
Celiuliozė	40–45 %	40–50 %
Hemiceliuliozė	24–37 %	22–40 %
Ligninas	25–30 %	20–25 %

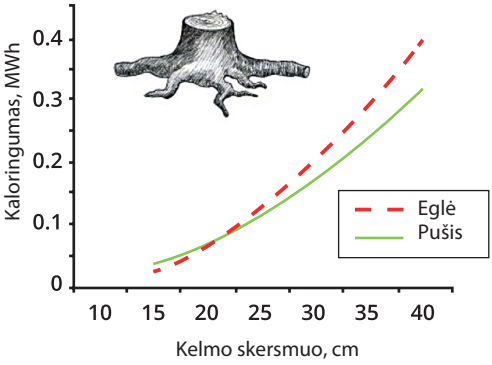
Skirtingų medžio dalių dydis priklauso ne tik nuo medžių rūšių, bet ir dėl medžio amžiaus bei metų laiko (vasara, žiema) (2.4 pav.). Kelmų sausosios medžiagos ir energijos kiekio priklausomybės nuo kelmo skersmens (pagal medžių rūšis) pateiktos 2.5 paveiksle. Jauni medžiai ir/ar plonos šakos turi daugiau žievės, palyginti su stambiu stiebu. Žiemą lapuočiai medžiai turi mažiau lapų (arba jų visai neturi) nei vasarą ir pan. Medžių, augančių skirtingomis sąlygomis, biomasės santykis gali skirtis ir dėl klimato zonos (2.4, 2.6 pav. ir 2.2 lentelė) [14].



2.3 pav. Medienos kuro sudėtis [12]



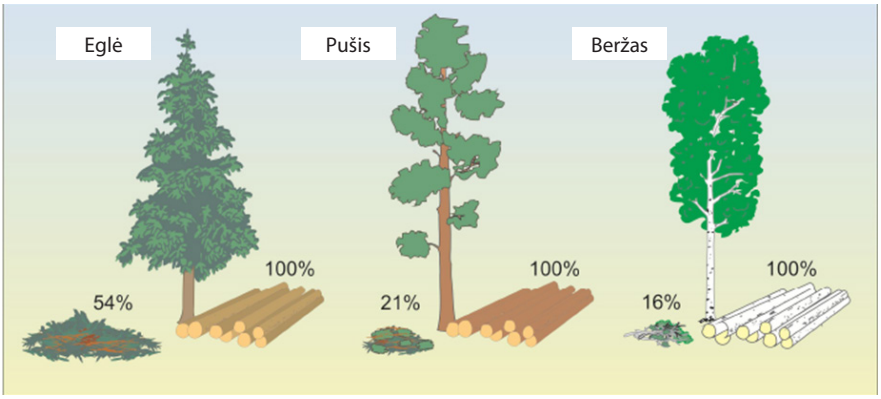
2.4 pav. Medienos biomasės pasiskirstymas [15]



2.5 pav. Kelmų sausosios medžiagos masės kaloringumo priklausomybė nuo kelmo skersmens [15]

2.2 lentelė. Pušų ir eglių medžių biomasės struktūra, %

Medžio dalis	Biomasės dalių pasiskirstymas, %			
	Pušis		Eglė	
Stiebas	100	69	100	59
Viršūnė, šakos	23	16	45	27
Kelmas, šaknys	22	15	24	14
Iš viso	145	100	169	100

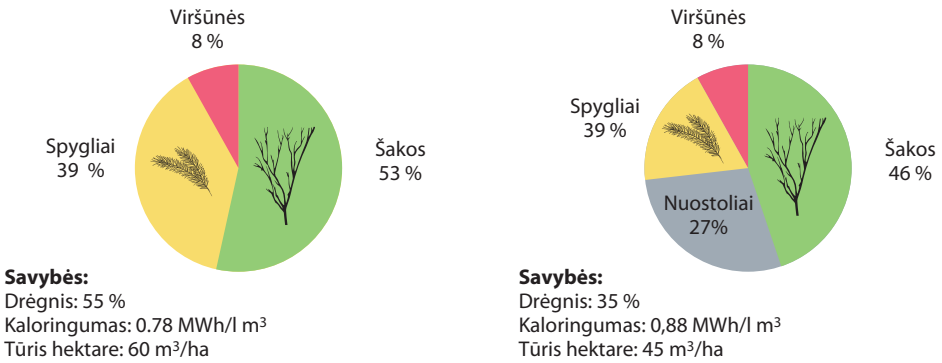


2.6 pav. Kertamų plynaisiais kirtimais medynų biomasės kiekis (viršūnių ir šakų svoris/stiebų svoris, %) [16]

2.3 lentelė. Lapuočių medžių dalių biomasė (t/10 m²) ir biomasės energijos kiekis (MWh/10 m²)

Rodiklis	Stiebo mediena	Stiebo žievė	Ūgliai	Šakos	Lapai	Šaknys	Iš viso
Biomasė, t/10 m²	38,47	6,30	0,26	10,23	3,74	24,62	**83,90**
Procentai, %	46,18	7,51	0,30	12,20	4,46	29,34	**100**
Biomasės energija, MWh/10 m²	203,24	33,18	1,39	54,66	20,38	128,26	**441,09**
Procentai, %	46,08	7,52	0,32	12,39	4,62	29,08	**100**

Eglyno biomasės pasiskirstymas pateiktas 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Eglyno kirtimo liekanų sudėtis (šviežia (tik ką paruošta) biomasė – kairėje pusėje, orasausė – dešinėje pusėje) [19]

Svarbiausios medienos ruošos liekanų savybės susmulkintąjam medienos kurui ruošti yra biomasės tankis, drėgnis, kaloringumas ir dalelių dydžio pasiskirstymas. Biomasės drėgnis lemia jos kaloringumą, nes vandeniui išgarinti reikia energijos. Kuo didesnis biomasės tankis ir kuo mažesnis susmulkintojo medienos kuro drėgnis, tuo daugiau energijos gaunama iš biomasės [16].

Augančiame medyje mineralai ir maistinės medžiagos, tai yra pelenų sudedamosios dalys. Vegetacijos metu jos pernešamos stiebo medienos išorine dalimi ir vidine žievės dalimi. Iš čia mineralai ir maistinės medžiagos yra perduodami per šakas ir ūglius žaliosioms medžio dalims – spygliams ir lapams, – kuriuose vyksta fotosintezė.

Tai paaiškina, kodėl išorinis stiebo medienos sluoksnis (balana) ir vidinis žievės sluoksnis (karniena) bei lapija turi didesnį pelenų kiekį nei, pavyzdžiui, vidinės medžio stiebo dalys (branduolys, šerdis). Tai taip pat būdinga smulkioms šakoms ir ūgliams. Šiose medžio dalyse didesnis ne tik pelenų, bet ir maistingųjų medžiagų kiekis. Iš maistingųjų medžiagų neigiamų problemų kelia azotas, nes jis skatina azoto oksidų susidarymą biomasės degimo metu.

2.4. Medienos biomasės klasifikacija

Medienos biomasė klasifikuojama pagal ISO standartą „Kietasis biokuras. Kuro specifikacijos ir klasės. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai (EN ISO 17225-1: 2014. Estų kalba: EN ISO 17225-1: 2014)“, o tipai yra tokie [20]

Miškai, plantacijos ir kita žaliavinė mediena

Mediena, priklausanti miškų, plantacijų ir kitai žaliavinės medienos grupei, gali būti apdorojama siekiant sumažinti dydį, nulupama žievė, išdžiovinama arba sudrėkinama. Šiai grupei priklausanti mediena apima medieną iš miškų, parkų, plantacijų ir trumpos apyvartos energetinių želdinių bei krūmynų ar menkaverčių medynų.

Šalutiniai medienos apdirbimo pramonės produktai ir liekanos

Šiai grupei priklauso medienos apdirbimo šalutiniai produktai ir liekanos. Šis biokuras gali būti chemiškai neapdorotas (pavyzdžiui: žievės lupimo, išilginio ar skersinio pjaustymo, medienos pelėsių bei puvinių apdorojimo ar medienos presavimo liekanos) arba liekanos nuo chemiškai apdorotos medienos, sluoksniuotosios medienos ir baldų (klijuota, dažyta, padengta, lakuota ar kitaip apdorota mediena), su sąlyga, kad joje nėra sunkiųjų metalų arba halogenintų organinių junginių, likusių nuo medienos apdorojimo konservantais ar dangomis.

Naudota mediena

Šiai grupei priklauso medienos liekanos iš vartotojų; natūrali arba šiek tiek mechaniškai apdorota mediena, kuri gali būti užteršta tik nereikšmingais medžiagų kiekiais, kurių paprastai nėra natūralioje medienoje (pavyzdžiui, paletės, transporto atramos, dėžės, pakuotės, kabelių ritės, statybinė mediena). Šiai grupei taikomi tie patys apribojimai kaip ir medienos apdirbimo šalutinių produktų ir liekanų grupei: t. y. medienoje nėra sunkiųjų metalų arba halogenintų organinių junginių, likusių nuo medienos apdorojimo konservantais ar dangomis.

Mišiniai

Terminas „*mišiniai*“ (2.4 lentelė) reiškia skirtingos kilmės kurą, priskiriamą skirtingoms klasifikacijos lentelės skiltims. Ši grupė apima medienos biomasės mišinius kaip 1.1–1.3 skiltyse (2.4 lentelė). Maišymas gali būti tyčinis arba netyčinis.

Antrojo lygmens klasifikacija (2.4 lentelė) apibūdina kurą iš skirtingų kilmės šaltinių grupės, kurios pirmiausia nustato, ar biomasė yra neperdirbta, šalutinis perdirbimo produktas, ar pramoninės liekanos.

Pastarosios grupės (2.4 lentelė) yra toliau skirstomos į pogrupius. Šios klasifikacijos tikslas yra suteikti galimybę atskirti ir esant poreikiui kuo išsamiau apibrėžti biokurui naudojamas medžiagas pagal jų kilmę.

2.4 lentelė. Medienos biomasės kilmė ir klasifikacija [20]

1.1. Miškai, plantacijos ir kita neapdirbta mediena	
I pogrupė	**II pogrupė**
1.1.1. Visas medis be šaknų	1.1.1.1. Lapuočiai 1.1.1.2. Spygliuočiai 1.1.1.3. Trumpos apyvartos želdiniai 1.1.1.4. Krūmai 1.1.1.5. Mišiniai
1.1.2. Visas medis su šaknimis	1.1.2.1. Lapuočiai 1.1.2.2. Spygliuočiai 1.1.2.3. Trumpos apyvartos želdiniai 1.1.2.4. Krūmai 1.1.2.5. Mišiniai
1.1.3. Stiebai	1.1.3.1. Lapuočiai su žieve 1.1.3.2. Spygliuočiai su žieve 1.1.3.3. Lapuočiai be žievės 1.1.3.4. Spygliuočiai be žievės 1.1.3.5. Mišiniai
1.1.4. Medienos ruošos liekanos	1.1.4.1. Žali/ką tik nukirst lapuočiai (su lapais) 1.1.4.2. Žali/ką tik nukirsti spygliuočiai (su spygliais) 1.1.4.3. Sandėliuoti lapuočiai 1.1.4.4. Sandėliuoti spygliuočiai 1.1.4.5. Mišiniai
1.1.5. Kelmai/šaknys	1.1.5.1. Lapuočiai 1.1.5.2. Spygliuočiai 1.1.5.3. Trumpos apyvartos želdiniai 1.1.5.4. Krūmai 1.1.5.5. Mišiniai
1.1.6. Žievė (iš medienos ruošos procesų)	
1.1.7. Išrūšiuota mediena iš sodų, parkų, kelių priežiūros, vynuogynų, vaisių sodų ir gėlame vandenyje plūduriavusi mediena	
1.1.8. Mišiniai	

1.2. Šalutiniai medienos apdirbimo pramonės produktai ir liekanos	
I pogrupė	**II pogrupė**
1.2.1. Chemiškai neapdorotos medienos pramonės šalutiniai produktai ir jų liekanos	1.2.1.1. Lapuočiai su žieve 1.2.1.2. Spygliuočiai su žieve 1.2.1.3. Lapuočiai be žievės 1.2.1.4. Spygliuočiai be žievės 1.2.1.5. Žievės (iš pramoninio apdirbimo procesų)
1.2.2. Chemiškai apdorotos medienos pramonės šalutiniai produktai ir jų liekanos, plaušai ir medienos sudedamosios dalys	1.2.2.1. Be žievės 1.2.2.2. Su žieve 1.2.2.3. Žievė (iš pramoninio apdirbimo operacijų) 1.2.2.4. Plaušai ir medienos sudedamosios dalys
1.2.3. Mišiniai	
1.3. Naudota mediena	
I pogrupė	**II pogrupė**
1.3.1. Chemiškai neapdorota naudota mediena	1.3.1.1. Be žievės 1.3.1.2. Su žieve 1.3.1.3. Žievė
1.3.2. Chemiškai apdorota naudota mediena	1.3.2.1. Be žievės 1.3.2.2. Su žieve 1.3.2.3. Žievė
1.3.3. Mišiniai	
1.4. Mišiniai	

2.5. Medienos kuro tipai

Daugumą iš biomasės pagamintų medžiagų, įskaitant medienos biomasę, prieš naudojant jas kaip biokurą, reikia apdoroti. Apdorojimas gali būti įvairus: nuo paprasto smulkinimo ir džiovinimo (rąstams) iki sudėtingesnių procesų, tokių kaip granuliavimas (mechaninis apdorojimas, presavimas).

Iš biomasės pagamintų žaliavų apdirbimo metodas yra svarbus, nes jis nustato galimą panaudojimą, taip pat deginimo būdo, kuro tiekimo ir sandėliavimo įrangos pasirinkimą. Dažniausiai naudojamas kietasis medienos kuras apibūdintas 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Pagrindinės kuro rūšys šildymo biomase projektuose

Kuro tipas	Panaudojimas
Apvalioji mediena	Dažniausiai naudojama mažose šildymo sistemose (<50 kW – nuo pavienių namų ūkių iki mažų pramoninių įrenginių), reikia kasdien kurti.
Susmulkintoji/presuota mediena	Įprastinis kuras, skirtas automatinėms medienos kuro sistemoms, kurių galia ne didesnė kaip 150 kW ar daugiau
Medienos granulės	Dažniausiai jos naudojamos mažų gyvenamųjų namų katilinėse ir mažose, mažesnėse nei 150 kW galios pramoninėse sistemose, kur didesnis granulių kaloringumas kompensuoja jų didesnę kainą, lyginant su susmulkintąja mediena. Medienos granulės taip pat naudojamos gana didelėse katilinėse iki 5 MW galios, taip pat dėl paramos atsinaujinančiai energijos gavybai kogeneracinėse jėgainėse ir kombinuotose deginančiose akmens anglį ir biomasę elektrinėse.
Medienos pramonės liekanos/pjuvenos	Kai kurie kurą deginantys įrenginiai skirti medienos pramonės šalutiniams produktams deginti (pvz., labai sausos baldų pramonės liekanos ir pjuvenos).
Energetiniai smulkiniai	Kai kuriuose medienos kuro katiluose galima sudeginti grūdų likučius (pvz., Sugedusias avižas ir išaižas) arba sumaišyti juos su medienos kuru.

Kietasis biokuras, įskaitant kietąjį medienos kurą, yra klasifikuojamas pagal komercines formas ir savybes. Kietasis biokuras yra parduodamas kelių skirtingų dydžių ir formų. Susmulkintojo medienos kuro gabalėlio dydis ir forma įtakoja tiek kuro tvarkymo būdo, tiek ir deginimo technologijos pasirinkimą. Medienos kuras paprastai yra tiekiamas tokiomis komercinėmis formomis kaip aprašyta standarte ([20], 4.1 lentelė).

2.6. Medienos kuro matavimo ir apskaitos vienetai

Medienos kuro kiekiams matuoti naudojami keli vienetai (pateikiami kartu ir jų angliški bei suomiški atitikmenys, nes šiomis kalbomis yra labai daug literatūros apie medienos kurą):

Kietasis kubinis metras arba kietmetris – ktm. ar m^3.

Erdvinis birus kubinis metras arba erdm. naudojamas susmulkintajam medienos kurui matuoti.

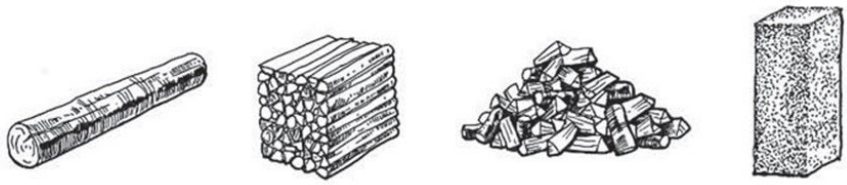
Erdvinis sukrautas kubinis metras – erdm., naudojamas žaliavinei medienai, sukrautai į rietuves ar krūvas, matuoti.

Medienos tūrio perskaičiavimo koeficientai tarp pateiktų matavimo vienetų pateikti 2.6 lentelėje. Šie koeficientai gali nebūti lygiai tokie patys įvairiose šalyse ir literatūros šaltiniuose, tačiau skirtumai yra tik kelių procentų ribose. Šie nuokrypiai nėra labai reikšmingi praktikoje. Perskaičiavimo koeficientai lentpjūvės liekanoms (medienos liekanoms) yra pateikti žemiau (2.7 lentelė).

Skirtingų medienos tūrių santykis kuro rūšims taip pat pavaizduotas 2.8 paveiksle [21].

2.6 lentelė. Apvaliosios medienos bei susmulkintojo medienos kuro tūrio perskaičiavimo koeficientai

Sortimentai	Apvalioji mediena	Vieno metro ilgio apvalioji mediena, sukrauta į rietuvę	Suskaldyta apvalioji mediena		Susmulkintasis medienos kuras	
			Sukrauta į rietuvę	Supilta į krūvą	Smulkus (G30)	Vidutinis (G30
	ktm. (m^3)	erdm.	erdm.	erdm.	erdm.	erdm.
1 kietmetris apvaliosios medienos m^3	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 erdmetris sukrautos į rietuvę vieno metro ilgio apvaliosios medienos	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 erdmetris sukrautos į rietuvę skaldytos apvaliosios medienos	0,85	1,2	1	1,7		
1 erdmetris supiltos į krūvą skaldytos apvaliosios medienos	0,5	0,7	0,6	1		
1 erdmetris supilto susmulkintojo medienos kuro (G30)	0,4	(0,55)			1	1,2
1 erdmetris supilto susmulkintojo medienos kuro (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1



1 kietmetris apvaliosios medienos – 1 ktm. 1 m^3 ≈ 1,4 erdm. vieno metro ilgio apvaliosios medienos gaminių, sukrautų į rietuvę ≈ 2 erdm. skaldytos medienos ≈ 3 erdm. supilto susmulkintojo medienos kuro (G50)

2.8 pav. Apvaliosios medienos tūrio perskaičiavimo koeficientai [21]

2.7 lentelė. Lentpjūvių liekanos ir liekanų perskaičiavimo koeficientai [21]

Sortimentas	Perskaičiavimo koeficientas	
1 erdm. atraižų ryšulys	= 0,65 ktm. (m^3)	Apvalioji mediena
1 erdm. supilto susmulkintojo kuro G50 (P50)	= 0,33 ktm. (m^3)	
1 erdm. supiltų smulkių pjuvenų (≤ 5 mm)	= 0,33 ktm. (m^3)	
1 erdm. supiltų obliavimo drožlių	= 0,20 ktm. (m^3)	
1 erdm. supiltos žievės	= 0,30 ktm. (m^3)	

Pastaba: G50 (P50) – pagrindinės frakcijos dalelių dydis patenka į intervalą 3,15 mm < P ≤ 50 mm.

3. Kietojo medienos kuro savybės

3.1 Drėgnis

Medienos drėgnis yra dviejų tipų: išorinis arba laisvai cirkuliuojantis ir vidinis arba higroskopinis. Išorinė drėgmė iš medienos pašalinama natūraliai džiovinant ore. Vidinė drėgmė visiškai pašalinama tik medieną džiovinant temperatūroje virš 100 °C. Vidinis medienos drėgnis sudaro apie 15 % medienos. Medienos kuro drėgmės kiekis gali labai skirtis. Šviežios (tik ką paruoštos) medienos drėgnis kinta nuo 40 iki 60 %.

Veiksniai, veikiantys medienos drėgmės kiekį yra metų laikas, medyno augavietės tipas, medžių amžius, medienos tipas. Santykinis kuro, paruošto iš baldų liekanų, drėgnis yra 8–12 %, o iš medienos ruošos liekanų – 45–55 %.

Natūraliai lauke išdžiovintos medienos drėgnis yra 20–25 %, o išdžiovintos po stogu – 15–20 %. Mažesniems medienos kuro katilams mediena prieš naudojimą paprastai džiovinama, o didesniems – ne. Drėgmės skirtumai skirtingose medžio dalyse pateikti 3.1 lentelėje, o skirtingo medienos kuro drėgmės duomenys – 3.2 lentelėje.

3.1 lentelė. Skirtingų medžio dalių drėgnis, M % [22]

Medžio dalis	Pušis	Eglė	Beržas	Alksnis	Drebulė
Stiebas	45–50	40–60	45 (35–50)	54	47
Šakos	50–60	42–46	41 (39–44)	57,4	45
Viršūnė	60	60			
Žievė					
Išorinė (žiauberis)			(15–20)		
Vidinė (karniena)			(50)		
Visas medis			47	55	48

3.2 lentelė. Santykinis medienos kuro rūšių drėgmės kiekis, M % [19]

Medienos kuras	Drėgmės kiekis, %
Apvalioji mediena, šviežia	45
Apvalioji mediena, laikyta rietuvėje vieną vasarą	25
Apvalioji mediena, laikyta rietuvėje dvi vasaras	20
Smulkus susmulkintatis medienos kuras, šviežias	50
Smulkus susmulkintasis medienos kuras, džiovintas natūraliai vienerius metus	25–30
Susmulkintasis medienos kuras iš medienos ruošos liekanų, šviežias, pušis	60

Medienos kuras	Drėgmės kiekis, %
Susmulkintasis medienos kuras iš medienos ruošos liekanų, šviežias, eglė	50–57
Susmulkintasis medienos kuras iš džiovintos medienos	35
Susmulkintasis medienos kuras iš karklų	35–40
Šviežios pjuvenos	50–55
Džiovintos medienos pjuvenos	5–15
Obliavimo drožlės, džiovintos natūraliai	15–20
Spygliuočių žievė, sausa	40–50
Spygliuočių žievė, šviežia	60–70
Lapuočių žievė, sausa	40–50
Lapuočių žievė, šviežia	–

Drėgmės kiekis turi įtakos ne tik medienos kuro kaloringumui, bet ir laikymo sąlygoms, kaitrumui (3.3 lentelė) bei dūmingumui. Drėgmės kiekį medienoje galima išreikšti natūraliu svoriu (t. y. į katilą patenkančio kuro masė) ir sausąja medienos mase. Mediena kartais skirstomas į tris kategorijas pagal jos drėgnį:

- orasausė mediena – 20 (25) % drėgmės,
- pusiau sausa mediena – 21–33 (26–50) % drėgmės,
- nedžiovinta mediena – daugiau kaip 33 (daugiau nei 50) % drėgmės,

kur pirmasis skaičius nurodo santykinį drėgmės kiekį kuro masėje, o antrasis (skliausteliuose) – sauso kuro masėje.

3.3 lentelė. Apvaliosios medienos drėgnio įtaka liepsnos temperatūrai [23]

Medienos kuro drėgnis, %	Liepsnos temperatūra užsidegimo fazėje, °C	Liepsnos temperatūra galutiniame degimo etape, kai krosnis karšta, °C
10	660	1010
15	640	990
20	610	960
25	580	930
30	550	900
35	520	870
40	490	840

Santykinis drėgnis pagal sausąją kuro masę (U) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$U = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \cdot 100 \qquad (3.1.)$$

Santykinis drėgnis pagal nedžiovinto kuro masę (M) apskaičiuojama pagal formulę:

$$M = \frac{M_1 - M_0}{M_1} \cdot 100, \qquad (3.2.)$$

Kur M_1 – drėgnos medienos (kuro) masė, kg,
M_0 – sausos medienos masė (medienos sausoji dalis), kg.

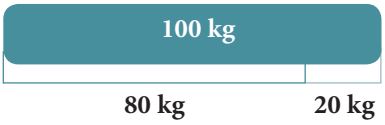
Iš pateiktų drėgnio terminų pirmasis (*U*) yra dažniau naudojamas medienos moksluose ir medienos apdirbimo pramonėje, o antrasis (M) dažniau sutinkamas celiuliozės ir popieriaus pramonėje.

Darant prielaidą, kad šviežiai susmulkintoje medienoje yra pusė vandens ir pusė medienos, medienos (kuro) santykinis drėgnis (*M*) yra 50 %, o santykinis drėgnis (*U*) – 100 % (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Medienos drėgnio (M) ir (U) perskaičiavimo koeficientai [24]

M, %	15	20	25	30	35	40	45	50	60
U, %	18	25	33	43	54	67	82	100	150
U, %	15	20	30	40	50	65	80	100	150
M, %	13,0	16,7	23,1	28,6	33,3	39,4	44,4	50,0	60,0

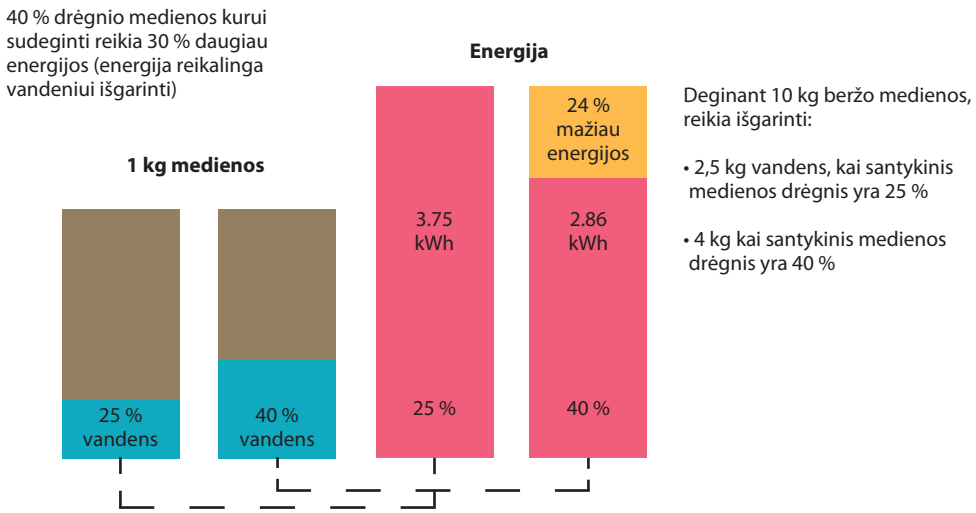
Toliau pateiktas praktinis medienos drėgnio apskaičiavimo pavyzdys, kur 100 kg medienos yra 20 kg vandens.



$$M = \left(\frac{20}{100}\right) \cdot 100 = 20\ \%$$

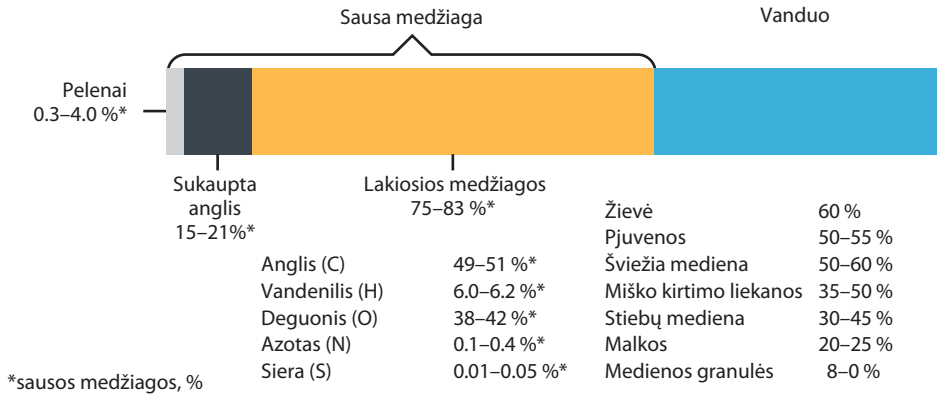
Drėgmė yra nepageidaujama medienos kuro dalis, kuri sukelia papildomų išlaidų tiek transportuojant, tiek ir sandėliuojant kurą. Žiemą drėgnas susmulkintasis medienos kuras gali sušalti ir gabenti jį iš sandėlio į katilinę gali būti sunku. Drėgmė sumažina kuro kaloringumą, padidina dūmingumą ir pakelia rasos taško temperatūrą. Kuo didesnė deginamo kuro drėgmė, tuo daugiau šilumos reikia jai išgarinti (3.1 pav.). Jei naudojamas iš katilo išeinančių dūmų kondensatorius, galima panaudoti dalį šilumos, sunaudotos drėgmei išgarinti (nukreipkite ją į vandens šildymą centralizuoto šilumos tiekimo tinklui arba iš anksto pašildykite katilo padavimo vandenį).

3.2 paveiksle medienos kuro drėgmės, lakiųjų medžiagų ir kietųjų medžiagų arba surištos anglies kiekiai yra pavaizduoti stulpeline diagrama.



3.1 pav. Malkų drėgnio įtaka gaunamam energijos kiekiui

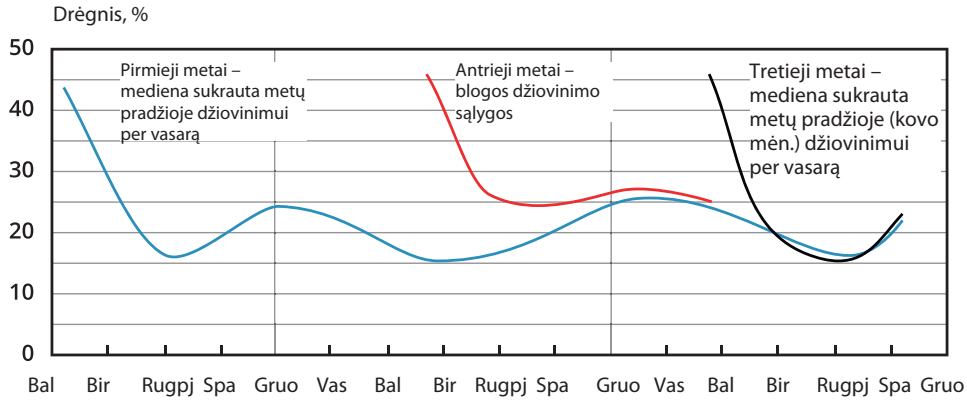
Norint išgarinti 1 kg vandens (nuo 0 °C iki 100 °C), reikia 2680 kJ arba 0,744 kWh, šilumos energijos, iš kurios ~ 85 % naudojama laisvai cirkuliuojančiam vandenui išgarinti, o 15 % – higroskopinei drėgmei pašildyta iki 100 ° C.



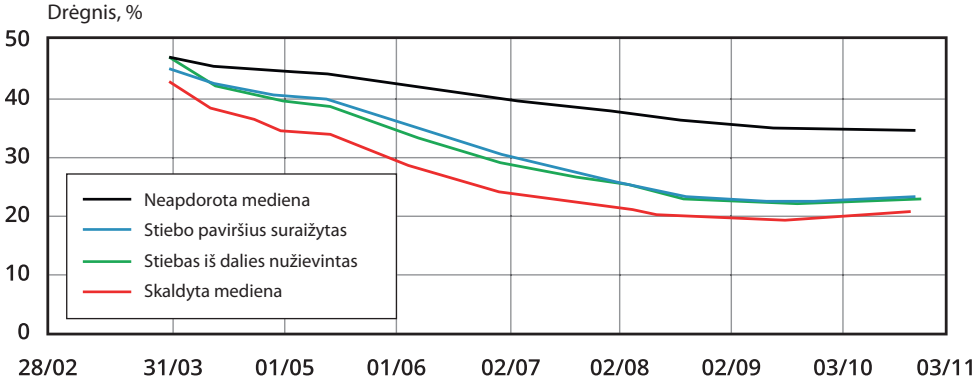
3.2 pav. Medienos sudėtis ir vidutinis skirtingo medienos kuro drėgnis [16]

3.2. Džiovinimo įtaka medienos kurui

Pjautinųjų ir susmulkintųjų rąstų džiovinimas priklauso nuo pradinio medienos drėgnio, jų laikymo vietos ir oro sąlygų. Svarbiausi klimato veiksniai medienos džiovinimui yra santykinis oro drėgnis, krituliai, temperatūra ir vėjas. Rąstai, pagaminti iš žaliavinės medienos, kurios drėgnis 40–50 %, normalią vasarą mažiausiai du mėnesius laikomi lauke po priedanga, vėjyje, gali išdžiūti iki 20–25 % drėgnio. Šviežiai pjauti rąstai džiūdami susitraukia 6–7 %. Nuodžiūvis prasideda tik drėgnio lygiui sumažėjus iki 23–25 %, t. y. kai pasiekiamas vadinamųjų medienos plaušų prisisotinimo drėgme taškas (kai nusistovi pastovus drėgmės lygis, atitinkantis džiovinimo sąlygas). Medienos sandėliavimas žiemą, pvz., pastogėje, nesumažina drėgmės kiekio medienoje, nes palankiausias džiovinimo laikas medienai yra šiltasis metų laikas, nuo balandžio iki rugsėjo pradžios (3.3 ir 3.4 pav.).



3.3 pav. Uždengtos apvaliosios ir skaldytos medienos džiovinimas ir sezoniniai jos drėgnio svyravimai [16]

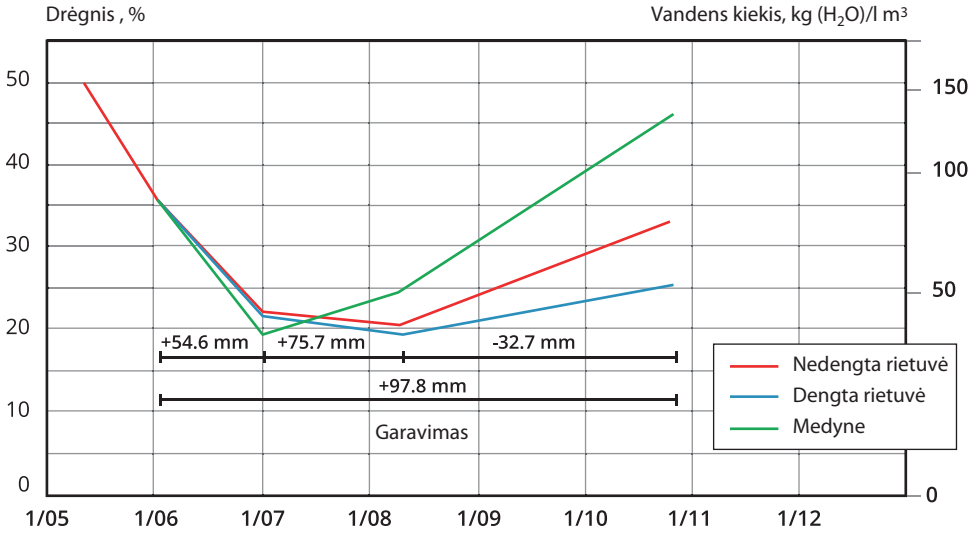


3.4. pav. Žievės suraižymo (nužievinimo) įtaka džiovinamai beržų apvaliajai medienai, sukrautai dengtoje rietuvėje (2007) [16]

Šviežių medienos ruošos liekanų drėgnis būna 50–60 %., o iš jų pagaminto susmulkintojo kuro – 25 – 65 %. Kuro drėgnis priklauso nuo tokių veiksnių kaip metų laikas ir laikymo sąlygos. Drėgnis vasarą gali būti mažesnis nei 30 %, jei susmulkintojo medienos kuro žaliava paliekama džiūti jos ruošos vietoje (kirtimo vietoje ar šalia jos). Tačiau taip pat susmulkintojo medienos kuro drėgnis gali būti iki 65 %, jei žiemą kuras susimaišo su sniegu ir ledu (3.5 pav.). Drėgnis reikšmingai įtakoja susmulkintojo medienos kuro šilumingumą. Praktiškai susmulkintojo medienos kuro, gauto iš medienos ruošos liekanų, šilumingumas yra 0,6–1,0 MWh / l m³ (2,16–3,6 GJ / l m³) [16].

Įprastai taikoma praktika dengti medienos ruošos liekanų rietuves (ilgos krūvos) specialia plėvele skirta būtent šiam tikslui. Ši danga apsaugo medienos ruošos liekanas nuo drėgmės, o tai reiškia, kad jų smulkinimas gali būti atliekamas net ir blogomis oro sąlygomis. Danga taip pat gali būti susmulkinama medienos smulkintuvu kartu su biokuru, kad nepalikti jos medienos ruošos liekanų sandėliavimo vietoje. 3.5 paveiksle pateikti VTT tyrimo rezultatai, rodantys medienos ruošos liekanų drėgnio pokyčius dengtoje ir nedengtoje rietuvėse. Medienos kuro drėgnis pateikiamas tiek procentine išraiška, tiek ir kilogramais (H_2O)/l m³. Remiantis tyrimo rezultatais, medienos ruošos liekanų drėgnis dengtose rietuvėse buvo 7–10 procentinių punktų mažesnis nei nedengtose rietuvėse. Remiantis šiais tyrimais, medienos ruošos liekanų džiūvimas efektyviausias buvo laikymo pradžioje, nes per pirmuosius du mėnesius jos prarado 14–20 proc. drėgmės. Garavimas per šį laikotarpį viršijo kritulių kiekį daugiau nei 100 mm. Drėgnis vėl pradėjo didėti spalio mėn. dėl didesnio kritulių kiekio (3.5 pav.) [16], [24].

Susmulkintasis medienos kuras neturėtų būti laikomas mažose (mažesnėse nei 200 m³) neuždengtose krūvose, išskyrus trumpus laiko tarpus, nes jis gali visiškai prisisotinti vandens dėl lietaus. Tačiau santykinai sausą (<30 %) susmulkintąjį medienos kurą dengtose krūvose galima laikyti visą šildymo laikotarpį [25].



3.5 pav. Medienos ruošos liekanų drėgnis dengtose ir nedengtose rietuvėse, laikomose kirtavietėse (linijinė diagrama rodo garavimo ir kritulių santykį, mm) [26]

3.3. Kuro kaloringumas ir energijos kiekis

Kuro kaloringumas – tai šilumos kiekis, išsiskiriantis iš anksto nustatytomis sąlygomis visiškai sudeginant vieną kuro vienetą. Kaloringumas išreiškiamas 1 kg kietojo kuro normaliomis degimo sąlygomis. Skiriamas bruto kaloringumas (q_{gr}, GCV) ir grynasis (neto) kaloringumas (q_{net}, NCV). Bruto kaloringumas taip pat apima vandens garų kondensacijos šilumą dūmuose [27].

Kadangi dūmų temperatūra kuro deginimo katile yra didesnė nei vandens garų, esančių dūmuose, kondensacijos temperatūra (rasos taškas), tad praktikoje dažniausiai vartojamas grynasis kaloringumas. Prietaisams, naudojantiems dūmų kondensatorius (šveitiklius), grynasis kaloringumas taip pat gali būti naudojamas apskaičiuojant prietaiso efektyvumą. Medienos, kaip mažai sieros turinčio kuro atveju, dūmų kondensavimo šilumos panaudojimas techniškai nesudėtingas. Šiandien dujų kondensatoriai yra įrengti beveik visuose centrinio šilumos tiekimo katiluose, kurių galia didesnė kaip 4 MW, ir naudojančiuose žalią susmulkintąjį medienos kurą.

Katilinėse degimo technologiniai sprendiniai itin priklauso nuo kuro drėgmės kiekio ir iš dalies nuo kurui gaminti naudotos medienos tipo. Mažose šildymo sistemose (pvz., privačių namų šildymo sistemos), miško kuro drėgmė neturi viršyti 25 proc. Jei drėgmės kiekis didesnis, degimo temperatūra nukris žemiau idealaus diapazono (3.3 lentelė), dėl ko padidėja šilumos nuostoliai ir emisijos, o tai gali pažeisti kaminus.

Degimo metu susidarantis vandens garų kiekis priklauso nuo drėgmės ir vandenilio kiekio kure. 1 kg vandens garų kondensacijos šiluma lygi 2,442 MJ esant 25 °C temperatūrai, o iš 1 kg vandenilio jam sudegus susidaro 8,94 kg vandens garų.

Miško kuro grynasis kaloringumas priklauso daugiausia nuo drėgmės ir pelenų kiekio bei gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$q_{net,ar} = q_{net,\,daf} - 21{,}4\ M_{ar}/100\ 18{,}9\ A_{ar}/100, \quad (3.3)$$

kur $q_{net,daf}$ – yra grynasis miško kuro kaloringumas, J/kg [16, 22]

M_{ar} – kuro drėgmės kiekis, %;

A_{ar} – kuro peleningumas, %.

Miško kuras susideda iš vadinamųjų balastinių medžiagų (drėgmė + pelenai) ir degių medžiagų.

Kaloringumas paprastai išreiškiamas MJ/kg arba kJ/kg, o kuro masė gali būti šlapia, sausa ar sausa be pelenų. Jei žinomas procentinis vandenilio kiekis sausame kure, H_d, tuomet galima apskaičiuoti sauso miško kuro grynąjį kaloringumą ($q_{net,\,d}$) naudojant grynąjį sausosios medžiagos kaloringumą ($q_{gr,\,d}$):

$$q_{net,d} = q_{gr,d} - 2{,}442 \cdot 8{,}94 \cdot H_d/100, \text{ MJ/kg} \quad (3.4)$$

Jei miško kuro kaloringumui apskaičiuoti naudojamas tik drėgmės kiekis, naudojama ši formulė:

$$q_{net,ar} = q_{net,d}\,(1 - M_{ar}/100) - 2{,}44 M_{ar}/100, \text{ MJ/kg}, \quad (3.5)$$

kur $q_{net,d}$ – sausos masės grynasis kaloringumas, MJ/kg (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. Vidutinis sausos masės skirtingų medžio dalių, masės kaloringumas, paskaičiuotas pagrindinėms Estijos medžių rūšims $q_{net,d}$, MJ/kg [14, 16]

Medžio rūšis	Stiebų mediena	Žievė	Visas kamienas	Viršūnės	Lapai, spygliai	Visas medis	Kelmai
Paprastoji pušis (*Pinus sylvestris*)	19,31	19,53	19,33	20,23	21,00	19,53	22,36
Paprastoji eglė (*Picea abies*)	19,05	18,80	19,02	19,77	19,22	19,29	19,18
Plaukuotasis beržas (*Betula pubescens*)	18,62	22,75	19,19	19,94	19,77	19,30	18,61
Karpotasis beržas (*Betula pendula*)	18,61	22,53	19,15	19,53	19,72	19,21	18,50
Baltalksnis (*Alnus incana*)	18,67	21,57	19,00	20,03	20,57	19,18	19,27
Juodalksnis (*Alnus glutinosa*)	18,89	21,44	19,31	19,37	20,08	19,31	18,91
Drebulė (*Populus tremula*)	18,67	18,57	18,65	18,61	19,18	18,65	18,32

Lentelėse (3.5 lentelė, 3.6 lentelė, 3.7 lentelė) pateikta miško kuro kaloringumas, miško kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės ir pelenų kiekio techniniams skaičiavimams. 3.3 lentelėje pateikti duomenys, kaip miško kuro drėgmės kiekis įtakoja liepsnos temperatūrą deginimo metu,

Didžiąją medžio antžeminės masės dalį sudaro lapai ar spygliai. Pagrindinių (atkuriamųjų) kirtimų biržėse pietų Suomijoje spygliai sudaro apie 26 % pušų svorio ir apie 39 % eglių svorio. Pušies sausos šakų masės be spyglių kaloringumas yra 20,09 MJ/kg, o eglės – 19,41 MJ/kg (žr. 3.1 lentelę). Grynasis spyglių sausos masės kaloringumas yra atitinkamai 21,04 ir 19,19 MJ/kg. Kitaip tariant, pušų spyglių kaloringumas yra didesnis už viršūnių dalies kaloringumą, tuo tarpu eglėms, skirtumas tarp spyglių kaloringumo lyginant su šakomis yra mažesnis. Todėl spyglių kritimas stipriau įtakoja vidutinį pušų kaloringumą lyginant su eglėmis. Daroma išvada, kad nors kirtimo liekanų grynasis kaloringumas mažėja dėl spyglių praradimo, puvinių ar ekstraktų išgavimo, vidutinis sausų medžiagų kaloringumas sandėliuojant išlieka nepakitęs, kaip ir anglies/vandenilio santykis. Todėl drėgmės kiekis yra vienintelis veiksnys, įtakojantis grynąjį kuro kaloringumą [16].

3.6 lentelė. Kai kurių miško kuro rūšių kaloringumas ir peleningumas [10, 24]

Parametras	Matavimo vienetas	Spygliuočių mediena		Lapuočių mediena	
		Tipinė vertė	Tipinis intervalas	Tipinė vertė	Tipinis intervalas
Pelenai, A_d	w – % *d*	0,3	0,2–0,5	0,3	0,2–0,5
Bruto kaloringumas, $q_{gr,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	20,5	20,2–20,8	20,2	19,5–20,4
Grynasis kaloringumas, $q_{net,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	19,2	18,8–19,8	19,0	18,5–19,2
		Spygliuočių žievė		**Lapuočių žievė**	
Pelenai, A_d	w – % *d*	4	2–6	5	2–10
Bruto kaloringumas, $q_{gr,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	21	20–23	21	20–23
Grynasis kaloringumas, $q_{net,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	20	19–21	20	19–21
		Spygliuočių miško liekanos		**Lapuočių miško liekanos**	
Pelenai, A_d	*w* – % *d*	2	1–4	1,5	0,8–3
Bruto kaloringumas, $q_{gr,daf}$	*MJ/kg*$_{daf}$	21	20,8–21,4	20	19,7–20,4
Grynasis kaloringumas, $q_{net,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	20	19,5–20,0	19	18,4–19,1
		Spygliuočiai		**Lapuočiai**	
Pelenai, A_d	w – % *d*	2,0	1,1–4,0	2,0	1,5–2,5
Bruto kaloringumas, $q_{gr,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	20,3	20,0–20,6	20,2	20,0–20,4
Grynasis kaloringumas, $q_{net,daf}$	MJ/kg$_{daf}$	18,8	18,4–19,2	18,8	18,6–19,1

Pastaba: w – % *d* yra procentinė sausos masės dalis; *daf* – (sausas be pelenų).

3.7 lentelė. Medienos energijos kiekio priklausomybė nuo kuro drėgmės ir pelenų kiekio [28]

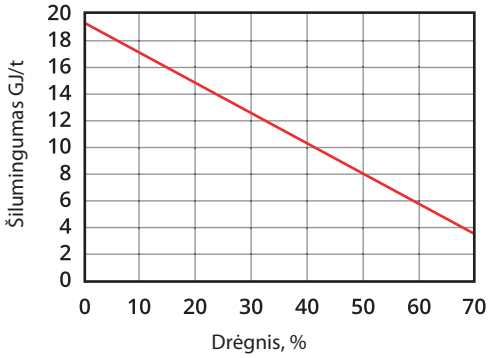
Drėgmės kiekis, M, %	Energijos kiekis E_{ar}, kWh/kg ($q_{net,daf}$ = 19,2 MJ/kg) pagal vartotojo medžiagos A_{ar}, % peleningumą				
	1	2	3	4	5
25	3,79	3,75	3,71	3,67	3,63
30	3,49	3,46	3,42	3,38	3,34
35	3,19	3,16	3,13	3,09	3,06
40	2,90	2,86	2,83	2,80	2,77
45	2,60	2,57	2,54	2,51	2,48
50	2,30	2,27	2,25	2,22	2,19
55	2,00	1,98	1,96	1,93	1,91
60	1,71	1,68	1,66	1,64	1,62
65	1,41	1,39	1,37	1,35	1,33
70	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05

Nors šilumingumas paprastai nustatomas ir pateikiamas normatyvuose naudojamos masės vienetui, kuro kaloringumą galima išreikšti katilo sunaudojamo kuro tūrio vienetui. Susmulkintos medienos atveju šis vienetas yra erdmetris arba kietmetris. Tam, kad šis rodiklis atitiktų masės vienetus, reikia žinoti kuro tankį ir svorį.

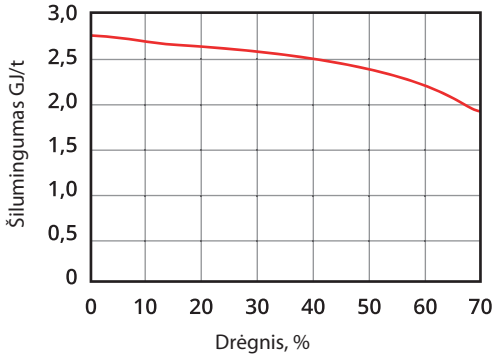
Kadangi paprastai šilumingumas nurodomas drėgno kuro masės vienetui, tai dėl kuro drėgnio svyravimų gali atsirasti reikšmingi šilumingumo netikslumai. Kita galimybė yra išreikšti šilumingumą sausos masės kilogramui. Esant tipiškam kuro drėgniui (iki 50 %), matavimo paklaida matuojant šilumingumą sausos kuro medžiagos masei yra ženkliai mažesnė (3.7 pav.), nei jį matuojant šiežio kuro masei (3.6 pav.).

Atsižvelgiant į tai, naudinga žinoti, kad sausos medžiagos kiekis medienos kietmetryje ir m^3 susmulkintojo miško kuro erdmetryje praktiškai nepriklauso nuo drėgmės kiekio. Taigi, matuojant kuro tūrį (pvz., susmulkintojo miško kuro), patenkantį į katilinę, ir žinant sausos kuro medžiagos tūrio vieneto šilumingumą, galima gana tiksliai apskaičiuoti energijos kiekį ir nėra jokio reikalo tiksliai nustatyti kuro drėgnį. Taigi, sverti gaunamą kurą ir tiksliai bei operatyviai nustatyti drėgmės kiekį nėra vienintelis būdas įvertinti kuro energijos kiekiui. Taigi, brangus svarstyklių įrengimas kuro sunkvežimiams sverti nebūtinai yra reikalingas siekiant tinkamai atsiskaityti su kuro tiekėjais.

Susmulkintojo kuro masės vieneto šilumingumo nustatymo tikslumas esant 35 % drėgniui su galima ± 5 % paklaida yra mažesnis nei 1,7 %, o to paties kuro masės vienetui – 9,24 % [14].



3.6 pav. Suvartojamo susmulkintojo kuro neto šilumingumo priklausomybė nuo jo drėgnio, M [29]



3.7 pav. Susmulkintojo kuro neto šilumingumo GJ/s m³ priklausomybė nuo drėgnio U (sausai medžiagos masei) [29]

3.4. Kuro energijos kiekis (energijos tankis)

Praktikoje MWh naudojamas kaip šilumos vienetas, tačiau energijos vienetas SI sistemoje yra džaulis (J) ir jo kartotiniai. Energijos vienetų perskaičiavimo instrukcijos pateiktos priede (13.1 ir 13.2 lentelės).

Mažiems šildymo įrenginiams (katilinėms) ir namų ūkiams kuras paprastai parduodamas pagal tūrį ir energijos kiekis (neto šilumingumas) išreiškiamas megavatvalandėmis (MWh) tūriui. Kuro tankis ir drėgnis arba matuojami, arba apskaičiuojami.

Kuro energijos tankį (kiekį) galima apskaičiuoti naudojant šią formulę:

$$E_{ar} = \frac{1}{3600} \cdot q_{net,ar} \cdot BD_{ar}\,, \qquad (3.6.)$$

čia: E_{ar} – medienos kuro (drėgno kuro) energijos tankis, (MWh/l m³);

$q_{net,ar}$ – kuro neto šilumingumas (pastovus dydis), MJ/kg;

BD_{ar} – gauto susmulkintojo kuro tankis (kg/l m³);

1/3600 – energijos vienetų perskaičiavimo iš megadžaulių (MJ) į megavatvalandes (MWh) koeficientas.

Gautas energijos tankio rezultatas suapvalinamas iki 0,01 MWh/l m³ erdmetrinio tūrio.

Kietmetriniam kuro tūriui naudojami energijos tankio vienetai yra: GJ/t, MWh/t, kWh/kg arba MWh/kg, o dujoms ar skystajam kurui naudojami energijos tankio (energijos kiekio kai kuriuose šaltiniuose) vienetai – MWh/m³ arba kWh/m³ (3.8 lentelė). Medienos kuro atveju taip pat dažnai naudojami MWh/ktm. arba MWh/erdm.

3.8 lentelėje, be drėgmės, atsižvelgta į pelenų kiekį kure, apskaičiuojant energijos tankį atsižvelgta ne tik į kuro drėgnį, bet ir į peleningumą.

3.8 lentelė. Kuro energijos tankis (energijos kiekis) ir tankis (1 MJ=0,278 kWh ir 1 GJ=277,8 kWh) [30]

Kuras	Energijos tankis masei, GJ/t	Energijos tankis masei, kWh/kg	Sukrauto kuro tankis, kg/erdm.	Energijos tankis tūriui, MJ/erdm.	Energijos tankis tūriui, kWh/erdm.
Susmulkintasis miško kuras (labai priklausantis nuo drėgmės kiekio)	7–15	2–4	175–350	2000–3600	600–1000
Apvalioji mediena (rietuvėse – orasausė, 20 % drėgnumo)	15	4,2	300–550	4500–8300	1300– 2300
Mediena (sausa)	18–21	5–5,8	450–800	8100–16 800	2300–4600
Medienos granulės	18	5	600–700	10 800–12 600	3000–3500
Kininis miskantas, supakuotas (25 % drėgnumo)	17	4,7	120–160	2000–2700	560–750
Anglis (nuo rusvosios iki antracito)	20–30	5,6–8,3	800–1000	16 000–33 000	4500–9100
Nafta	42	11,7	830	36 500	10 200
Gamtinės dujos (Rusiškos) bruto šilumingumas neto šilumingumas	 53 48	 14,9 13,4	0,7	 37,4 33,8	 10,4 9,4

3.5. Kuro mineralai, pelenai, peleningumas, pelenų lydymasis

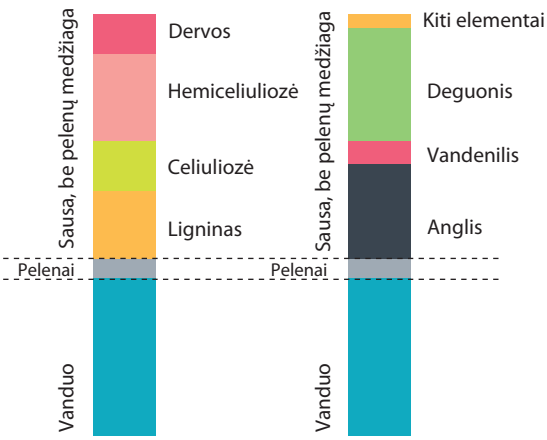
Kietasis kuras susideda iš degiųjų komponentų, mineralinių komponentų ir drėgmės (vandens) (3.8 pav.). Degioji kuro dalis savo ruožtu susideda iš organinių medžiagų (medienos atveju pvz., celiuliozės, hemiceliuliozės, lignino ir dervų) ir pirito sieros (medienoje jos nėra, bet čia randamas nedidelis organinės sieros kiekis organinėse molekulėse). Siera yra nepageidaujamas kuro komponentas, kenkiantis kuro deginimo įrenginiams ir išskirianti daug mažiau šilumos nei anglis. Kiti svarbūs medienos kuro elementai yra anglis, vandenilis ir deguonis (bei šiek tiek azoto) [27].

Lentelėje pateikta skirtingų biomasės rūšių cheminė sudėtis, taip pat drėgmės kiekis, pelenai, lakieji pelenai ir koksas (3.9 lentelė).

3.9 lentelė. Tipinė skirtingų biomasės rūšių cheminė sudėtis, lakiosios medžiagos, fiksuotosios anglies kiekis, drėgmės bei pelenų kiekis išreikštas procentais nuo masės [31]

Biomasės grupė	C*	O	H	S	N	VM	FC	M	A
Medienos fitomasė	49–57	32–45	5–10	≤1	≤1	30–80	6–25	5–63	1–8
Žolinė fitomasė	42–58	34 –49	3–9	≤1	<1–3	41–77	9–35	4–48	1–19
Vandens biomasė	27–43	34–46	4–6	1–3	1–3	42–53	22–33	8–14	11–38
Gyvūninės ir antropogeninės kilmės biomasės liekanos	57–61	21–25	7–8	1–2	1–2	43–62	12–13	3–9	23–34
Biomasės mišiniai	45–71	16–46	6–11	<1–2	<1–2	41–79	1–15	3–38	3–43

* Santrumpos: anglis (C), deguonis (O), vandenilis (H), azotas (N), lakiosios medžiagos (VM), fiksuotoji anglis ar koksas (FC), drėgmės kiekis (M), pelenai (A).



3.8 pav. Medienos kuro komponentai (kairėje) ir jo cheminė sudėtis (dešinėje) [32]

Mineralinę kuro dalį sudaro pirminiai mineraliniai junginiai, esantys kure (SiO_3, CaO, Al_2O_3 ir kt., 3.10 lentelė). Kuro degimo metu mineraliniai junginiai, išlaikydami savo formą, modifikuoti ar naujų mineralinių junginių forma, visiškai arba iš dalies patenka į pelenus [27]. Mineralinė kuro dalis dalinama į vidinę ir išorinę. Vidinei mineralinei daliai priskiriami junginiai, į sumedėjusius augalus patenkantys iš dirvožemio augalų augimo proceso metu, todėl, priklausomai nuo dirvožemio mineralinės sudėties, ši kuro dalis šiek tiek skiriasi. Išorinė mineralinė dalis į medieną patenka iš išorinės aplinkos, daugiausia kuro ruošos, gabenimo ir saugojimo metu. Medienos kuro deginimo įrenginių ilgaamžiškumas, jų valymo poreikis ir metodai bei aplinkos tarša priklauso nuo kuro mineralinės sudėties.

Pelenai yra kietosios kuro degimo liekanos, susidarančios daugiausiai iš mineralinės kuro dalies, tačiau dėl degimo metu vykstančių sudėtingų cheminių procesų gali patekti ir kai kurios organinės medžiagos. Todėl sudegus kurui liekančių pelenų nei kiekiu, nei sudėtimi negalima prilyginti mineraliniams kuro komponentams, nors ši klaida dažnai daroma [27]. Jei medienos kuras degimo metu negavo reikiamo oro kiekio (deguonies), dalis anglies liks nesudegusi ir gali tapti suodžiais, nusėdančiais ant katilo vidinių paviršių, kaminų ar liekančių pelenuose (pelenai tamsiai pilki ar net juodi).

3.10 lentelė. Cheminė, mineralinės medienos kuro dalies, sudėtis, % [22]

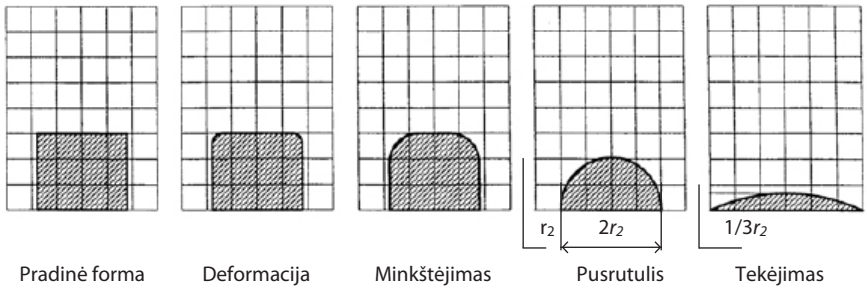
Junginys	Kiekis, %	Junginys	Kiekis, %
CaO	37–58	K_2O	3–29
P_2O_5	1–8	MgO	5–16
Fe_2O_3	1–5	SiO_2	3–22
Na_2O	0,5–3	SO_3	1–4

3.11 lentelė. Skirtingų medžių rūšių sausų pelenų kiekis A_d, % [22]

Medžio rūšis	Stiebas	Žievė	Šakos, šaknys
Pušis	0,2–0,7	1,4–2,2	0,3–0,7
Eglė	0,2	2,3	0,3–0,4
Beržas	0,2–0,4	2,4	0,3–0,6
Drebulė	0,2–0,3	2,7	0,3

Kuro mėginio **pelenų kiekis** nustatomas laboratorijoje deginant kurą. Pelenų kiekis ir savybės priklauso nuo degimo sąlygų (jos yra standartizuotos), bet ypač – nuo temperatūros. Dažniausiai medienos kuro mėginys sudeginamas mufelinėje krosnyje 550 ± 10 °C temperatūroje, o rezultatas išreiškiamas sausos medžiagos procentais (žr. 3.2 pav.). Peleningumo duomenys skirtingoms medžių rūšims ir medžių dalims pateikti 3.11 lentelėje.

Svarbus bet kurio kuro apibūdinimo rodiklis yra **pelenų lydymasis**. Pelenų lydymosi temperatūra nustatoma standartizuotu metodu, stebint pelenų mėginio geometrinius pokyčius kaitinimo terpėje. Tyrimo metu lydymosi temperatūra nustatoma pagal išorinę mėginio formos deformaciją (3.9 pav.). Lydymosi temperatūra priklauso nuo cheminės pelenų sudėties. SiO_2, CaO, Al_2O_3 ir geležies junginiai turi didžiausią įtaką pelenų lydymuisi [27].



3.9 pav. Tipiniai cilindrinės ar kubo formos mėginio pokyčiai, nustatant pelenų lydymosi charakteristikas [22]

Pelenų lydymasis apibūdinamas šiomis temperatūromis (lydymosi charakteristikomis), kurios medienos pelenų atveju, remiantis įvairiais literatūros šaltiniais, patenka į 3.12 lentelėje pateiktus diapazonus:

Deformacijos temperatūra (deformacijos pradžia – pirmieji mėginio lydymosi požymiai viršutinėje mėginio dalyje, daugiausia kraštų suapvalėjimas ar mėginio plėtimasis), tarptautinis simbolis DT = 1150–1490 °C,

minkštėjimo temperatūra (viršutiniai mėginio kraštai suapvalėję),
ST = 1180–1525 °C,

pusrutulio temperatūra (mėginys pasidaro pusrutulio formos, jo aukštis yra ½ pradinio skersmens),
HT = 1230–1650 °C,

tekėjimo temperatūra (t. y. temperatūra kuriai esant skysti pelenai pradeda tekėti),
FT = 1250–1650 °C.

3.12 lentelė. Vidutinės medienos pelenų lydymosi charakteristikos [33]

Kuras	Lydymosi charakteristikos, °C			
	DT	ST	HT	FT
Susmulkintasis viso medžio kuras, pušis	1210	1225	1250	1275
Susmulkintasis medienos ruošos liekanų kuras	1175	1205	1230	1250
Pjuvenos, pušis	1150	1180	1200	1225
Žievė, eglė	1405	1550	1650	1650
Žievė, pušis	1340	1525	1650	1650

Nors medienos kuro pelenų kiekis, kaip ir kitų kietojo biokuro rūšių, yra mažas (iki kelių procentų), jų lydymosi charakteristikos tiesiogiai veikia katilus. Besilydantys pelenai katiluose gali kauptis ant konvekcinių kaitinimo paviršių, taip katilų sienelės pasidengia šlakais ir kietomis nuosėdomis. Nors žievės pelenų minkštėjimo temperatūra yra aukšta (aukštesnė nei 1500 °C) ir ją deginant paprastai nesusidaro šlakai katile ir ant grotelių, daug žemesnė pjuvenų ir susmulkintojo medienos kuro pelenų minkštėjimo temperatūra reikalauja atidaus degimo proceso stebėjimo, siekiant užkirsti kelią šlakų susidarymui. Pelenų lydymasis priklauso nuo kuro mineralinės sudėties ir net maži sudėties skirtumai gali reikšmingai pakeisti lydymosi charakteristikas. Praktiškai neįmanoma patikimai nuspėti pelenų lydymosi temperatūros, remiantis kuro ir jo pelenų sudėtimi [14].

Ant grotelių esantys pelenai fiziškai kinta degimo metu: temperatūrai kylant pelenai minkštėja, iki visiškai sukimba. Naudojant kurą su žema pelenų lydymosi temperatūra, padidinama šlako susidarymo ant grotelių rizika. Ant krosnies grotelių susidarę šlakai (degimo likučiai) trukdo kuro degimui, nes neleidžia orui tolygiai pasiskirstyti ir patekti pro groteles. Tai gali sukelti grotelių metalo perkaitimą ir koroziją.

Tačiau šlako susidarymo problemas galima išspręsti, pavyzdžiui, aušinant groteles,

sutvarkant dujų cirkuliaciją, įrengiant automatines mechaniškai kaitinimo paviršius valančias sistemas ar naudojant kuro papildus, kai deginamas kuras su itin žema pelenų lydymosi temperatūra (pvz., avižų FT = 750 °C). Ca ir Mg papildai paprastai pakelia pelenų lydymosi temperatūrą. Grynos medienos ir žievės pelenų lydymosi temperatūra yra santykinai aukšta (1300–1400 °C), todėl deginant tokį kurą nėra pelenų lydymosi problemų. Tačiau žolinių augalų pelenų lydymosi temperatūra yra dažnai žemesnė nei 1000 °C, todėl deginant šį kurą gali susidaryti šlakas [24].

Taip pat reikia būti atsargiems deginant įvairius biokuro mišinius, ypač žolinių augalų (šiaudų, pievų žolės) fitomasę kartu ir medieną. Priešingai, deginant medienos ir durpių kuro mišinius (10–15 % durpių masės) dažnai padeda užkirsti kelią šlakų susidarymui katiluose.

Pelenus, susidarančius degimo metu katile galima suskirstyti į:

Dugninius pelenus (krosnies pelenus) – didelė šių pelenų dalis kaupiasi arba po grotelėmis, arba ertmėje katilo gale ir iš ten yra gabenami į surinkimo talpą sraigtiniu konvejeriu. Dugninių pelenų tankis yra 1,3 t/m^3.

Lakiuosius pelenus – tai pelenai, kurie susidaro krosnyje ir kartu su dūmais sulaikomi filtruose. Lakieji pelenai toliau gali būti skirstomi į ciklono pelenus, elektrostatinius nusodinamuosius arba filtro pelenus. Jų savybės ir sudėtis šiek tiek skiriasi. Lakiųjų pelenų tankis yra 0,8–0,9 t/m^3.

Dugninius pelenus (krosnies pelenus) iš švaraus medienos kuro leidžiama naudoti laukams tręšti. Lakiųjų pelenų naudojimas žemės ūkyje yra nerekomenduojamas dėl juose esamų sunkiųjų metalų (pvz., tai draudžiama Švedijoje).

3.6. Lakiosios medžiagos, fiksuotoji anglis ir cheminė kuro sudėtis

Kaitinant organiniai kietojo kuro junginiai, skyla į paprastesnius, t. y., vyksta terminis skaidymas, kurio metu dalis organinių junginių pereina į dujinę fazę. Ši dalis yra nepastovi, o atskiri lakiųjų dalių komponentai yra nepastovūs komponentai (3.9 lentelė ir 3.2 pav.). Svarbiausi lakieji junginiai yra angliavandeniliai. Sausosios liekanos, liekančios po terminio skaidymo, yra **fiksuotoji** arba **kietoji anglis**.

Vienas iš organinės kuro dalies šiluminio stabilumo rodiklių yra skilimo pradžios temperatūra, kuri yra nulemta kuro organinių medžiagų sudėties ir struktūros. Kuo kuro sudėtyje yra daugiau deguonies (bet ir kuo jaunesnis kuras), tuo žemesnė pradinė skilimo temperatūra. Mediena ir durpės yra jaunas ir daug deguonies turintis kuras. Jo pradinė terminio skilimo temperatūra yra 100–160 °C (mediena pasižymi žemesne skilimo temperatūra negu durpės). Kiekybiškai įvertinti lakiųjų kuro komponentų neįmanoma, nes jų kiekis priklauso nuo kaitinimo temperatūros, laiko ir vertinimo sąlygų. Ir kuro lakiųjų medžiagų, ir surištos anglies kiekiai yra išreiškiami kuro masės vienetams (kg/kg), rečiau – bendrajai viso kuro masei [27].

Medienos kuro cheminėje sudėtyje dominuoja trys pagrindiniai elementai: anglis (C), vandenilis (H) ir deguonis (O), kurie kartu sudaro apie 99 % sausosios kuro medžiagos (3.2 pav., 3.13 lentelė). Azoto (N) kiekis kure paprastai yra mažesnis nei 0,2 %, o sieros (S) – mažesnis kaip 0,05 % sausosios medžiagos kiekio. Sieros kiekis kure yra ypač svarbus apskaičiuojant jos emisijas, tačiau didesnis sieros kiekis kure taip pat gali turėti įtakos dūmų perėjų ir metalinių dūmtraukių *žemos temperatūros* korozijai. Kadangi chloras taip pat gali sukelti šildymo

katilų paviršių koroziją, svarbu žinoti jo kiekį kure. Chloro kiekis gali sukelti problemų, pavyzdžiui, deginant susmulkintąjį spygliuočių miško kurą, jei jame gausu spyglių.

Nors sunkiųjų metalų kiekis miško fitomasėje nėra pavojingai didelis, į jų kiekį taip pat reikia atsižvelgti esant griežtesniems aplinkosaugos reikalavimams (3.14 lentelė). Įvairiose medžių dalyse yra aptinkami nedideli nikelio, arseno, kadmio, chromo, vario, gyvsidabrio, švino ir cinko kiekiai [14].

3.13 ir 3.14 lentelėse pateikti mikro- ir makro- elementų kiekiai įvairių kuro rūšių ir skirtingų medžio dalių fitomasėje. Pavyzdžiui, sunkiųjų metalų kiekio analizės duomenys sausoje karklų medžiagoje, mg/kg: As <4, Cd 0,7–2,9, Cr <2,5, Cu 2,5–3,8, Pb <4, Zn 11–64 ir Ni <1,5 [34].

3.13 lentelė. Skirtingų medienos kuro rūšių cheminė sudėtis, % [33]

Miško kuras	Elementų kiekis sausoje masėje, %					
	C	H	N	O	S	Cl
Apvalioji mediena (popierrąsčiai)	48–50	6,0–6,5	0,5–2,3	38–42	0,05	<0,01
Susmulkintasis viso medžio kuras, pušis	51,8	6,1	0,3	41,2**	0,01	0,0042
Susmulkintosios medienos ruošos liekanos	51,3	6,1	0,4	40,8**	0,02	0,0076
Susmulkintasis spygliuočių miško kuras					0,02–0,045	0,011–0,031
Susmulkintasis lapuočių miško kuras					0,02–0,09	
Pušų medienos (be žievės) pjuvenos	51,0	6,0	0,08	42,8**	0	<0,0050
Karklai	49,7	6,1	0,4	42,6**	0,03–0,05	0,0037
Pušų žievė	52,5 54,5	5,7 5,9	0,4 0,3	39,7** 37,7**	0,03	0,0085
Eglių žievė*	49,9 50,6	5,9 5,9	0,4 0,5	41,4** 40,2	0,03	0,0279
Beržų žievė	56,6	6,8	0,8	34,2		

* Duomenys surinkti iš skirtingų šaltinių.

**Deguonis (O) yra apskaičiuotas kaip skirtumas (O = 100 – kiti elementai, %).

3.14 lentelė. Spygliuočių ir lapuočių įvairių medžių dalių fitomasės mineralinė sudėtis [33]

Medžio dalis	Makroelementai, %				Mikroelementai, mg/kg				
	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	B	Cu
Spygliuočiai									
Stiebas	0,01	0.06	0,12	0,02	147	41	13	3	2
Stiebo žievė	0,08	0,29	0,85	0,08	507	60	75	12	4
Šakos	0,04	0,18	0,34	0,05	251	101	44	7	4
Spygliai	0,16	0,60	0,50	0,09	748	94	75	9	6
Visas medis	0,03	0,15	0,28	0,05	296	85	30	6	4
Lapuočiai									
Stiebas	0,02	0,08	0,08	0,02	34	20	16	2	2
Stiebo žievė	0,09	0,37	0,85	0,07	190	191	131	17	13
Šakos	0,06	0,21	0,41	0,05	120	47	52	7	4
Lapai	0,21	1,17	1,10	0,19	867	135	269	21	10
Visas medis	0,05	0,21	0,25	0,04	83	27	39	6	5

3.7. Kuro erdmetrinis tankis

Tankis yra medienos kuro masės santykis su jo tūriu. Šis rodiklis kinta nuo 1050 iki 1350 kg/m³ egzotiniams medžiams, tačiau tipinėms Europos medžių rūšims yra ~ 400 kg/m³ spygliuočiams (pvz., eglėms ir pušims), apie ~ 800 kg/m³ lapuočiams medžiams (ąžuolui) ir iki 1200 kg/m³ medienos granulėms. Apvaliosios medienos tankis priklauso nuo medienos ypatumų, jos drėgnio bei išbrinkimo. Džiūvančios medienos tūris sumažėja 10–20 %, o drėkstant išbrinksta 0,1 % išilgai pluošto, 3–5 % skersine kryptimi ir 6–10 % tangentine kryptimi. Medienos kuro tankis turi didelę reikšmę jo sandėliavimui ir transportavimui.

Medienos tankiui apibūdinti naudojamos šios sąvokos:

- medienos tankis esant standartiniam drėgniui, t.y., 12 % – ρ_{12}, kg/m³,
- medienos ląstelių (medžiagos) tankis yra vienodas visoms medžių rūšims, jis lygus ρ = 1530 kg/m³,
- absoliučiai sausos medienos tankis – ρ_0, kg/m³,
- drėgnos medienos tankis ρ_{ar}, kg/m³.

Skirtingų rūšių medžių standartinio drėgnio ir visiškai sausos medienos tankiai pateikti 3.15 lentelėje, o kai kurių medžių rūšių žievės tankiai – 3.16 lentelėje.

3.15 lentelė. Skirtingų medžių rūšių apvaliosios medienos tankis, kg/m³ [22]

Medžių rūšis	ρ_0, (absoliučiai sausa mediena)	ρ_{12}, (standartinis medienos drėgnis)
Maumedis	630	660
Pušis	470	500
Ąžuolas	650	690
Klevas	650	690
Beržas	600	639
Alksnis	490	520
Drebulė	470	495
Liepa	470	495
Karklas	430	455
Kriaušė	670	710

3.16 lentelė. Kai kurių medžių rūšių žievės tankis, kg/m³ [22]

Medžių rūšis	ρ_0, (absoliučiai sasa mediena)	ρ_{12}, (standartinis žievės drėgnis)
Pušų žievė	652	680
Eglių žievė	715	730
Beržų žievė	736	745

Medienos kuro atveju taip pat turėtų būti nurodyta, ar pateiktas tankis reiškia atskirų medžio dalių tankį, ar kuro erdmetrinį tankį ir ar pateiktas sauso, ar drėgno kuro tankis.

Medienos kuro tankiui išreikšti gali būti naudojami skirtingi matavimo vienetai (kg/m³, kg/ktm., kg/erdm.).

Baziniu tankiu laikomas sausos medienos kuro masės jo tūrio (be oro tarpų) santykis, kg/m³, (kg/ktm.).

Erdmetrinis tankis – tai kietojo kuro masė, padalinta iš erdmetrinio tūrio, išmatuoto pagal ISO 1213-2: 2016). Jis naudojamas apvaliųjų ar skaldytų malkų bei susmulkintojo miško kuro tankiui apskaičiuoti, kai kuras sukrautas į rietuvę ar konteinerį, o tarp kuro sortimentų yra tarpai, kurie gali būti didesni ar mažesni, priklausomai nuo kuro sortimentų dydžio ir formos. Erdmetrinis tankis išreiškiamas arba kg/erdm. rietuvei ar krūvai priklausomai nuo to, ar kuras sukrautas į rietuvę, ar supiltas į krūvą (3.17 lentelė).

Kuro sortimentų tankis yra vieno kuro sortimento tankis (kg/m³).

Kuro sortimentų dydis ir forma turi didelę reikšmę jo erdmetriniam tankiui (3.10 pav.). Skaldytosios malkos (kairėje) ir susmulkintasis miško kuras (viduryje) yra panašaus erdmetrinio tankio, tuo tarpu granulių kuro tankis (dešinėje) dėl jo smulkumo ir vienodo dalelių dydžio yra didesnis.

3.10 pav. Skaldytosios malkos, susmulkintasis miško kuras ir medienos granulės [32]

3.17 lentelė. Kai kurių medžių rūšių medienos kuro apvaliųjų sortimentų, rietuvių ir krūvų tankiai [24]

Drėgnis, *M* %	Bukas			Ąžuolas			Eglė			Pušis		
	RWE kg/ ktm.	Fw kg/ erdm.	Cw kg/ erdm.	RWE kg/ ktm.	Fw kg/ erdm.	Cw kg/ erdm.	RWE kg/ ktm.	Fw kg/ erdm.	Cw kg/ erdm.	RWE kg/ ktm.	Fw kg/ erdm.	Cw kg/ erdm.
Masės ar erdmetrinis tankis, kg tūrio vienetui												
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	472	304	194	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	578	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1117	694	454	1159	720	477	758	489	312	861	556	354

Laikoma, kad 1 m³ (ktm.) apvaliosios medienos yra lygu 2,43 erdm. susmulkintojo miško kuro – (0,41 ktm./erdm.)

Paaiškinimas: RWE – apvalieji sortimentai; Fw – skaldytosios malkos (33 cm ilgio, sukrautos į rietuves); Cw – susmulkintasis miško kuras (supiltas į krūvas ar konteinerius).

Jei į katilinę tiekiamo kuro kiekiai nustatomi vertinat erdmetrinį kuro tūrį, tikslinga nustatyti jo tūrį pagal konteinerio tūrį ir keliamąją galią prieš iškraunant. Reikėtų pažymėti, kad kuro tankis transportavimo metu gali šiek tiek padidėti, t. y., kuro tankis kraunant kurą į skiedrovežio konteinerį yra šiek tiek mažesnis nei atvežus į katilinę. Medienos ir susmulkintojo miško kuro kiekiai paprastai nurodomi kietmetriais (s m³). Kietmetrių m³ ir erdmetrių m³ santykis pateiktas lentelėje (3.17 lentelė), jis apskaičiuotas pagal 0,41 ktm./erdm., tačiau šis santykis yra apytikslis ir šiek tiek kinta.

4. Medienos kuro kokybės klasės, standartai

Europos standartizacijos komitetas (CEN) organizuoja kietojo biokuro (įskaitant medienos kurą) techninių specifikacijų kūrimą ir tobulinimą. Techninės sąlygos aprėpia:

- terminologiją ir apibrėžimus;
- kuro kokybės klases ir technines sąlygas;
- kuro mėginių ėmimą;
- mechaninių, fizinių ir cheminių savybių nustatymą.

Poreikis nustatyti technines sąlygas kyla dėl plataus kietojo biokuro naudojimo ir dėl tarptautinės prekybos dideliu kietojo biokuro rūšių skaičiumi (pvz., granulės). Kuro kokybės klasės palengvina pirkėjo ir pardavėjo bendravimą, nes abi šalys turi naudoti tuos pačius terminus, apibrėžtus techninėse specifikacijose, ir nurodyti visas reikalingas kuro charakteristikas.

Praktikoje katilinėse naudojamas labai įvairus miško kuro pagrindu paruoštas kuras. **Medienos fitomasė** yra fitomasė iš medžių ar krūmų, kuri gali būti gaunama tiesiogiai iš miško ar plantacijos (vadinamojo energetinio miško), arba medienos apdirbimo pramonės liekanos, arba jau naudotų medienos gaminių fitomasė ir kt.

Medienos kuras gali būti chemiškai apdorotas ir turėti priemaišų ir cheminių medžiagų, kurios gali paveikti jo naudojimą. Naudotos medienos priemaišų pavyzdžiai yra vinys, elektros laidų metalas, dervos ir klijai (nugriautų pastatų mediena), dervos ir klijai medienos apdirbimo pramonės liekanose ir kt. Tokių priemaišų sudėtis ir kiekis turi būti klasifikuojamas ypač tiksliai dėl poveikio aplinkai.

Medienos kuras gaminamas, parduodamas ir naudojamas įvairiausiomis komercinėmis formomis, kurių tipiniai pavyzdžiai pateikti 4.1 lentelėje.

Priklausomai nuo medienos kuro rūšies, jam klasifikuoti naudojami dviejų kategorijų rodikliai:

- norminiai arba privalomi rodikliai;
- informaciniai rodikliai, kurių teikimas yra pageidautinas, bet neprivalomas.

Kurą apibūdinantys rodikliai (norminiai arba informaciniai) gali būti [14]:

- kuro kilmė ir šaltinis;
- komercinė kuro forma (4.1 lentelė);
- kuro drėgnis (M_{ar});
- kuro peleningumas (A);
- kuro dalių dydžio pasiskirstymas (P);
- kuro dalių tankis (DE);
- kuro erdmetrinis tankis (BD);
- mechaninis granulių stabilumas (DU);
- anglies (C), vandenilio (H) ir azoto (N) kiekis kure;
- vandenyje tirpaus chloro (Cl), natrio (Na) ir kalio (K) kiekis;
- bendras sieros (S) ir chloro (Cl) kiekis;
- cheminių elementų kiekis (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Na ir Ti). Ši grupė apima tuos cheminius elementus, kurių kiekis paprastai viršija tam tikrą minimalų lygį;
- mikroelementų kiekis (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V ir Zn). Šių cheminių elementų kiekis yra labai mažas, tačiau jų kiekį gali reikėti nustatyti dėl aplinkos apsaugos reikalavimų.

Medienos kuras parduodamas skirtingų sortimentų frakcijų ir formų. Kuro sortimentų dydis ir forma turi įtakos tiek kuro tvarkymui, tiek ir degimo savybėms.

4.1 lentelė. Tipiniai medienos kuro komercinių formų pavyzdžiai [20]

Kuro pavadinimas	Sortimentų dydis	Dažniausiai taikomas ruošos būdas
Visas medis	>500 mm	Neapdorotas arba nugenimas
Susmulkintasis miško kuras	Nuo 5 mm iki 100 mm	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Traiškytasis kuras	Įvairus	Susmulkinamas bukais įrankiais
Stiebų mediena	>100 cm	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Apvalioji mediena	Nuo 50 cm iki 100 cm	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Malkos	Nuo 5 cm iki 100 cm	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Nuopjovos	Įvairus	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Žievės	Įvairus	Medžio nužievinimo liekanos (susmulkintos arba ne)
Surišti ryšuliai	Įvairus	Sudėti išilgai ir surišti
Medienos dulkės	<1 mm	Malama
Pjuvenos	Nuo 1 mm iki 5 mm	Susmulkinamas aštriais įrankiais
Obliavimo skiedros	Nuo 1 mm iki 30 mm	Obliuojama
Briketai	Ø > 25 mm	Mechaniškai presuojami
Granulės	Ø ≤ 25 mm	Mechaniškai presuojami
Presuoti ryšuliai		
Maži kvadratiniai ryšuliai	0,1 m^3	Presuojami į kvadratinius ryšulius
Dideli kvadratiniai ryšuliai	3,7 m^3	Presuojami į kvadratinius ryšulius
Ritinio formos ryšuliai	2,1 m^3	Presuojami į cilndriškus ryšulius
Medžio anglys	Įvairus	Atliekama fitomasės distiliacija ir pirolizė
Termiškai apdorota mediena	Įvairus	Švelnus kaitinimas 200–300 °C temperatūroje neilgą laiko tarpą (pvz. 60 min.)

Remiantis standartais [20] visoms kuro savybėms turėtų būti nurodoma žemiausia galima klasė, išskyrus erdmetrinį tankį, sortimentų tankį ir mechaninį stabilumą – kuriems turi būti nurodoma aukščiausia galima klasė. Vienai savybei nurodoma viena klasė.

Papildomos ISO 17225 standarto dalys (pvz., ISO 17225-2, ISO 17225-3 ir kt.) buvo sukurtos apibūdinti klasifikuotiems kietojo biokuro produktams. Šie tarptautiniai produktų standartai rekomenduojami mažiems katilams, naudojamiems, pavyzdžiui, namų ūkiuose ar mažuose komerciniuose ir visuomeniniuose pastatuose. Granulės, briketai, susmulkintasis miško kuras ir malkos (apvalioji mediena) yra komercinės kuro rūšys, dažniausiai naudojamos mažiems katilams. ISO 17225-2 standartas taip pat aprašo klasifikuotų pramoninių granulių savybes.

Nurodyti rodikliai, skirti aprašyti kietajam biokurui (pvz., susmulkintajam miško kurui), išreiškia normines ir informacines savybes (4.2 lentelė). Šioje lentelėje susmulkintasis miško kuras aprašomas pagal kokybės klases.

Nustatant kuro klasę svarbu nustatyti, kuriai klasei kuras priklauso pagal pagrindines vidutines skaitines rodiklio vertes, nustatytas visam kuro kiekiui ar tam tikrai nurodytai jo daliai (pvz., laivo kroviniui, sunkvežimiui ar konteineriui).

Pavyzdžiui, 4.2 lentelėje – drėgmės klasė M25 (≤ 25 %) reiškia, kad kuro drėgnis (M) turi būti ne didesnis kaip 25 %, kad kuras priklausytų šiai klasei.

Klasifikuoti dažniausiai naudojamą biokurą, dauguma kuro kokybės rodiklių yra suskirstyti į intervalus, kuriuose atitinkama kuro savybė gali skirtis neviršijant nereikšmingų vartotojui ribų. Pavyzdžiui, medienos M20 drėgmės klasė susmulkintajam miško kurui rodo, kad kuro drėgmės kiekis negali viršyti 20 %. Kita M30 drėgmės klasė nustato 20–30 % kuro drėgmės kiekio ribas. Kitose kuro savybių klasėse naudojamas tas pats principas.

4.2 lentelė. Susmulkintojo miško kuro ir traiškytojo kuro savybių rodikliai (specifikacijos)

	Kilmė, remiantis 2.1 lentele			Miško fitomasė	
	Parduodama rūšis, remiantis 4.1 lentele			Susmulkintasis miško kuras ar traiškytasis kuras [a]	
	Dydis (mm) ISO 17827-1				
	Pagrindinė frakcija [b] (mažiausiai 69 w %), mm		**Stambi frakcija, w- % (dalelių ilgis, mm)**	**Maksimalus dalelių ilgis [c], mm**	**Maksimalus stambiosios frakcijos dalelių skerpjūvio plotas [d], cm²**
Normatyvas	P16S	3,15 mm < P ≤ 16 mm	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 45 mm	≤ 2 cm²
	P16	3,15 mm < P ≤ 16 mm	≤ 6 % > 31,5 mm	≤ 150 mm	
	P31S	3,15 mm < P ≤ 31,5 mm	≤ 6 % > 45 mm	≤ 150 mm	≤ 4 cm²
	P31	3,15 mm < P ≤ 31,5 mm	≤ 6 % > 45 mm	≤ 200 mm	
	P45S	3,15 mm < P ≤ 45 mm	≤ 10 % > 63 mm	≤ 200 mm	≤ 6 cm²
	P45	3,15 mm < P ≤ 45 mm	≤ 10 % > 63 mm	≤ 350 mm	
	P63	3,15 mm < P ≤ 63 mm	≤ 10 % > 100 mm	≤ 350 mm	
	P100	3,15 mm < P ≤ 100 mm	≤ 10 % > 150 mm	≤ 350 mm	
	P200	3,15 mm < P ≤ 200 mm	≤ 10 % > 250 mm	≤ 400 mm	
	P300	3,15 mm < P ≤ 300 mm	Nurodoma	Nurodoma	
	Smulki frakcija, F (< 3,15 mm w- %), ISO 17827-1				
	F05	≤ 5 %			
	F10	≤ 10 %			
	F15	≤ 15 %			
	F20	≤ 20 %			
	F25	≤ 25 %			
	F30	≤ 30 %			
	F30+	> 30 (turi būti nurodoma maksimali vertė)			

Normatyvas	**Drėgnis, M** [e] (w- % gaunamo kuro) ISO 18134-1, ISO 18134-2		
	M10	≤ 10 %	
	M15	≤ 15 %	
	M20	≤ 20 %	
	M25	≤ 25 %	
	M30	≤ 30 %	
	M35	≤ 35 %	
	M40	≤ 40 %	
	M45	≤ 45 %	
	M50	≤ 50 %	
	M55	≤ 55 %	
	M55+	> 55 % (turi būti nurodoma maksimali vertė)	
	Peleningumas, A (w- % sausos masės) ISO 18122		
	A0.5	≤ 0,5 %	
	A0.7	≤ 0,7 %	
	A1.0	≤ 1,0 %	
	A1.5	≤ 1,5 %	
	A2.0	≤ 2,0 %	
	A3.0	≤ 3,0 %	
	A5.0	≤ 5,0 %	
	A7.0	≤ 7,0 %	
	A10.0	≤ 10,0 %	
	A10.0+	> 10,0 % (turi būti nurodoma maksimali vertė)	
Normatyvas/informaciniai rodikliai	**Azotas, N** (w- % sausos masės) ISO 16948		
	N0.2	≤ 0,2 %	Normatyvas: Chemiškai apdorota biomasė (1.2.2; 1.3.2) Informaciniai rodikliai: Visas chemiškai neapdorotas kuras (žr. aukščiau esančias išimtis)
	N0.3	≤ 0,3 %	
	N0.5	≤ 0,5 %	
	N1.0	≤ 1,0 %	
	N1.5	≤ 1,5 %	
	N2.0	≤ 2,0 %	
	N3.0	≤ 3,0 %	
	N3.0+	> 3,0 % (turi būti nurodoma maksimali vertė)	
	Siera, S (w- % sausos masės) ISO 16994		
	S0.02	≤ 0,02 %	Normatyvas: Chemiškai apdorota biomasė (1.2.2; 1.3.2) Informaciniai rodikliai: Visas chemiškai neapdorotas kuras (žr. aukščiau esančias išimtis)
	S0.03	≤ 0,03 %	
	S0.04	≤ 0,04 %	
	S0.05	≤ 0,05 %	
	S0.08	≤ 0,08 %	
	S0.10	≤ 0,10 %	
	S0.10+	> 0,10 % (turi būti nurodoma maksimali vertė)	

Normatyvas/informaciniai rodikliai	**Chloras, Cl** (w- % sausos masės) ISO 16994		
	Cl0.02 Cl0.03 Cl0.05 Cl0.07 Cl0.10 Cl0.10+	≤ 0,02 % ≤ 0,03 % ≤ 0,05 % ≤ 0,07 % ≤ 0,10 % > 0,10 % (turi būti nurodoma maksimali vertė)	Normatyvas: Chemiškai apdorota biomasė (1.2.2; 1.3.2) Informaciniai rodikliai: Visas chemiškai neapdorotas kuras (žr. aukščiau esančias išimtis)
Informaciniai rodikliai	**Neto šilumingumas, Q** (MJ/kg ar kWh/kg kuro) ar **energijos tankis, E** (MJ/l m³ ar kWh/l m³) ISO 18125		Turi būti nurodoma minimali vertė
	Erdmetrinis tankis (BD) (kg/m³ kuro) ISO 17828		
	BD150 BD200 BD250 BD300 BD350 BD400 BD450+	≥ 150 ≥ 200 ≥ 250 ≥ 300 ≥ 350 ≥ 400 > 450 (turi būti nurodoma minimali vertė)	Rekomenduojama nurodyti jei parduodamas kuras matuojamas tūrio vienetais
	Pelenų lydymosi charakteristikos [f] (°C) CEN/TS 15370-1		Nurodoma

[a] Kartais traiškytojo kuro žaliava arba susmulkintasis miško kuras turi daug akmenų, pvz., kelmai, šaknys arba mediena iš sodų/parkų.

[b] Matmenų skaitinės vertės (P klasė) atitinka dalelių dydį (mažiausiai 60 w- %), persijojamų per sietą su atitinkamo dydžio apvaliomis skylėmis (ISO 17827-1).

[c] Ilgis ir skerspjūvio plotas nustatomas tik stambios frakcijos dalelėms. Ne daugiau kaip 2 vienetai apie 10 l tūrio mėginyje gali viršyti didžiausią ilgį, jei jų skerspjūvio plotas yra <0,5 cm².

[d] Matuojant skerspjūvio plotą, rekomenduojama naudoti skaidrų tinklelį; dalelę priglauskite statmenai prie tinklelio ir įvertinkite didžiausią skerspjūvio plotą naudojant cm² tinklelį.

[e] Turi būti nurodyta žemiausia įmanoma klasė.

[f] Ypatingas dėmesys turi būti skiriamas kai kuriam fitomasės pagrindu paruošo kuro, pavyzdžiui, eukalipto, tuopos ir trumpos apyvartos želdinių, pelenų lydymosi charakteristikoms.

Kiekvienai vartotojų grupei ir kurą deginančių įrenginių tipui reikia tam tikrų savybių kuro. Kuo mažesnė katilinė, tuo kokybiškesnis kuras jai reikalingas.

Kuro eksploatacinių savybių reikalavimai centrinio šildymo katilinėms ir kitiems dideliems kuro naudotojams priklauso nuo katilų konstrukcinių ir naudojimo savybių, konvejerių ir naudojamų sandėlių. Pavyzdžiui, namų ūkio vartotojo atveju dažniausiai sausas kuras yra tinkamiausias, tuo tarpu katilinėje galima sumontuoti katilą, kuriame reikia naudoti drėgną kurą.

Labai svarbus neapdoroto natūralaus medienos kuro rodiklis yra kuro dalelių dydis, kuris atsispindi jau pačiame kuro pavadinime ir daugiausia lemia deginimo technologiją.

Tipiška susmulkintojo miško kuro klasė pagal kuro dalelių dydį galėtų būti laikoma P45 klasė, ir tokiu atveju kuro dalelių pasiskirstymas būtų toks:

- smulki frakcija – dalelės, kurių dydis mažesnis nei 1 mm, sudaro mažiau nei 5 % kuro masės;
- pagrindinė frakcija – ne mažiau kaip 80 % kuro masės sudaro dalelės, kurių dydis yra 3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm;
- stambi frakcija – mažiau nei 1 % kuro masės sudaro dalelės, didesnės nei 63 mm.

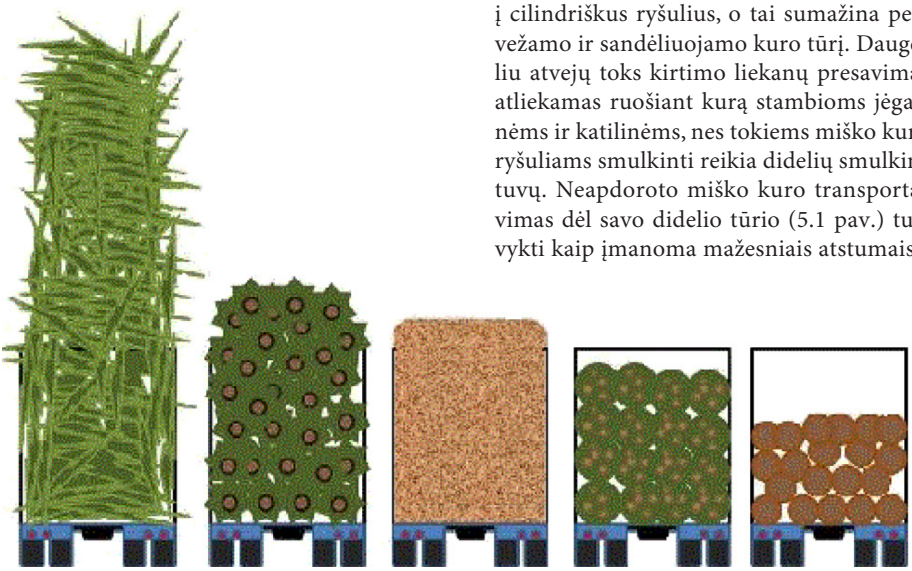
Kaip matyti iš aprašymo, kuro klasifikacija apibrėžia smulkiosios frakcijos ir stambių dalelių kiekį kure, nes abi šios frakcijos įtakoja kuro padavimo sistemas ir kuro degimo procesą krosnyje [14].

5. Kuro laikymas ir paruošimas deginimui

5.1. Bendrosios žinios

Saugojimas paprastai yra būtinas siekiant užtikrinti vienodą kuro tiekimą jėgainėms (elektrinėms, katilinėms, pramonės įmonėms ir kt.), siekiant pagerinti miško kuro kokybę (pvz., natūralus kuro džiovinimas, siekiant pašalinti lapus ir spyglius) ir optimizuoti tiekimą. Sandėliavimas yra būtinas vietovėse, kuriose kuro ruoša vyksta ne kuro vartojimo laikotarpiu, pavyzdžiui, Alpių šalyse, kur kirtimai atliekami vasarą, o šildoma – žiemą.

Kai kurie metodai taip pat pagerina miško pramonės liekanų laikymo galimybes. Pavyzdžiui, kirtimo liekanas galima suspausti į cilindriškus ryšulius, o tai sumažina pervežamo ir sandėliuojamo kuro tūrį. Daugeliu atvejų toks kirtimo liekanų presavimas atliekamas ruošiant kurą stambioms jėgainėms ir katilinėms, nes tokiems miško kuro ryšuliams smulkinti reikia didelių smulkintuvų. Neapdoroto miško kuro transportavimas dėl savo didelio tūrio (5.1 pav.) turi vykti kaip įmanoma mažesniais atstumais.



Nuopjovos 15–20 % | Kamienai ir jų dalys 35–40 % | Susmulkintasis miško kuras ~40 % | Ryšuliai 45– 50 % | Apvalioji mediena 60–70 %

5.1 pav. Skirtingos kilmės miško kuro erdvinis tankis, lyginant jį su medienos (100 %) tankiu ir įtaka transportavimo sunkvežimiais efektyvumui [32]

Jei logistikos požiūriu žaliavų smulkinimas tiekimo grandinėje turėtų būti atliekamas kuo anksčiau (pvz., gamybos vietoje), kokybės požiūriu yra priešingai. Smulkinimas turėtų būti atliekamas prieš pat fitomasės (miško kuro) deginimą. Taip yra dėl to, kad visi medžiai, jų kamienai, ar net šakos yra žievės apsaugoti nuo mikroorganizmų, žieve neapsaugotas plotas yra gana mažas (tik pjūviai), kai susmulkintojo miško kuro neapsaugotas paviršiaus plotas yra nepaprastai didelis. Dėl to, pavyzdžiui, nesmulkintų kirtimo liekanų sandėliavimo atveju arba medienos pramonės liekanų atveju, natūralus džiūvimo procesas yra daug greitesnis nei biomasės kokybės blogėjimas dėl

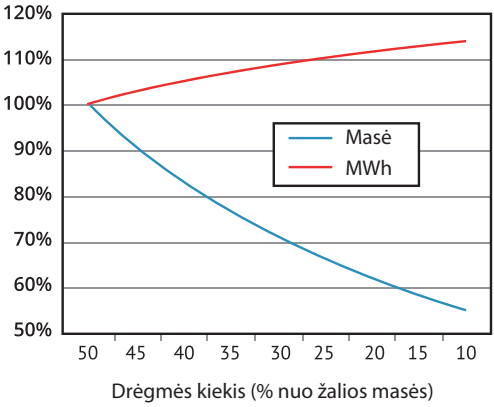
mikroVienas iš smulkinimo prieš pat deginimą pranašumų yra tai, kad nukirstos viršžalės medžių rūšys (spygliuočiai, alyvuogės, eukaliptai ir kt.) laikomi numeta lapus ar spyglius. Tai pagerina miško kuro kokybę ir sugrąžina lapuose ir spygliuose esančias maistines medžiagas dirvožemiui. Priešingai, susmulkintos kirtimų liekanos greitai kolonizuojamos medieną ardančių grybų, kurie, esant dideliam drėgniui, ypač laikomam didelėse krūvose, gali suardyti dalį fitomasės (iki 30% pradinio kiekio). Be to, žievė apsaugo nuo drėgmės (sniego, lietaus) adsorbcijos, tuo tarpu susmulkintasis miško kuras yra gana higroskopiškas ir lengvai sudrėksta jį laikant be priedangos (5.1 lentelė).

Didelis drėgmės kiekis (M) yra pagrindinė grybų augimo priežastis, todėl geriausias būdas išlaikyti susmulkintojo miško kuro kokybę – jį išdžiovinti (M = 30–35% arba mažiau) bei laikyti dengtoje ir gerai vėdinamoje vietoje. Susmulkintojo miško kuro sandėliavimo vietos turėtų būti grįstos, kad kuras liktų švarus, be dirvožemio. Kuro sugedimo ar savaiminio užsidegimo rizika priklauso nuo sandėliuojamo kuro drėgnio ir krūvos dydžio. Kai kuriose šalyse susmulkintojo miško kuro krūvos dydis laikomas tiesioginiu rizikos veiksniu, ir didesnių krūvų atveju (pvz., Italijoje 5000 m³ ir didesnės krūvos) privalo būti įrengta gaisrų gesinimo įranga, krūvų būklė privalo būti nuolat tikrinama, o tai, žinoma, turi papildomų išlaidų.

5.1 lentelė. Pagrindiniai susmulkintojo miško kuro laikymą įtakojantys veiksniai [32]

Veiksnys	Veiksnio įtaka kuro saugojimo nuostoliams	
Drėgnis	Didelis drėgnis	Mažas drėgnis
Krūvos dydis (aukštis)	Didelės (aukštos) krūvos	Mažos (žemos) krūvos
Frakcijos stambumas	Smulki	Stambi
Nuostoliai	Dideli nuostoliai	Maži nuostoliai

Švedijoje draudimo bendrovės susitarė nustatyti ribas miško kuro krūvų aukščiui ir saugojimo laikui (5.2 lentelė), taip pat čia yra nustatyti skirtumai tarp sutankintų krūvų (pvz., naudojant traktorius) ir laisvai sukrautų (arba nesutankintų) krūvų. Lentelėje pateiktas didžiausias leistinas krūvų aukštis metrais ir ilgiausias saugojimo laikas mėnesiais įvairių rūšių susmulkintajam miško kurui, apatinėse dviejose eilutėse pateikiamas medienos pramoninės atliekų kuras. Ribojantis veiksnys yra savaiminio užsidegimo pavojus, taip pat reikia nepamiršti kad kuo šiltesnis klimatas, tuo didesnė užsidegimo rizika. Pietų Europoje ir karštomis vasaroms, net šiaurės Europoje, leistini krūvų aukščiai ir laikymo trukmė gali būti net mažesni, nei nurodyta lentelėje.



5.2 pav. Masės ir energijos kiekio pokytis susmulkintojo miško kuro natūralaus džiovinimo metu (drėgnio sumažėjimas procentais) ordinačių ašyje ir energijos kiekio padidėjimas procentais nuo pradinio 100%) [32]

Siekiant užtikrinti medienos kuro tiekimą (ypač didelėms katilinėms ir termofikacinėms elektrinėms), būtina laikyti pakankamą kuro atsargų kiekį tokiu būdu, kuris leidžia išsaugoti arba net pagerinti (įskaitant drėgmės kiekio sumažėjimą natūraliai džiovinant) laikomo kuro kokybę. 5.2 paveiksle pateikta miško kuro džiūvimo dinamika ir kaip tai įtakoja kuro energijos kiekį ir bendrą svorio pokytį. Kuo sausesnis kuras – tuo didesnis jo energijos kiekis.

5.2 lentelė. Švedijos draudimo bendrovių taikomi apribojimai susmulkintojo miško kuro saugojimui krūvose [32]

Žalia miško kuro žaliava	Laikoma laisvai sukrautose krūvose		Laikoma sutankintose krūvose	
	Maksimalus aukštis, m	Maksimalus laikas, mėnesiais	Maksimalus aukštis, m	Maksimalus laikas, mėnesiais
Rąstinė mediena be žievės	10	12	16	9
Rąstinė mediena su žieve	15	9	12	6
Visas medis – lapuočiai	12	9	9	6
Visas medis – spygliuočiai	10	9	7	6
Kirtimo liekanos	7	6	NELEIDŽIAMA	
Žievė	7	3	4	3
Pjuvenos	15	6	12	4
Lentpjūvių liekanos	8	6	6	4

Sandėliavimas yra esminis bet kokio kietojo biomasės kuro tiekimo grandinės žingsnis. Sandėliavimo problemos daugiausia susijusios su biologiniu biomasė skaidymu. Fitomasės degradacijos procesai prasideda iš karto po medžio nukirtimo ar biomasės surinkimo, ir dažniausiai yra neišvengiami. Tačiau yra keletas veiksnių, kurie skatina degradaciją ir turėtų būti pašalinti arba jų turėtų būti vengiama.

Apskritai galima išskirti du pagrindinius biologinio skaidymo tipus:

- Aerobinis skaidymas. Aerobinis skaidymas vyksta, kai molekulinis deguonis (t. y. oras) gali lengvai pasiekti sumedėjusių augalų fitomasę, o šio skaidymo pasekoje fitomasė pilnai suskaidoma iki anglies dioksido ir vandens garų. Populiariai kalbant šis procesas taip pat gali būti vadinamas puvimu ar kompostavimu.
- Anaerobinis skilimas. Anaerobinis skilimas gali prasidėti, kai susmulkintojo miško kuro krūva yra daugmaž sandari, nes ji sutankinta ir deguonies patekimas apsunkintas dėl ventiliacijos nebuvimo ar laikymo uždarose patalpose.

Tam, kad abu šie procesai vyktų, būtina, kad ląstelėse esantys paprastieji cukrūs (angliavandeniai) būtų lengvai prieinami mikroorganizmams. Palankios sąlygos biologiniam kuro skaidymui laikymo metu yra didelis drėgnis.

Paprastai abu biologinio skaidymo procesai prasideda nuo pelėsio patekimo. Pelėsiai toleruoja platų drėgmės ir deguonies kiekio spektrą ir dėl plataus pelėsių sporų paplitimo pelijimas prasideda per kelias dienas nuo susmulkintojo miško kuro krūvos supylimo. Priklausomai nuo laikomo kuro ir klimato, pelėsių rūšys gali skirtis, bet tai turi mažai įtakos degradacijos procesui.

Pelėsiai paprastai negali skaidyti lignino, ir maitinasi daugiausia krakmolu, celiulioze ir hemiceliulioze. Tačiau kai kurios pelėsių

rūšys gamina fermentus, gebančius skaidyti ligniną į paprastuosius cukrus. Pelėsių susidarymas kuro krūvose turi šias pasekmes:

1. Išskiriama šiluma. Šilumos išsiskyrimas kure sukuria natūralų skersvėjį. Jei krūva akyta (gerai vėdinama), skersvėjis gali būti pakankamas ir išlaikyti gana aukštą deguonies koncentraciją krūvoje taip ją atvėsindamas. Jei krūva yra glaudi, jos viduje gali pritrūkti deguonies, o temperatūra ten – pakilti.
2. Kylant temperatūrai vanduo garuoja, ir vidinė kuro krūvos dalis išdžiūsta. Tuo pačiu reikia atsiminti, kad grybai, skaidydami biomasę, išskiria naujus vandens garus, taigi vyksta ne tik džiovinimas, bet ir drėgnio atkūrimas. Gana aukštas garų slėgis krūvos viduje lemia drėgmės persiskirstymą taip, kad drėgmės (vandens kiekis) išorinėje ir vėsesnėje krūvos dalyje didėja.
3. Organinės medžiagos dalis greitai skaidoma grybų yra suardoma.

Aukščiau minėti procesai palaipsniui keičia gyvenimo sąlygas fitomasėje ir čia įsikuria naujos grybų bei bakterijų rūšys. Iš pirmojo pasekmių punkto aišku, kad priklausomai nuo medžiagos ar krūvos poringumo, sąlygos kuro krūvoje iš aerobinių gali pakisti į anaerobines. Tuo pačiu metu vandens kiekis išoriniuose krūvos sluoksniuose didėja.

Priklausomai nuo saugomos medžiagos tipo, didėjantis drėgmės kiekis ir kylanti temperatūra gali sudaryti tinkamas sąlygas puvinius sukeliantiems grybams ir bakterijoms. Puvimo metu ardoma ne tik celiuliozė ir hemiceliuliozė, mikroorganizmai skaido ir ligniną bei kitas sudėtines medienos medžiagas.

Siekiant sumažinti fitomasės skaidymą sandėliavimo metu, svarbu, kad kuras būtų gerai vėdinamas t. y., kad pirmame pasekmių punkte nurodytas temperatūros kilimas būtų minimalus. Kai kurioms miško kuro rūšims, pavyzdžiui, medžių šakoms, tai lengva padaryti paprasčiausiai saugant kuro žaliavą pradine forma.

Jei pakankamas krūvos porėtumas negali būti pasiektas, krūvos turi būti pakankamai žemos tam, kad užtikrintų natūralų vėdinimąsi. Drėgno miško kuro su žieve mišinių sandėliavimo atvejais krūvų aukštis gali būti iki 6–7 m, o grynos medienos kuro be žievės atveju – iki 15 m. Susmulkintos šlapios žievės ar daugelio žemės ūkio kultūrų atveju galimos kompaktiškos maždaug 3–4 m aukščio krūvos.

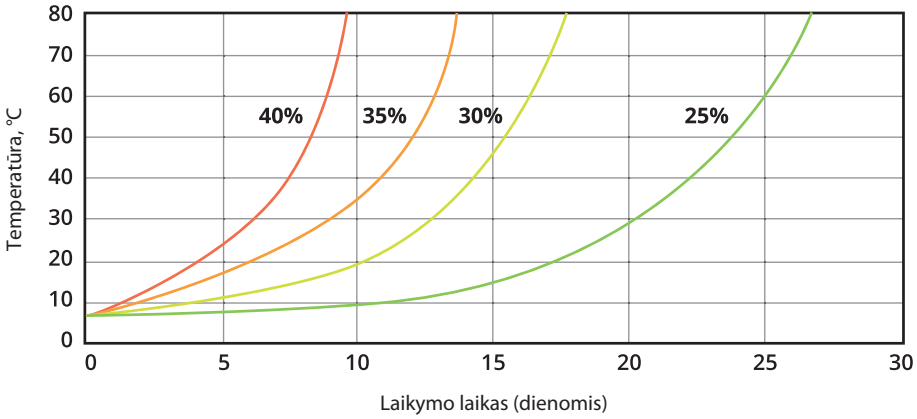
Norint kuo labiau sumažinti kuro nuostolius sandėliuojant, svarbu atskirai išlaikyti įvairias miško fitomasės frakcijas visoje tiekimo grandinėje. Skirtingos miško kuro frakcijos paprastai yra patrauklios skirtingiems mikroorganizmų tipams. Vienos rūšies fitomasė gali turėti lengvai skaidomų cukrų, o kitoje daug drėgmės. Sumaišius abi šias frakcijas, sukuriama aplinka, kurioje yra didelis ir lengvai skaidomų cukrų, ir drėgmės šaltinis, o tai pagerina gyvenimo sąlygas mikroorganizmams ir paspartina biologinį skaidymą bei didina nuostolius.

Net ir tinkamas susmulkintojo miško kuro laikymas gali lemti degiųjų medžiagų nuostolius t. y. bendrojo energijos kiekio sumažėjimą iki mažiau nei 1% per mėnesį. Tuo tarpu netinkamos laikymo sąlygos gali lemti ir 10 % nuostolius per mėnesį ar net daugiau.

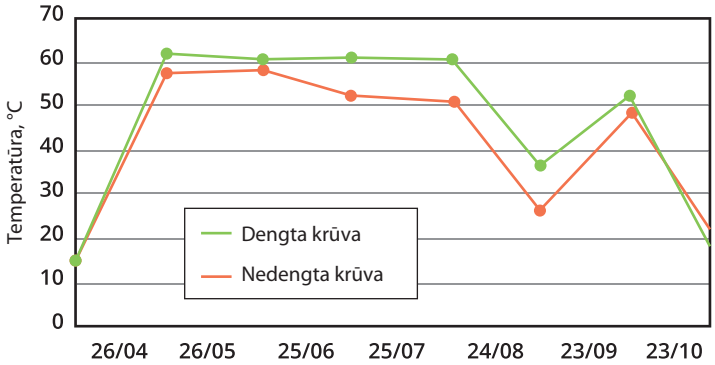
5.2. Savaiminis susmulkintojo miško kuro užsidegimas

Saugant šviežia lignoceliuliozinė fitomasė įkaista dėl kvėpavimo procesų vis dar gyvose parenchimos ląstelėse. Šis procesas sustoja, kai temperatūra pasiekia 40 °C. Tolesnis temperatūros didėjimas medienos masėje gali būti siejamas su grybų ir bakterijų veikla. Jei kai kurios grybų rūšys sugeba išgyventi maždaug iki 60 °C, termofilinių bakterijų aktyvumas prasideda 75–80 °C temperatūroje. Ypatingais atvejais medienos fitomasė gali pasiekti netgi maždaug 100 °C; tačiau tolimesnės temperatūros kilimo priežastys dar neišaiškintos. Esant aukštesnei nei

100 °C temperatūrai, prasideda termocheminiai procesai, kurie gali sukelti savaiminį užsidegimą, nors tai yra retas reiškinys. Šis reiškinys dažniausiai pasitaiko labai smulkiai susmulkintoje medienoje (smulkios pjuvenos) ar susmulkintoje medienoje su drėgnos žievės priemaiša. Esant optimalioms bakterijų ir grybų augimo sąlygoms (pvz., M = 40 %), mediena pradeda kaisti nedelsiant. Ir priešingai, mikroorganizmai nėra aktyvūs, esant nuolatinei žemai temperatūrai (5.3 ir 5.4 paveikslai).



5.3 pav. Temperatūros pokyčiai skirtingo drėgnio miško kuro krūvose. Kuo didesnis miško kuro drėgnio kiekis, tuo greičiau krūva kaista [21]



5.4 pav. Temperatūros pokyčiai (nuo balandžio iki lapkričio) dviejose susmulkintojo miško kuro krūvose, nedengtoje ir dengtoje orui laidžia medžiaga TOPTEX [21]

5.3. Medienos nuostoliai

Dėl grybų ir bakterijų veiklos intensyvėjimo mediena suyra ir dėl to prarandama organinė kuro masė. Norint sumažinti tokius nuostolius, reikia kiek įmanoma kontroliuoti biologinį grybų bei bakterijų aktyvumą. Žemiau pateikiamas sąrašas priemonių, kurių reikia imtis, ypač dirbant su susmulkintuoju miško kuru ir žieve, nes šios kuro rūšys labiausiai nukenčia dėl grybų ir bakterijų veiklos.

- Laikykite kuo sausesnį kurą, saugokite jį nuo lietaus;
- Pirmenybę teikite natūraliam vėdinimui;
- Prisiminkite, kad stambios ar vidutinio dydžio frakcijos kuras geriau natūraliai vėdinasi;
- Naudokite pakankamai aštrius smulkinimo įrankius;
- Sumažinkite lapų ir spyglių kiekį kure, nes juos labiau puola mikroorganizmai;
- Trumpinkite saugojimo laiką;
- Pasirinkite tinkamą krūvos aukštį.

Ne visada įmanoma įgyvendinti visas aukščiau nurodytas priemones/rekomendacijas, taigi reikia tikėtis tam tikrų susmulkintojo miško kuro nuostolių. Kai kurios rekomenduojamos vertės yra pateiktos 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Skirtingų kuro rūšių susmulkinto miško kuro laikymo nuostoliai [21]

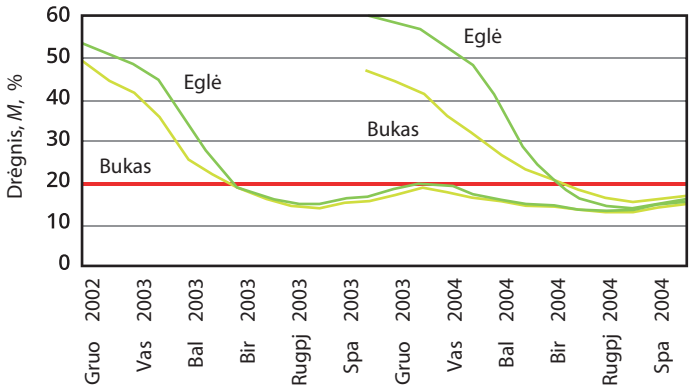
Kuras/laikymo būdas	Metiniai nuostoliai (sausos masės), %
Šviežias susmulkintasis miško kuras iš kirtimo liekanų, nedengtas	20–35
Susmulkintasis miško kuras iš smulkių kirtimo liekanų, uždengtas	2–4
Šviežias stambiai (7–15 cm) susmulkintas miško kuras iš kirtimo liekanų, dengtas	4
Šviežia žievė, nedengta	15–22
Rąstinė mediena (bukai, eglės), laikoma priedangoje dvejus metus	2,5
Rąstinė mediena (bukai, eglės) laikoma priedangoje dvejus metus	5–6
Šviežia rąstinė mediena (eglės, kėniai), nedengta	1–3
Jauni medžiai (drebulės, karklai), nedengti	6–15

Sausos kuro masės nuostoliai gali būti bent iš dalies kompensuojami drėgmės kiekio sumažėjimo kure, nes drėgmės praradimas padidina kuro kaloringumą. Net džiovinant pašildytu oru, bendri sausos medžiagos nuostoliai siekia apie 4 %. Jei tam tikrą laiką naudojama dirbtinė ventiliacija (naudojant nešildomą oru), kuri leidžia medienos masei kaisti, nuostoliai padvigubėja ir siekia iki 7–8 %.

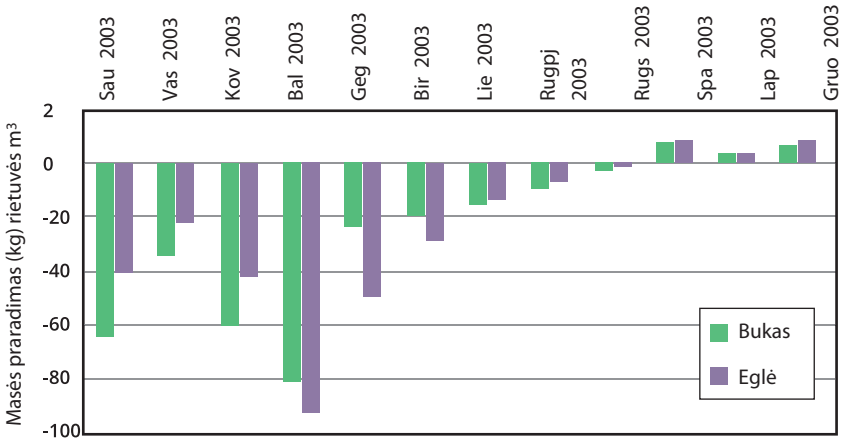
5.4. Rąstinės medienos paruošimas laikymui

Rąstai džiūsta ir žiemą, tačiau daugiausia drėgmės praranda kovo mėnesį (apie 10 proc.). Ypač karštomis vasaromis (pvz., 2003 m. vasara, 5.5 pav.), gruodžio mėn. pjauta ir susmulkinta šviežia rąstinė mediena, laikoma priedangoje, gali pasiekti 20 % (M20) drėgnumą iki birželio mėn. Drėgnesnėmis vasaromis M 20 % drėgnumas pasiekiamas mėnesiu vėliau. Nuo gegužės mėnesio, eglė džiūsta greičiau nei bukas (ąžuolas, uosis Estijoje), nors pastarasis iš pat pradžių atrodo sausesnis už eglę dėl mažesnio pradinio drėgmės kiekio ir greitesnio džiūvimo. Balandžio mėnesį netenkama maksimalaus drėgmės kiekio, kas sudaro maždaug 90 litrų vienam m^3 sukrautos medienos per mėnesį [90 l/(st m^3 · mėn.)]. Nuo rugsėjo mėnesio medienos drėgnis pradeda didėti dėl oro drėgmės ir lietaus; nustatyta, kad medienos drėgnis padidėja 5 l/(st m^3 · mėnuo) laikotarpyje nuo spalio iki gruodžio (5.6 pav.).

Priedangoje laikoma rąstinė mediena žiemos pradžioje džiūsta kiek greičiau. Nedengtos medienos džiūvimas vasarą yra panašaus greičio kaip dengtos žiemą. Priedanga yra rekomenduojama lietingose vietovėse, ji padeda išvengti medienos atodrėkio vėsiuoju metų laiku. Tinkama medinės priedangos konstrukcija yra stogas, saugantis nuo lietaus, ir sienos, leidžiančios tinkamai vėdintis (sienos su tarpais). Lyginant su pjauta ir smulkinta stiebų mediena, nesmulkinti rąstai pasiekia M20 drėgnį dviem mėnesiais vėliau.



5.5 pav. Pjautos, smulkintos, sukrautos į dengtas bei nedengtas rietuves rąstinės medienos džiūvimo procesas [21]



5.6 pav. Nupjautos ir susmulkintos 1 m ilgio malkinės medienos džiūvimo greitis per mėnesį, laikant ją priedangoje ir be priedangos [21]

5.5. Miško kuro laikymas

Tinkamo naudoti mažos ir vidutinės talpos katiluose miško kuro ruošai tinkama mediena: nešakoti spygliuočiai, kurių skersmuo ne mažesnis kaip 5 cm, spygliuočių ir lapuočių obliavimo drožlės, lapuočių kamienai (su arba be šakų) ir kirtimo liekanos. Žaliavai nenaudojant smulkesnių medelių, sumažinamas kuro peleningumas, nes pelenų kiekis žievėje yra didesnis nei medienoje.

Žaliava gali būti laikinai saugoma miško pakraštyje arba prie kelio (5.7 pav.), ant pasvirusio paviršiaus prieš išvežant smulkinti ar smulkinant laikymo vietoje vasaros pabaigoje ar rudenį. Jei tai neįmanoma, žaliava turi būti pervežta į logistikos zoną, kurioje ji laikoma pridengta (5.8 pav.) ir vėliau susmulkinama (5.9 pav.).

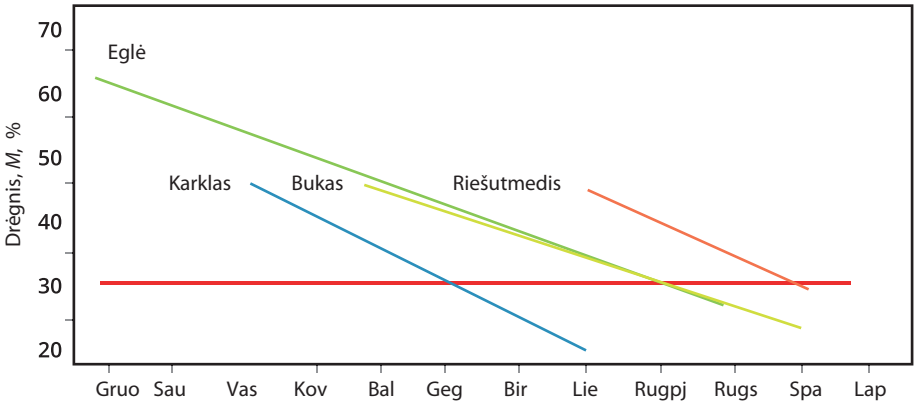
5.7 pav. Laikomi negenėti smulkūs medžiai, (P. Muiste nuotrauka)

5.8 pav. Kirtimo liekanos laikomos pridengtos atspariu drėgmei popieriumi, (P. Muiste nuotrauka)

5.9. pav. Kirtimo liekanų smulkinimas į sunkvežimio priekabą, (P. Muiste nuotrauka)

Laikymas lauke turėtų vykti šiltuoju metų laiku, nes nemokama saulės ir vėjo energija skatina natūralų miško kuro džiūvimą. Lapų drėgmės praradimas laikymo metu paprastai svyruoja nuo 40 iki 50 %. Jei medžiai kertami gegužę, lapai pagreitina natūralų miško kuro džiūvimą. Tas pat pasakytina ir apie spygliuočius, kurie kertami vėlyvą rudenį – gruodį ir kurie vėliau kraunami į krūvas laikymo vietose.

Jei džiovinama mediena kraunama į krūvas ne miške, o saulės atokaitoje, nukirsti medžiai vasaros pabaigoje išdžius iki 30% drėgnumo ir bus tinkami smulkinti (5.10 pav.). Drėgnio vertė M 30 % yra tinkama laikyti kurą; žemiau šios ribos, susmulkintasis miško kuras priskiriamas kuro laikymo klasei, kuri neturi biologinio stabilumo problemų (Austrija ÖNORM M 7133).



5.10 pav. Skirtingų medžių rūšių džiūvimo dinamika (džiūvimo procesas) [21]

5.6. Susmulkintojo miško kuro laikymo ir pristatymo metodai

Susmulkintojo miško kuro sandėliai gali būti:

- tarpinė saugykla (kuro saugykla) – laikyti kurui, kuris sunaudojamas maždaug per 5–7 dienas, ir
- pagrindinė saugykla – skirta laikyti kurui, kuris sunaudojamas per 24 valandas ir kuris paduodamas į katilą automatiškai.

Tarpinis didesnių katilinių ar kogeneracinių jėgainių sandėlis yra neuždengtos betonuotos ar asfaltuotos atviros aikštelės, kuriose kuras nėra apsaugotas nuo oro sąlygų (5.11 pav.). Dažnai tarpinė ir pagrindinė saugyklos yra tame pačiame pastate, pavyzdžiui, pastogėje su betono grindimis (5.12 pav.). Tarpinė saugykla taip pat gali būti įrengta atskirame dengtame pastate.

Didesnės galios automatinėse katilinėse naudojami krovos kranai su automatiniu ieškikliu pagrindinės saugyklos užpildymui. Mažesnėse katilinėse naudojami buldozeriai ar ratinis krautuvas-traktorius kurui gabenti iš tarpinės į pagrindinę saugyklą (5.13 pav.).

Kelių megavatų galios katilinėse, naudojančiose susmulkintąjį miško kurą ir reguliariai jį transportuojant, tikslinga įrengti kompaktišką saugyklą-bunkerį. Saugykla-bunkeris užima mažiau vietos ir jame kuras yra gerai apsaugotas nuo oro sąlygų poveikio.

Saugyklos-bunkeriai gali būti, bent iš dalies, įvažiuojamosios saugyklos – atidarius vieną bunkerio sieną ar stogą. Sunkvežimių iškrovimas nuo platformos ar papildomų iškrovimo įrenginių naudojimas taip pat yra paplitę. Pirmuoju atveju sunkvežimis užvažiuoja ant platformos ar pakylos ir išpila kurą į bunkerį iš viršaus. Toks iškrovimo būdas naudojamas turint savivartes transporto priemones. Antruoju atveju naudojami savivarčiai sunkvežimiai su atbuline varčia arba įrengtu horizontaliu konvejeriu sunkvežimio priekabai ištuštinti. Trečioji galimybė yra ištuštinti sunkvežimį žemės paviršiuje į įžemintą bunkerį arba išpiltą ant žemės kurą transportuoti papildomu transporteriu. Estijoje įžemintų bunkerių naudojimas problematiškas dėl aukšto gruntinio vandens lygio.

Paprastai bunkeris turi turėti vertikalias sienas ir praplatėjimą apačioje. Priešingu atveju yra didelė tikimybė kad susidarys kuro arka virš bunkerio ištuštinimo įtaiso. Kad šlapias kuras neprišaltų ant bunkerio sienų ir dugno, jie būna padengti neperšlampama (slidžia) fanera. Švaraus ir sauso kuro laikymo atveju (gabalėliai, plonesni nei 20 mm, sudaro mažiau nei 5%, o drėgnio kiekis mažesnis nei 33%), prišalimo rizika maža ir bunkeris gali siaurėti apačioje. Tokios saugyklos išorinės sienos turi būti apšiltintos arba šildomos. Tokios saugyklos dydis yra ribotas ir turi apsiriboti vienu žingsniu mažesnio kuro kiekio talpinimu (pavyzdžiui, vienos dienos kuro norma vietoj trijų dienų).

5.11 pav. Susmulkintojo miško kuro pervežimas vilkiku su priekaba ar specialiai susmulkintajam miško kurui vežti pritaikytu vilkiku, (P. Muiste nuotrauka)

5.12 pav. Kuro saugykla – tarpinė saugykla, (Ü. Kask nuotrauka)

6. Medienos kuro deginimo pagrindai

6.1. Degimo reakcijos

Degimas yra staigi oksidacijos reakcija, per kurią išspinduliuojamas didelis šilumos kiekis, greitai pakyla reakcijos produktų temperatūra ir susidaro šviesos reiškiniai (ugnis). Daugeliu atvejų degimas yra tokia oksidacijos reakcija, kai medžiaga jungiasi su atmosferoje esančiu deguonimi.

Trumpai tariant, degimo procesas paprastai yra kuro oksidacija, vykstanti, kai aplinkoje yra deguonies ir sukelianti šilumos ir šviesos spinduliavimą.

Degimo procesas gali vykti dvejopai: liepsnojant arba žioruojant. Dujų pavidalo kuro dalys kameroje liepsnoja, o anglis dega žioruodama.

Vykstant negrįžtamai anglies, vandenilio ir sieros reakcijai su deguonimi atitinkamai susidaro CO_2, H_2O ir SO_2. Teorinį deguonies ir oro kiekį, kurio reikia, kad susidarytų šie degimo produktai (minimalus visiškam sudegimui reikiamas kiekis), galima nustatyti pagal stechiometrines (teorines) lygtis. Reaguojančių produktų masė iki reakcijos turi būti lygi reakcijos produktų masei.

Visiško anglies sudegimo stechiometrinė lygtis:

$C + O_2 = CO_2$ + išspinduliuojama šiluma (405,8 kJ), masės pusiausvyra:

12 kg C + 32 kg O_2 = 44 kg CO_2, pritaikant 1 kg anglies:

1 kg C + 2,67 kg O_2 = 3,67 kg CO_2

Iš čia matome, kad 1 kg anglies visiškai sudegti reikia 2,67 kg deguonies, o reakcijos išeiga yra 3,67 kg anglies dioksido. Jei žinome dujų pavidalo reakcijos produktų tankį, galime sužinoti, kiek deguonies reikia norint sudeginti 1 kg anglies ir kiek CO_2 sukuriama.

Panašios stechiometrinės lygtys ir masių pusiausvyra sudaromos ir vandeniliui bei sierai.

$2H_2 + O_2 = 2H_2O$ + šiluma (241 kJ) ir 1 kg H_2 + 8 kg O_2 = 9 kg H_2O;

$S + O_2 = SO_2$ + šiluma ir 1 kg S + 1 kg O_2 = = 2 kg SO_2

Nors degant sierai išspinduliuojama šiluma, siera yra itin nepageidautinas sudėtinis kuro elementas dėl poveikio aplinkai ir sukeliamų šildymo sistemos paviršių pažeidimų (korozijos).

Atsižvelgiant į teoriškai reikalingą oro kiekį, nėra įmanoma užtikrinti visišką kuro sudegimą. Teorinis kuro ir oro (deguonies) mišinio degimo laikas būtų labai ilgas, jam reikėtų didelių deginimo įrenginių, be to, degimo kameroje sunku užtikrinti vienodą oro ir kuro mišinį (ypač kai deginamas kietasis kuras). Tad siekiant visiškai sudeginti kurą būtina į degimo kamerą tiekti perteklinį oro (deguonies) kiekį. Taip katilų technologijoje atsiranda svarbus modelis – oro pertekliaus koeficientas.

6.2. Oro pertekliaus koeficientas

Oro pertekliaus koeficientas (λ)[2] yra teoriškai (stechiometriškai) degimo procesui reikalingo oro tūrio santykis:

$$\lambda = V/V_0, \qquad (6.1)$$

čia: V – į kūryklą faktiškai paduoto oro kiekis;

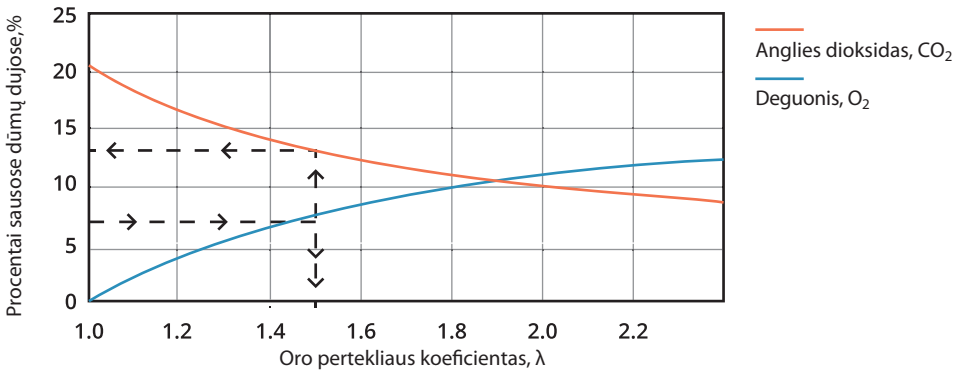
V_0 – teoriškai degimo procesui reikalingo oro kiekis.

[2] Kai kuriuose literatūros šaltiniuose oro pertekliaus koeficientas dar žymimas simboliu α.

Jei tarp kuro ir oro yra stechiometrinis santykis, oro pertekliaus koeficientas λ = 1. Pro deginimo įrenginių dūmų dujų angas iš išorinės aplinkos įtraukiamas oras dar vadinamas netikru oru (netikro oro srautai susidaro sumažintu slėgiu veikiančiose degimo kamerose). Deginimo įrenginiuose oro pertekliaus koeficiento reikšmė paprastai išlaikoma didesnė nei 1, o netikro oro koeficiento vertė mažesnė nei 1. Faktinės oro pertekliaus koeficiento ir netikro oro koeficiento vertės nustatomos atliekant deginimo įrenginio šiluminius bandymus. Projektavimas grindžiamas atitinkamais vadovais ar gaminio specifikacijomis (6.1 lentelė).

6.1 lentelė. Rekomenduojamos oro pertekliaus koeficiento vertės deginant medienos kurą

Kūrykla, katilas	Oro pertekliaus koeficientas, λ	O_2 sausose dūmų dujose,%
Atvira kūrykla	>3	>14
Medienos kuro krosnis (džiovinta mediena)	2,1–2,3	11–12
Centralizuoto šildymo katilas (medienos skiedros)	1,4–1,6	6–8
Centralizuoto šildymo katilas (medienos granulės)	1,2–1,3	4–5
Kogeneracinė (CŠ) jėgainė (pjuvenos)	1,1–1,2	2–3



6.1 pav. Oro pertekliaus koeficiento priklausomybė nuo O_2 ir CO_2 kiekio sausose dūmų dujose deginant medienos kurą [35]

Pirmiau pateiktoje lentelėje ir paveiksle parodyta, kad medienos skiedros idealiai dega tuomet, kai oro pertekliaus koeficientas yra nuo 1,4 iki 1,6. Deguonies procentas sausose dūmų dujose yra 7,5 %. Kreivė rodo, kad CO_2 kiekis tuomet yra apie 13 %, o oro pertekliaus koeficientas – 1,5 (6.1 pav.).

6.3. Kuro degimas kūrykloje

Kuro degimas katilo kūrykloje yra fiziocheminis procesas, per kurį kurui kontaktuojant su rūgštinančia medžiaga (paprastai tai yra atmosferos deguonis) išspinduliuojama šiluma.

Kuro degimas kūrykloje priklauso nuo daugybės parametrų, iš kurių svarbiausi yra šie:

- deginamo kuro savybės (drėgmė, kaloringumas, lakiųjų medžiagų kiekis, kuro dalelių dydis ir kt.);
- deginimo būdas (deginimas deginimo sluoksnyje, dulkių kuro deginimas, deginimas verdančiajame sluoksnyje ir šių būdų potipiai);
- aerodinaminės kūryklos savybės (tolygaus degimo procesui reikalingo oro paskirstymo užtikrinimas);
- temperatūros sąlygos skirtingose proceso zonose.

Degant išspinduliuojama šiluma reikalinga tiek kuro džiovinimo, tiek lakiųjų medžiagų šalinimo (pirolizė) procesui. Kadangi kuro drėgmė (ypač medienos skiedrų) labai svyruoja, kūrykloje būtina kontroliuoti ir reguliuoti temperatūros režimą, aerodinamiką ir šilumos mainus.

6.4. Degimo zonos ir pakopos

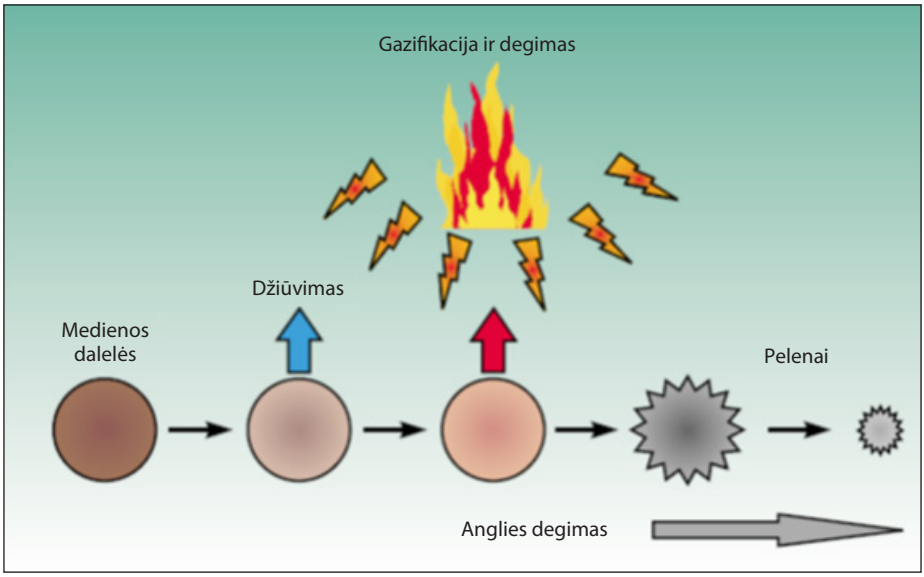
Deginant kietąjį kurą (medžio kurą) degimo procesas vyksta kūryklos ardynuose (kietosios anglies degimas) ir degimo kameroje (lakiųjų medžiagų degimas).

Deginant deguonies prisotintoje aukštos temperatūros aplinkoje medienos dalelės pereina keletą pakopų ar fazių: įkaitimas, džiūvimas (vyksta, kai temperatūra ~100 °C), lakiųjų dalelių atsiskyrimas, arba pirolizė (deginant medį vyksta, kai temperatūra ~150–160 °C), lakiųjų medžiagų užsidegimas ir degimas (lakiųjų medžiagų degimas trunka apie 10 % viso dalelių degimo laiko) ir (ilgiausia pakopa) kietosios (arba surištos) anglies degimas.

6.2 pav. pateikta supaprastinta degimo pakopų schema.

Šildymas, džiovinimas ir lakiųjų medžiagų išsiskyrimas grindžiamas šilumos perdavimu iš aplinkos į dalelę. Lakiosios medžiagos išsiskiria šiluminio organinių medžiagų irimo (pirolizės) metu: esant tinkamai deguonies koncentracijai, paprastesni junginiai užsidega ir ima liepsnoti. Šiluminiam kurui suirus lieka kietoji anglis.

Kietos anglies degimas prasideda išsiskyrus didžiajai lakiųjų medžiagų daliai. Nepaisant didelio lakiųjų medžiagų kiekio medžio kuro sudėtyje, ilgiausiai trunkanti degimo pakopa yra kietosios anglies degimas.



6.2 pav. Medienos dalelių pasikeitimas dėl degimo [35]

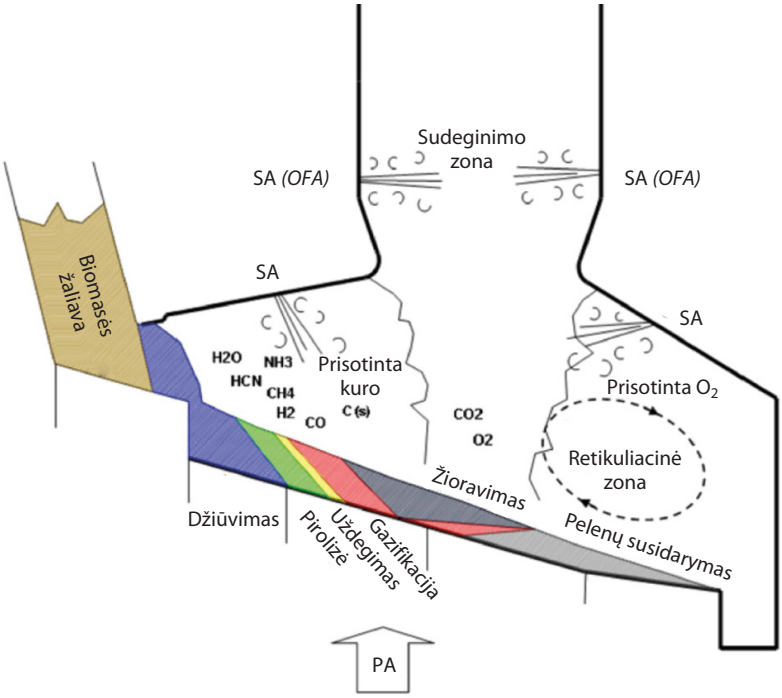
Degant lakiosioms medžiagoms (liepsnojant) degimo intensyvumas nustatomas pagal jų išsiskyrimą iš kuro dalelių ir išsiskyrusių lakiųjų medžiagų reakciją su deguonimi. Kietosios anglies dalelių degimo intensyvumas priklauso nuo reakcijos su deguonimi ir difuzijos dalelių paviršiuje.

Pateiktame pavyzdyje (6.3 pav.) parodytas drėgno medienos kuro degimas ant ardynų. Dalis procesų vyksta kuro sluoksnyje ir iš dalies degimo kameroje (zonose), o ant ardynų vyksta toliau nurodyti procesai ir pakopos:

- Džiūvimas prasideda, vos tik kuras patenka ant ardynų viršaus. Kuro sluoksnio temperatūra dėl neaušinamos nuožulnios sienelės ir toliau esančios liepsnos išspinduliuojamos šilumos pradeda kilti. Jei po ardynu yra įrengtas pirminio šildymo įrenginys, jis taip pat kuro sluoksniui suteikia papildomos šilumos.
- Išmetamųjų dujų temperatūrai pasiekus 100–105 °C prasideda pirolizė ir išsiskiria lakiosios medžiagos (visų pirma angliavandeniliai). Kuro dalelių struktūra šiame procese tampa porėta. Priklausomai nuo tipo, kuras užsidega temperatūrai pasiekus 220–300 °C (spygliuočiai – 220 °C, plačialapiai – 300 °C, sausos durpės – 225–280 °C).
- Anglies degimas baigiasi temperatūrai pasiekus 800–900 °C. Tuomet nuo ardynų pelenai nukrenta į pelenų surinkimo kamerą.
- Ant ardynų vykstantys procesai yra endoterminiai (šiluma sugeriama – džiūvimas ir pirolizė) ir egzoterminiai (šiluma išskiriama – degimas).
- Kuo drėgnesnis kuras, tuo daugiau šilumos reikia jam išdžiovinti ir įkaitinti iki degimo temperatūros. Todėl kūrykloje nėra kaitinimo paviršių (t. y., paviršių, kuriuos būtų galima atvėsinti), skirtų drėgnam kurui deginti, arba jų dalis yra maža. Tam, kad džiūvimo zonos temperatūra ardynų viršuje liktų norimo diapazono, o kuras užsidegtų laiku, būtina palaikyti pastovią aukštą įkaitusių keraminių kūryklos sienelių temperatūrą. Deginant sausą kurą, kitaip nei šlapią, gali reikėti atvėsinti kūryklos sieneles. Sausam kurui džiovinti ir įkaitinti daug šilumos nereikia, o karštį spinduliuojantys paviršiai ir liepsnos gali kuro sluoksnio temperatūrą padidinti tiek, kad pelenai taps lipnūs ar lydūs. Išsilydę pelenai gali užkimšti ir pažeisti ardynus, be to, keraminiai kūryklos paviršiai gali įkaisti taip smarkiai, kad keramika pradės lydytis. Tad kiekviena kūrykla suprojektuota taip, kad degintų šiek tiek drėgną kurą.
- Pagrindinė šilumos iš medžio kuro dalis išspinduliuojama ne kuro sluoksnyje, o degimo kameroje, nes medienos kure yra daug lakiųjų pelenų. Dujinių lakiųjų medžiagų degimas dėl pirolizės degimo kameroje prasideda temperatūrai pasiekus 500–600 °C. Tam, kad lakiosios medžiagos užsidegtų, būtina pasiekti reikiamą temperatūrą ir į degimo kamerą tiekti gryną, deguonies prisotintą orą. Po ardynu tiekiamas degimo oras paprastai vadinamas pirminiu slėgiu, papildomas lakiųjų medžiagų degimo oras vadinamas antriniu slėgiu. Deginant šio tipo kurą antrinio slėgio poreikis yra didesnis nei pirminio slėgio. Rekomenduojama pakaitinti bent jau antrinį orą, kad proceso metu lakiųjų medžiagų degimo zona neatvėstų. Ardynas padalytas į sekcijas, kurioms tiekiamas reikiamas oro kiekis. Jei kuras drėgnas, daugiau oro tiekiama ardyno pradžioje, kad kuro sluoksnis geriau išdžiūtų. Jei kuras sausas, daugiau oro tiekiama į ardyno vidurį. Kiekvienam katilui visų sekcijų oro kiekiai, kurių reikia efektyvaus degimo procesui, turi būti nustatomi atliekant katilo šiluminius bandymus. Kuo daugiau lakiųjų medžiagų yra kure, tuo didesnis tūris kūrykloje turi būti virš ardyno, kad lakiosios medžiagos gerai susimaišytų su oru ir turėtų erdvės visiškai sudegti
- Kai kurie katilai turi ir trečiąjį slėgį, užtikrinantį visišką lakiųjų dalelių sudegimą. Labai svarbu, kad kuro dalelės kaip galima ilgiau išliktų degimo zonoje, mat

tuomet galima įsitikinti, kad kuras visiškai oksiduojamas. Šiuo tikslu į zoną antrinis slėgis paduodamas tangentine kreive, kad susidarytų cikloninis degiųjų dujų judėjimas. [14]

Katilui veikiant nominaliu pajėgumu, visi procesai ant ardyno (arba kameroje) vyksta nuolat ir lygiagrečiai.



6.3 pav. Katilo pakopos, degimo zonos ir oro pasiskirstymas deginant medžio kurą kūrykloje su ardynu (stratifikuotas degimas) [36]

Ant ardyno ir degimo kameroje esančio kuro procesų pobūdis ir santykis tiesiogiai lemia kūryklos temperatūros režimą. Pagrindinė karščio generavimo reakcija ant ardyno yra anglies degimas. Reakcijos metu susidarantis karštas anglies dioksidas, susilietęs su žioruojančia anglimi deguonies stokos zonoje, dalį savo deguonies gali atiduoti ir atvėsinti kuro sluoksnį. Tarp degimo ore esančių vandens garų, išsiskiriančių kurui džiūstant, ir žioruojančios anglies gali vykti antrinė sluoksnio atvėsimo reakcija. Per pastarąsias dvi reakcijas susidarantis anglies monoksidas (CO) ir vandenilio dujos (H_2) padidina šilumos išspinduliavimą degimo kameroje, nes dega (oksiduojasi) ne tik lakiosios medžiagos (angliavandeniliai), bet ir anglies monoksidas bei vandenilis. Apibendrinant galima pasakyti taip: degimo kameroje išskiriamas šilumos kiekis, sunaudojamas ant ardyno susidarant anglies monoksidui ir vandeniliui.

Endoterminių kuro sluoksnį vėsinančių ir jo temperatūrą nulemiančių reakcijų vaidmuo gali būti didinamas dūmų dujas nukreipiant po ardynu. Šis metodas vadinamas dūmų dujų recirkuliacija. Jį galima naudoti deginant sausesnį, kaloringesnį, daugiau lakiųjų medžiagų turintį kurą drėgnam kurui skirtoje krosnyje.

Pagrindinis ardyno temperatūros ir kuro sluoksnio degimo reguliavimo tikslas yra neleisti pelenams lydytis ir užkimšti ardyno angų. Jei kūrykla naudojama, pvz., durpėms ir medienos skiedroms, pakaitomis deginti, dūmų dujų recirkuliacija kaitinant durpes itin veiksmingai apsaugo ardyną nuo perkaitimo, o pelenus – nuo lydymosi. Dūmų dujų recirkuliacija taip pat padeda sumažinti azoto oksidų formavimąsi, nes mažesnė kuro sluoksnio temperatūra sumažina atmosferos azoto oksidaciją.

6.5. Degimo nuostoliai ir degimo efektyvumas

Degimo metu susidarančius šilumos nuostolius galima apskaičiuoti pagal drėgnų arba sausų dūmų dujų analizę. Nuostoliai čia skaičiuojami remiantis sausų dūmų dujų analizės metodika, nes ji atitinka šiuolaikines matavimo technikas ir leidžia pažymėti kuro drėgmės bei vandenilio degimo metu susidarančių vandens garų poveikį.

Degimo šilumos nuostoliai apima:

- šilumos nuostolius, atsirandančius dėl fizinio sausų dūmų dujų šilumos praradimo;
- šilumos nuostolius dėl anglies monoksido (CO), angliavandenilių (C_mH_n) ir kitų degių dujinių mišinių kiekio sausose dūmų dujose. Nuostoliai yra šiluma, prarandama dėl chemiškai nevisiško sudegimo;
- šilumos nuostolius pelenuose ir lakiuosiuose pelenuose, susidarančius iš dviejų dalių – fizinė pelenų šiluma ir šiluma, prarasta dėl pelenuose esančios nesudegusios anglies;
- šilumos nuostolius dėl dūmų dujose esančių vandens garų (vandens garų šaltiniai yra kurui džiūvant išsiskiriantys vandens garai ir degant vandeniliui susidarantys vandens garai).

Vandens garai dūmų dujose dažniausiai būna perkaitintų garų pavidalo, tad ši nuostolių dedamoji yra vandens garuose sukaupta energija (tiksliau, vandens garų kondensacijos ir garų perkaitinimo šiluma). Į ją atsižvelgiama skaičiuojant degimo efektyvumą pagal bendrą kuro kaloringumą. Garavimo šilumą galima panaudoti naudingai, pavyzdžiui, tiekiamam arba iš centralizuoto šildymo tinklų atitekančiam vandeniui dūmų dujų kondensatoriuje (skruberyje) pašildyti.

Degimo efektyvumui nustatyti naudojamas vadinamasis netiesioginio šilumos balanso metodas: efektyvumas = 100 – (minus) bendri nuostoliai. Čia bendri nuostoliai ir efektyvumas išreiškiami procentais. Šį efektyvumą galima nustatyti pagal katilo balanso bandymus.

Degimo šilumos nuostoliai neturi būti lygūs katilo ir katilo korpuso šilumos nuostoliams, nes pastarieji apima papildomus nuostolius, pvz., katilo išorinio vėsinimo nuostolius (dažnai vadinamus išspinduliavimo nuostoliais), garų katilo išpūtimo nuostolius, o jei įrengti keli katilai – rezervinio oro (kartais – vandens) srauto katiluose nuostolius, karštos įrangos ir vamzdyno katilo korpuse patiriamus nuostolius ir kt. [14].

6.6. Degimo proceso pagerinimo galimybės

Dūmų dujų analize tiesiogiai nustatoma jų temperatūra, CO_2, O_2 ir CO kiekiai. Pagal tai galima lengvai apskaičiuoti pagrindinę šilumos nuostolių dedamąją, kuria paprastai ir apsiribojama.

Didžiausi šilumos nuostoliai paprastai yra fiziniai dūmų dujų šilumos nuostoliai. Jie priklauso ne tik nuo temperatūros, bet ir nuo oro pertekliaus koeficiento λ (kai kuriuose šaltiniuose žymimo α). Tai yra faktinio ir teorinio degimo oro santykis, naudojamas kaip viena iš svarbiausių degimo savybių. Remiantis dūmų dujų analize, perteklinio oro koeficientą galima nustatyti pagal šį paprastesnį santykį:

$$\lambda = CO_{2,\,maks.} / CO_{2,\,išmat.} \qquad (6.2)$$

Čia $CO_{2,\,maks}$ rodo didžiausią galimą anglies dioksido kiekį kure. Ši vertė priklauso nuo kuro tipo. Kai kurios galimos vertės pateiktos 6.2 lentelėje.

6.2 lentelė. Kai kurių kuro rūšių $CO_{2,\ maks.}$ vertės

Kuras	$CO_{2,\ maks,\ \%}$
Anglys	18,8
Skystasis kuras	15,9
Medis	20,2
Durpės	19,6
Gamtinės dujos	12,1

Daugelis dujų analizatorių anglies dioksido kiekio tiesiogiai nematuoja, o apskaičiuoja jį pagal deguonies kiekį:

$$CO_{2,\ išmat.} = CO_{2,\ maks.} \cdot (1 - O_2 / 20{,}94) \qquad (6.3)$$

Praktinio oro pertekliaus koeficiento vertė itin priklauso nuo degimo technologijos ir kuro, tačiau tam, kad kuras visiškai sudegtų, ji visuomet turi būti didesnė nei 1. Deginant medžio ir durpių kurą užtikrinti tolygų degimo oro pasiskirstymą degimo zonoje gan sudėtinga, todėl visiškam sudegimui pasiekti dažnai reikalingas 1,4 oro pertekliaus koeficientas. Deginant skystąjį ir dujinį kurą optimalus oro pertekliaus koeficientas dažniausiai atitinka 1,02–1,1 diapazoną.

Šilumos nuostolius dėl chemiškai netobulo sudegimo galima tiksliai nustatyti apskaičiuojant CO kiekį dūmų dujose. Didelis CO kiekis (nuo 0,5 %) taip pat rodo galimai nesudegusias anglies daleles (suodžius) dūmų dujose. Tai lengvai pastebima dėl tamsios dūmų spalvos. Nors čia atsižvelgiame tik į CO kiekio ir nuostolių santykį, daugelyje šalių CO išlakos ribojamos dėl poveikio sveikatai ir aplinkai reikalavimų.

Šiais laikais katilo įrangos darbą kontroliuoja kompiuteriai ir juose įdiegtos programos, tačiau rekomenduojama kartą per kelerius metus ar net kasmet atlikti specialius katilo išlakų ir balanso matavimus.

Rezultatas išsamiai nurodo katilo efektyvumą ir jo padidinimo galimybes. Remiantis bandymų rezultatais galima koreguoti katilo darbo programą ir oro bei kuro padavimo nuostatas.

6.7. Degimo produktai, išlakos ir jų poveikis katilo veikimui

6.7.1. Bendroji dalis

Biomasės deginimo tyrimai ir technologinė plėtra sparčiai progresuoja. Tai iš dalies lemia biomasės degimo panašumas į anglies degimą ir ilgametė deginimo patirtis. Pavyzdžiui, išlakų, pelenų ir kondensato susidarymo bei deginimo sukeliamos korozijos mechanizmai deginant biomasę yra panašūs į atitinkamas anglių deginimo savybes. Tačiau biomasės kuro tipų yra labai daug, jie pasižymi skirtingomis cheminėmis ir fizinėmis savybėmis. Skirtingoms kuro rūšims reikia skirtingų degimo sąlygų, jos sudaro skirtingas išlakas (dujines ir kietąsias) ir skirtinguose deginimo įrenginiuose sukelia skirtingas problemas.

Jei degimo procese neįvyksta visiškas sudegimas (kai per mažai oro), formuojasi CO, $C_x H_y$, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai ir dervos (smala). Vykstant oksidacijai susidaro NO_x ir N_2O. Kitą išlakų dalį nulemia biomasėje (įskaitant medieną) esantys neorganiniai junginiai. Kietosios dalelės (PM5 ir PM10) lakiuosiuose pelenuose yra lengvos ir kenkia kvėpuojantiems organizmams. Daugeliu atvejų taip pat yra kenksmingas medžiu kūrenamų katilų dūmų dujose HCl, SO_x ir druskų (KCl) pavidalu esantis nedidelis chloro (Cl) ir sieros (S) kiekis.

6.7.2. Kietųjų dalelių išlakos

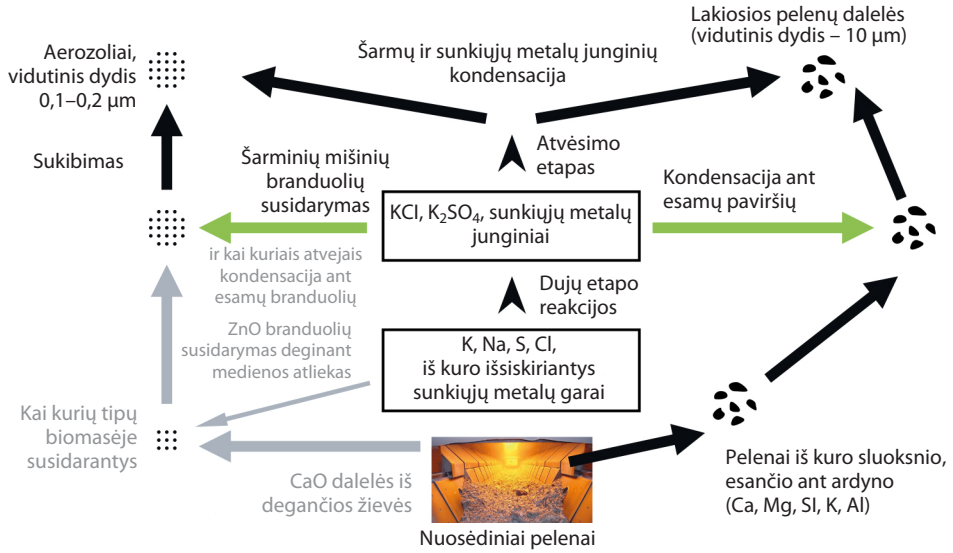
Vykstant degimui katile išsiskiriančias kietųjų dalelių išlakas galima sąlyginai suskirstyti į nuosėdinius pelenus ir lakiuosius pelenus. Deginant medienos kurą nuosėdiniai pelenai krenta į kūryklos apačią (už ardyno galo), ten juostinis ar grandiklinis konve-

jeris juos surenka ir nugabena į surinkimo bunkerį.

Lakieji pelenai yra kartu su dūmų dujomis per katilo dūmtakius į kaminą išmetamų pelenų dalis. Lakieji pelenai surenkami tam skirta įranga (multiciklonai, elektrostatiniai nusodintuvai, rankoviniai filtrai), tačiau juos utilizuoti reikia atskirai ir nerekomenduojama naudoti žemės ūkyje. Nuosėdinių pelenų naudojimas žemės ūkyje tiesiogiai nėra ribojamas, nes juose esantis sunkiųjų metalų kiekis nereikšmingas.

Bendras kietųjų dalelių išlakų kiekis tiesiogiai priklauso nuo naudojamo kuro pelenų. Medienos skiedrų ir granulių pelenų kiekis paprastai yra mažesnis nei 1 %. Grynų medienos skiedrų (nužievinto medžio) pelenų kiekis gali būti net mažesnis nei 0,3 %. Naudojant prastesnės kokybės žaliavas (daugiau žievės, purvo) pelenų kiekis gali būti didesnis, kartais net viršyti 5 %. Kiekis taip pat labai priklauso nuo to, kuriuo metų laiku kuras sandėliuojamas. Sandėliuojant ir išmetant pelenus būtina atsižvelgti į jų kiekį ir sudėtį.

Pelenų susidarymo schema deginant biomasės kurą (įskaitant medžio kurą) ardynų kūryklose pavaizduota 6.4 pav. Kai kurie kuro sudėtyje esantys neorganiniai junginiai gali būti išlaisvinami ir su kietosiomis dalelėmis sudaryti dujinius junginius (kietosios dalelės, lakieji pelenai ir aerozoliai), o dalis pasilieka nuosėdiniuose pelenuose. Paveiksle matyti, kad kietosios dalelės susidaro dviem būdais, nulemiančiais būdingą dvilypį dydžio pasiskirstymą (smulkiosios dalelės ir stambiosios dalelės). Pagrindinis smulkiųjų dalelių susidarymo kelias yra branduolių formavimasis ir kondensacija dujų etape. Smulkiąsias daleles paprastai sudaro aerozoliai, kurių skersmuo siekia nuo 30 iki 300 nm. Antroji dalis – stambiosios dalelės, kurių pagrindas yra nelakieji pelenai, kurių dalelių skersmuo 1 μm < d < 10 pm. Tarp visų pelenų nuosėdiniai pelenai sudaro didžiąją ardynų kūryklų katiluose, kuriuose deginamas medžio kuras, susidarančių pelenų dalį. Nuosėdinių pelenų kiekis priklauso nuo įvairių veiksnių, pvz., ardynų kūryklos katilo tipo, darbo sąlygų, kuro savybių.



6.4 pav. Paprasta pelenų susidarymo deginant biomasę (įskaitant medžio kurą) schema [36]

Ardynų kūryklų katiluose lakiausi medžio kure esantys metalai (pvz., Hg, Th ir Se) visiškai išgaruoja ir gali būti išmetami į atmosferą su dūmų dujomis arba kondensuotis ant aerozolių ir lakiųjų pelenų dalelių paviršių.

Medžio kuru kūrenamų kūryklų su ardynais katilų nuosėdiniai pelenai kelia mažiau problemų, susijusių su toksiškais elementais, juos galima tiesiogiai naudoti laukams ar miškams tręšti (kalkinti) arba išvežti į sąvartynus. Palyginti su nuosėdiniais pelenais, lakiųjų pelenų aerozoliai ir dalelės sukelia daugiau problemų. Pirmiausia jie skatina šlako ir nuosėdų formavimąsi ant kūryklų su ardynais katilų šilumos perdavimo paviršių. Tai sumažina šilumos perdavimo galimybes ir sukelia koroziją [36]. Be to, aerozoliai didina aplinkos taršą ir daro neigiamą poveikį sveikatai. Nustatyta, kad įkvėpus degant biomasei susidarančių aerozolių pelių plaučiai buvo pažeidžiami gerokai labiau nei įkvėpus degant anglims susidarančių aerozolių. Tai veikiausiai lemia degant biomasei susidarančiuose aerozoliuose esantis cinkas.

Aerozolių ir lakiųjų pelenų susidarymo schema deginant medžio kurą kūryklų su ardynais katiluose pateikta 6.4 pav. Vienas iš veiksnių, kuriuos reikia mažinti projektuojant ir eksploatuojant deginimo įrenginius, yra katilo šildymo paviršių užteršimo ir korozijos problemos.

6.7.3. Galimi nuosėdų susidarymo ir aukštos temperatūros nulemtos korozijos keliamų problemų sprendimai

Tiek aukštos temperatūros sukeliamą koroziją, tiek nuosėdų susidarymą degant medžio kurui galima sumažinti naudojant priedus arba, pavyzdžiui, kartu deginant durpes, anglis ar dumblą.

Aukštos temperatūros sukeliamą koroziją galima sumažinti naudojant naujus metalo lydinius, sudėtinę keraminę dangą arba sumažinant perkaitintuvų paviršiaus temperatūrą. Pirmasis sprendimas yra priedų naudojimas pelenų lydymosi taške (deginant medžio kurą to paprastai nereikia). Degant biomasei kai kurie nešvarumai neleidžia susiformuoti dujų pavidalo KCl arba reaguodami su KCl sudaro mažiau ėsdinančius komponentus. Kuo žemesnė pelenų temperatūra ir (arba) kuo lakesni kalcio ar chloro junginiai, tuo didesnė pelenų sukeliamų problemų rizika. Padidinus pelenų lydymosi tašką biomasės kuro naudojimo potencialas smarkiai išauga. Pelenų lydymosi temperatūrą kūryklų su ardynais katiluose iki aukštesnės nei įprasta temperatūros padidina šie priedai: Al_2O_3, CaO, MgO, $CaCO_3$, $MgCO_3$ ir kaolinas [36].

6.7.4. Dujų pavidalo išlakos

Kenksmingos dujinės išlakos apima sieros išlakas (SO_2), azoto išlakas (NO_x)[3], anglies monoksidą, nesudegusius angliavandenilius (C_xH_y) ir anglies dioksidą CO_2.

Anglies dioksido išlakas reikia tvarkyti atskirai. Padidėjęs jų kiekis atmosferoje prisideda prie globalinio atšilimo. Biomasei augant fotosintezės procese iš atmosferos sugeriama tiek anglies dioksido, kiek jo išmetama į aplinką vėliau šį kurą deginant. Kita vertus, biomasei yrant gamtoje į atmosferą taip pat patenka anglies dioksido. Jei biomasė deginama tokia pat apimtimi, kiek jos natūraliai užauginama, išlakos ją deginant nepaveikia anglies dioksido kiekio atmosferoje. Į šį anglies dioksidą neatsižvelgiama ir tarptautinėse sutartyse, kuriomis reguliuojamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis. Kitas svarbus medžio kuro naudojimo aspektas susijęs su žemės naudojimo pokyčiais[4].

---

[3] NO_x simboliu žymimi azoto oksidai NO ir NO_2. Prie azoto išlakų galima priskirti ir juoko dujas N_2O.

[4] Nuo 2008 m. Europos Sąjunga vykdo LULUCF sektoriaus (žemės naudojimas, žemės naudojimo paskirties keitimas ir miškininkystė) išlakų stebėseną. Kad būtų galima pasiekti Europos Sąjungos numatytus 2030 m. klimato politikos tikslus, Europos Komisija 2016 m. pasiūlė įtraukti žemės naudojimo, žemės naudojimo paskirties keitimo ir miškininkystės sukeliamas išlakas į šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) mažinimo programą. Iki to laiko šios išlakos nebuvo kontroliuojamos. Paryžiaus klimato susitarime taip pat pabrėžiama kritinė žemės naudojimo kovoje su klimato kaita svarba. Pasirašius Kioto protokolą buvo pradėtas miškų auginimo, kirtimo ir tvarkymo nulemiamo anglies ciklo stebėjimas. Vis dėlto tai tik stebėsena, nepasirašyta jokių įpareigojančių sutarčių. ES valstybės narės vis dar tariasi dėl tikslių LULUCF išlakų skaičiavimo taisyklių ir jų įgyvendinimo 2021–2030 m. laikotarpiu.

Palyginti su cirkuliacinio verdančiojo sluoksnio katilais, didelė kūryklų su ardynais katilų ir nedidelių šildymo įrenginių eksploatacijos problema, ypač senesniuose įrenginiuose, yra nevisiškas sudegimas. Nevisiško sudegimo produktai gali sudaryti kitus teršalus. Pavyzdžiui, nevisiškai sudegusi anglis (suodžiai) lakiuosiuose pelenuose esant gan dideliam oro pertekliaus koeficientui (net deginant medžio kurą kūryklų su ardynais katiluose) gali sukelti dioksinų ir furanų (PCDD / PCDF, arba *polichlorintieji dibenzo-p-dioksinai / dibenzofuranai*) lygio padidėjimą. Situacija tampa ypač pavojinga, kai į medžio kurą įmaišoma, pavyzdžiui, buitinių atliekų (plastikas, chemiškai apdorota ar užteršta mediena ir t. t.). Pagrindinė nevisiško sudegimo kūryklų su ardynais katiluose priežastis yra santykinai prastas maišymasis su oru kuro sluoksnyje ir degimo kameroje. Geresnės oro tiekimo ir optimizuotos ardynų sistemos (oro paskirstymas į sekcijas) gali kur kas pagerinti susimaišymą, sumažinti perteklinį oro suvartojimą, pagerinti degimo procesą ir sumažinti teršalų susidarymą. Kitas labai svarbus aspektas, susijęs su išlakomis, yra degančių dalelių buvimo degimo zonoje laikas. Kuo tolygiau susimaišo oras ir kuras ir kuo ilgiau dalelės laikosi degimo zonoje, tuo labiau tikėtina, kad jos visiškai sudegs ir nesusidarys CO, $C_x H_y$, poliaromatinių angliavandenilių, dioksinų, furanų ir dervos (smalos) [36].

Kadangi degimo temperatūra kūryklose su ardynais yra santykinai žema, siekiant pagerinti degimo procesą itin svarbu geras kuro ir oro sumaišymas ir pakankamas to mišinio buvimo aukštesnėje temperatūroje laikas. Jei katile yra vandeniu aušinamas ardynas, aušinimui reikalingas santykinai žemas pirminis slėgis. Galiausiai degios dujos kuro sluoksnį palieka lėčiau ir iš jo kyla mažiau degių dalelių. Jei tame pačiame katile naudojama pagerinta antrinio slėgio tiekimo sistema, kurią galima optimizuoti siekiant pagerinti oro ir degių dujų mišinį (o tai savo ruožtu pagerina degimą kūrykloje), nevisiško sudegimo išlakos sumažėja iki minimumo.

Išbuvimo laikas laikomas pakankamu, jei dalelė aukštoje (> 850 °C) degimo zonos temperatūroje išbūna bent > 1,5 s, o oro pertekliaus koeficientas turi būti minimalus rekomenduojamas atitinkamam katilo ardynui ir kūryklai.

Sieros, chloro ir azoto išlakos priklauso nuo šių elementų kiekio kure ir degimo proceso. Daugelio rūšių biokure azoto ir sieros nėra daug, o jų junginių surinkimas iš dūmų dujų biokuro deginimo įrenginiuose nėra įprastas, tačiau imamasi kai kurių priemonių siekiant sumažinti jų susidarymą.

Degimo ant ardyno metu kuro sudėtyje esantis chloras (Cl) sudaro dujinius junginius (HCl) arba šarminius chloridus (pvz., KCl ir NaCl), o siera (S) – dujinius junginius (SO_2) ir šarminius sieros junginius bei sulfatus (daugiausia chloro ir sieros yra spygliuose ir žievėje). Kadangi iš kūryklos išmetamos dūmų dujos atvėsta, didžioji dalis druskų, kuriose yra chloro, kondensuojasi ant katilo paviršių už kaitinimo zonos (perkaitintuvo, ekonomaizerio, oro šildytuvo) arba dūmų dujose susijungia su likusiomis pelenų dalelėmis.

HCl ir SO_2 išlakas iš biomasės, degančios ant ardyno, galima reguliuoti įvairiais būdais. Jėgainėse dažniausiai naudojamos priemonės yra dūmų dujų valymo sistemų įrengimas (tačiau tik didelėse katilinėse ar kogeneracinėse jėgainėse) ir dūmų dujų papildymas trintu kalkakmeniu arba sausoji jų sugertis naudojant $Ca(OH)_2$. HCl ir SO_2 išlakas iš dalies galima sumažinti sugeriant ant tekstilinio rankovinio filtro paviršiaus. Tokie filtrai įrengiami siekiant surinkti lakiuosius pelenus.

NO_x išlakų susidaro dėl įvairių procesų. Dėl santykinai žemos biomasės degimo temperatūros kūryklų su ardynais katiluose šiluminio NO_x (jungiantis su atmosferoje esančiu deguonimi) procentą galima laikyti mažu ar nereikšmingu, o pagrindinis NO_x šaltinis yra kure esantis azotas.

7. Deginimo technologijos ir įranga

Deginimo įrenginiai naudojami įvairiais technologiniais tikslais:

- katilinėse šilumos gamybai.
- kogeneracinėse jėgainėse;
- kitais šilumos gamybos tikslais (pvz., pramoninės krosnys, mažos krosnys).

Šiame vadove daugiau dėmesio skiriama mediena kūrenamiems katilams, naudojamiems centralizuoto šildymo katilinėse, tačiau trumpai aptariami ir individualių namų šildymo įrenginiai (katilai, krosnys, šilumos siurbliai ir saulės energijos kolektoriai), taip pat kogeneracinės šilumos ir elektros sistemos.

Katilines pagal jų pajėgumą galima sugrupuoti taip:

- mažesnės nei 0,1 MW – mikrokatilinės;
- nuo 0,1 iki 5 MW – mažos katilinės;
- nuo 5 iki 50 MW – vidutinės katilinės;
- virš 50 MW – didelės katilinės.

Kitame skyriuje (8. Šilumos tiekimo būdai ir naudojama įranga) išsamiau aptariami įvairūs energijos keitikliai – daugiausia deginimo įrenginiai, tačiau trumpai apžvelgiami ir šilumos siurbliai bei saulės energijos kolektoriai, papildantys deginimo įrenginius tiekiant šilumą pastatams.

Kietojo kuro (įskaitant medžio kurą) deginimo įrenginių technologiniai sprendimai skiriasi pagal kuro dalelių ir dujinės aplinkos sąveiką. Išskiriamas deginimas deginimo sluoksnyje, dulkių deginimas, cikloninis deginimas ir deginimas verdančiajame sluoksnyje. Kietojo kuro deginimo technologijas taip pat galima skirstyti į aukštos ir žemos temperatūros technologijas. Dulkių deginimas vykdomas aukštoje temperatūroje, o deginimas verdančiajame sluoksnyje – žemoje [37].

- Sluoksninis deginimas arba deginimas ant ardyno. Jei ant kūryklos ardyno sudaromas kuro sluoksnis, toks deginimas laikomas deginimu ant ardyno. Deginimo ant ardyno technologija apima įvairius sprendimus, kuriuose naudojami įvairiausios konstrukcijos ardynai. Dažniausiai jie skirstomi į dvi grupes – technologiniai sprendimai su stacionariais (fiksuotais) arba mechaniniais (mobiliaisiais) ardynais.
- Pavieniais atvejais deginamos medžio kuro dulkės – tuomet medienos šlifavimo dulkės deginamos kartu su skystuoju kuru arba be jo.
- Kai vykdomas cikloninis deginimas cilindrinėje kūrykloje, vyksta intensyvus sūkurinis kuro ir oro judėjimas.
- Deginimas verdančiajame sluoksnyje – tai deginimas, kai naudojamas vadinamasis kunkuliuojantysis sluoksnis arba cirkuliacinis verdantysis sluoksnis.
- Kuro gazifikacija – susidarančios dujos deginamos skystojo ar dujinio kuro katile, jas taip pat galima naudoti kaip dujinio variklio ar dujų turbinos kurą.

7.1. Kuro sluoksnio deginimas

Kuro sluoksnio deginimas yra seniausias kietojo kuro deginimo metodas, nepraradęs savo svarbos iki šiol. Ši technologija dominuoja mažesnio nei 10 MW galingumo medžio kuro katiluose, bet tai nereiškia, kad ji nėra naudojama ir didesnio galingumo medžio kuro katiluose.

Deginant kuro sluoksnį kuro dalelės nejuda. Degimo oras ir susidariusios degios dujos juda tarp dalelių esančiais tarpais. Dažniausiai daleles veikianti sunkio jėga viršija pro ardyno apačią pučiamo degimo oro dinaminę trauką, tačiau jei dalelės labai mažos (pvz., smulkios frakcijos medžio skiedros), jos iš sluoksnio gali pakilti kartu su degimo dujomis (pvz., degant susidarančiais pelenais). Kuro sluoksnis gali būti stacionarus (plokščias ardynas) arba judantis (mechaninis nuožulnus ardynas) kūryklos sienelių ir ardyno atžvilgiu.

Vienas iš svarbiausių kuro sluoksnio kūryklos (kūryklos su ardynu) parametrų yra ardyno plotas. Nuo jo dydžio priklauso deginimo įrenginio šiluminė galia. Ardyno ploto didinimo ribojimai riboja ir kuro sluoksnio deginimo blokų pajėgumą. Siekiant padidinti deginimo įrenginių pajėgumą, ypač jėgainėse, buvo sukurta dulkių deginimo technologija ir atitinkami dulkių deginimo katilai. Kuro sluoksnio deginimas ir toliau išlieka naudingas mažesniuose įrenginiuose [37].

Iš visų inžinerinių deginimo sprendimų kūryklos su ardynais yra dažniausiai pasitaikančios mažo ir vidutinio pajėgumo įrenginiuose. Istoriškai kūryklos su ardynais buvo padalytos į mechaniškai valdomas kūryklas ir kūryklas, į kurias kuras tiekiamas automatiškai. Šiuo metu mechaniškai valdomų kūryklų skaičius yra labai mažas, net individualių namų katiluose tinkamas kuras (pvz., granulės) vis dažniau tiekiamas automatiškai. Vis dėlto naudojant mažu pelenų procentu pasižymintį medžio kurą pelenus rankiniu būdu galima šalinti ir iš didelių (iki 100 kW) katilų.

Nors ardynų yra įvairiausių tipų, juos galima skirstyti taip:

- stacionarieji ardynai;
- mechaniniai sukamieji ardynai;
- grandininiai ardynai;
- specialūs ardynai, skirti specialiam kurui, pvz., buitinėms atliekoms, deginti (čia neaptariami).

7.1.1. Kūryklos su stacionariaisiais ardynais

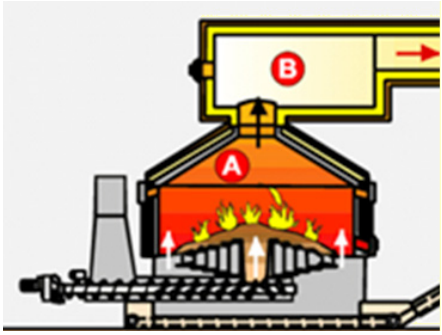
Dažniausiai stacionarusis ardynas įtaisomas kūrykloje tam tikru kampu, kad kuras kristų veikiant sunkio jėgai iš ardyno džiovinimo zonos į anglies (kokso) degimo zoną. Stacionariojo sukamojo ardyno posvyrio kampas apytiksliai lygus kuro kritimo kampui. Priklausomai nuo kuro tipo ir ardyno elementų konstrukcijos, ardynams rekomenduojami tokie nuolydžiai [14]:

- sukamasis ardynas su strypais, skirtas medžio skiedroms ir durpėms deginti: 32–36 °C;
- laiptuotasis ardynas pjuvenoms deginti: 38–40 °C.

Sukamieji ardynai sudaryti iš ardyno elementų ar strypų, įtaisytų kuro srauto kryptimi; laiptuotuosius ardynus sudaro pakopos, išdėstytos statmenai kuro srautui [38]. Laiptuotieji ardynai praėjusio amžiaus viduryje Estijoje buvo naudojami daugiausia šlapioms pjuvenoms deginti lentpjūvėse. Tiekiamas kuras, veikiamas natūralios sunkio jėgos, slenka ardynu žemyn, kol visiškai sudega, o pelenai per ardyno kraštą byra į tam skirtą surinkimo konteinerį.

Sukamieji ardynai paprastai turi didelį aktyvų plotą (oro kanalų santykis su visu ardyno plotu), tad per ardyną tekančio oro srauto greitis išlieka mažas, o oro pasiskirstymas yra netolygus. Siekiant užtikrinti pakankamą degimo oro tiekimą per ardyną, oro pertekliaus koeficientas turi būti santykinai didelis, o tai mažina degimo efektyvumą. Šiuolaikiniuose katiluose su judamojo ardyno kūrykla aktyvus ardyno plotas sudaro vos kelis procentus, oro pasiskirstymas yra santykinai tolygus, tad efektyvumas – didesnis.

Be vienpusių sukamųjų ardynų, naudojami ir kūginiai sukamieji ardynai (7.1 pav.), į kuriuos kuras tiekiamas per nedidelius konvejerinius tiektuvus iš apačios arba, naudojant sunkio jėgą, iš viršaus. Kūginis ardynas gali būti stacionarus arba su sukamuoju pagrindu (7.3 pav.).



7.1 pav. A. Pirminio degimo kamera su sukamuoju ardynu
B. Antrinio degimo kamera [39]

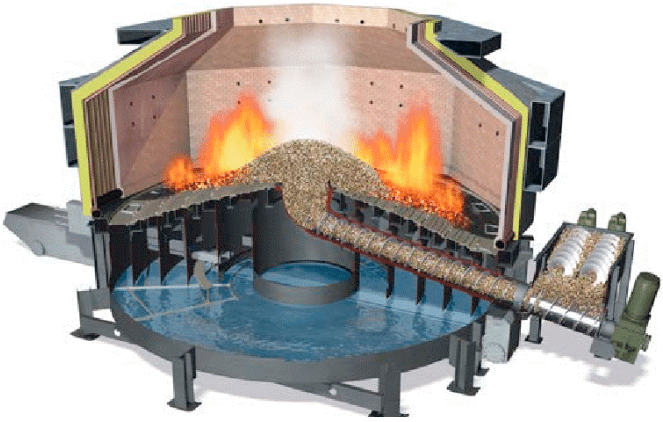
7.1.2. Kūryklos su judamaisiais ardynais

Palyginti su kūryklomis su stacionariaisiais ardynais, judamojo ardyno privalumas yra tas, kad dėl judančių ardyno elementų galima geriau kontroliuoti kuro sluoksnio judėjimą, kuro sluoksnis ant ardyno pasiskirsto vienodžiau, tad degimo procesas tampa efektyvesnis, o dūmų dujose sumažėja kenksmingų komponentų (ypač anglies monoksido (C)). Egzistuoja kombinuotas sprendimas – dvigubo ardyno konstrukcija su stacionaria viršutine dalimi džiovinimo ir pirolizės zonoms ir mažiau besisukančiu judamuoju ardynu degimo zonai.

Ardynų jungtys kūryklose su judamaisiais ardynais juda eilėmis (viena ardyno jungčių eilė juda, kita nejuda ir t. t.), šachmatų lentos principu, tos pačios eilės jungtims pasislenkant per vieną poziciją, arba ardyno eilės juda pakaitomis, pirmiausia viena, tuomet kitos (7.2 pav.). Ardyno elementų judėjimas užtikrina vienodą kuro sluoksnio storį ir tolygų jo padavimą.

Jei kuras labai drėgnas, kūryklos sienelės paprastai neaušinamos ir yra sumūrytos iš keraminių medžiagų (7.3 pav.). Jų eksploatacinė temperatūra turi būti gan aukšta, kad nuo įkaitusių sienų spinduliuojanti šiluma pakankamai išdžiovintų kurą, leistų išsiskirti lakiosioms medžiagoms ir sukurtų tinkamas degimo sąlygas tiek ant ardyno, tiek viršutinėje degimo zonoje. Jei tokioje neaušinamoje kūrykloje deginamas sausas kuras (net trumpą laiką), temperatūra pradės greitai kilti tiek kuro sluoksnyje, tiek degimo kameroje. Tai gali sukelti pelenų lydymąsi, ardyno ir jo oro angų užsikimšimą, kūryklos vidinės dangos lydymąsi.

7.2 pav. Judamasis medžio kuro deginimo ardynas [40, 41]



7.3 pav. Bendrovės „Wärtsilä“ patentuota degimo kamera „BioGrate“ su kūginiu padavimo ardynu apačioje [42]

Bendrovės „Wärtsilä“ patentuota degimo kamera su kūginiu ardynu leidžia deginti ir itin sausą, ir itin drėgną (iki 65 %) kurą (7.3 pav.). Naudojant „BioGrate“ deginimo technologiją, kuras į kūginio ardyno centrą tiekiamas nedideliu sraigtiniu tiektuvu, o iš ten slenka žemyn į kūgio pakraščius. Galima naudoti praktiškai bet kokį biokurą, kurį sraigtinis konvejeris gali tiekti į kūryklą.

Kūginį ardyną sudaro koncentriniai žiedai. Stacionarūs ir sukamieji žiedai yra įtaisyti pakaitomis ir kas antras sukamasis žiedas juda priešinga kryptimi, t. y. vienas žiedas juda laikrodžio rodyklės kryptimi, o kitas – prieš laikrodžio rodyklę „BioGrate“ ardyno judėjimas užtikrina itin tolygų kuro pasiskirstymą ant viso ardyno paviršiaus. Ardyno žiedai varomi hidraulinėmis pavaromis. Nuo ardyno nukritę pelenai ir šlakas patenka į po ardynu esančią vandens pripildytą kamerą, o iš jos pašalinami naudojant šlapių pelenų šalinimo sistemą.

Siekiant didelio deginimo efektyvumo ir minimalaus išlakų lygio, ypač svarbi optimalaus oro paskirstymo ir valdymo sistema, apimanti reguliuojamo sukimosi greičio orpūtes. Be to, naudojama kontroliuojama dūmų dujų recirkuliacija, leidžianti vartotojui kontroliuoti šilumos išsiskyrimą ardyne ir užtikrinanti švarų įvairių kuro rūšių deginimą išsiskiriant mažai NO_x ir CO.

Išorinis kūginio ardyno skersmuo priklauso nuo kūryklos pajėgumo: 4,15 m skersmuo, kai pajėgumas mažiausias (3,5 MW), ir 9,5 m, kai pajėgumas didžiausias (20 MW).

Jeigu medžio kuro deginimo kūrykla sukonstruota kaip pirminė kūrykla, katilinėje ji turi būti sujungta su tinkamu katilu. Nemažai gamintojų konstruoja ir tiekia kūryklas bei katilus kaip gamykloje pagamintą vientisą agregatą, ypač mažos galios įrenginiams. Tokiu atveju paprasčiau šalinti pelenus iš po ardyno, iš po vertikalių dūmtakių ir iš po dūmų dujų valymo įrenginių. XX a. 10-ajame dešimtmetyje Estijai reikėjo skubiai persiorientuoti ir pereiti nuo importuojamo skystojo kuro prie vietinio kuro rūšių. Senieji skystojo kuro ir dujiniai katilai naudojami ir toliau, tačiau sumontuotos pirminės kūryklos, kuriose deginamas medžio ir durpių kuras.

Kai katile deginamas sausas kuras, kūryklos sieneles būtina aušinti joje įrengtais šildymo paviršiais. Nuo kūryklos vidinės dangos aušinimo sąlygų tiesiogiai priklauso tai, kokios rūšies ir kokio drėgnumo kurą galima deginti. Deginant sausą kurą (pvz., baldų pramonės atliekų medienos granules) stabili kūryklos temperatūra išlaikoma iš esmės dėl aušinamų sienų. Taip pat gali reikėti suprojektuoti lakiojo degimo zoną, kad liepsna nesiektų kuro sluoksnio.

Tokioje aušinamoje kūrykloje deginant drėgną kurą temperatūra ant ardyno išlieka žema, nes sąlygos kurui džiūti yra nepakankamos. Dėl to pelenuose atsiranda nesudegusių kuro dalelių, ne iki galo sudega lakiosios medžiagos ir greitai sumažėja deginimo efektyvumas. Be to, nesudegusios dujos ir suodžiai gali patekti į dūmtraukį, o šildymo paviršiai ir dūmtakiai gali apsinešti derva.

Kūryklos sienelėms aušinti jose gali būti įrengti oro kanalai. Kartu pašildomas tiekiamas degimo oras, tad pagerėja drėgno kuro deginimo sąlygos. Tokio tipo kūryklos labai paplitusios. Jos puikiai tinka vidutinio drėgnumo kurui, pvz., skiedroms, kurių būdingasis drėgnis svyruoja nuo 35 iki 55 % [14].

7.1.3. Kūrykla su grandininiu ardynu

Grandininis ardynas pavaizduotas 7.4 pav. Kūrykla su grandininį ardyną turinčiu katilu parodyta 7.5 pav.

Kuras iš konvejerio nukreipiamas tiesiogiai į kelių narelių grandininį uždaro paviršiaus ardyną. Sluoksnio aukštį galima reguliuoti. Keičiant grandininio ardyno judėjimo greitį, galima lanksčiai reguliuoti kuro judėjimą iš džiovinimo zonos. Taip įmanoma pasiekti, kad anglis visiškai sudegtų, o pelenuose, krintančiuose nuo ardyno, nebūtų degiųjų medžiagų. Kai pereinama nuo vienos rūšies kuro prie kitos, pvz., nuo skiedrų prie akmens anglių, būtina keisti ardyno judėjimo greitį, taip pat pirminio ir antrinio oro kiekius ir proporcijas. Pagrindinis aspektas yra tas, kad ardynas nėra kiauras, t. y. mažesnės kuro dalelės negali iškristi į po ardynu esančius oro paskirstymo blokus.

Ardynui slenkant horizontaliai kuras išdžiūsta ir sušyla, užsidega, dega (sluoksnis plonėja), o likę pelenai ir šlakas per ardyno kraštą krenta į pelenų bunkerį. Oro tiekimas po ardynu suskirstytas į sekcijas (atskirus oro blokus), nes ardyno srityje kuro degimo intensyvumas nėra tolygus. Iš kuro sluoksnio kylančios degios dujos dega naudodamos į kūryklos kamerą tiekiamą antrinį orą.

Grandininiai ardynai gerai tinka kelių rūšių kurui rūšių toje pačioje kūrykloje deginti didesniu pajėgumu. Jei pagrindinis kuras yra medienos skiedros, taip pat galima deginti durpes ir anglį.

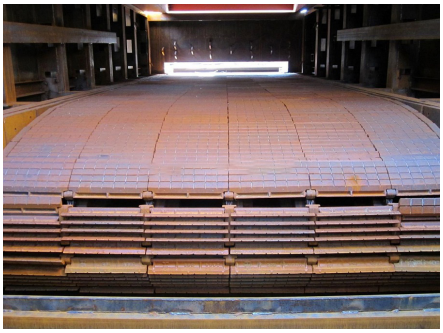
7.2. Pulverizuoto kuro deginimas

Pirmieji bandymai deginti pulverizuotą kurą atlikti daugiau nei prieš šimtą metų. Šis deginimo metodas yra įprastas didelės energinės galios įrenginių katiluose. Pačių didžiausių katilų (superkritinius parametrus siekiantys garai) šiluminė katilo galia siekia iki 3000 MW. Naudojant tokį katilą aukšti parametrai leidžia pasiekti 40–43 % jėgainės efektyvumą. Pulverizuoto kuro katilai retai naudojami medžio kurui deginti. Beje, ir tokiais atvejais jų galia yra mažesnė nei deginant anglis ar lignitą. Kombinuotajam anglies ir biokuro deginimui galima naudoti ir didelius katilus.

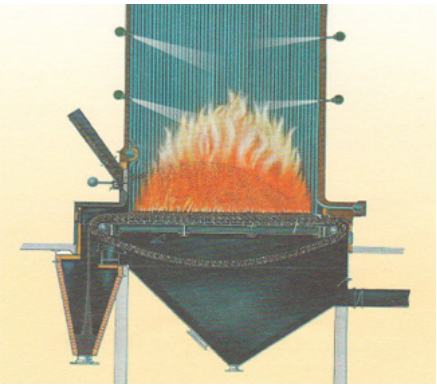
Pulverizuoto kuro katilo kūrykloje kietasis kuras (anglys, lignitas, skalūnai ir kt.) deginamas sutrynus į itin smulkius miltelius – kuro dulkes (7.6 pav.). Vidutinis dalelės skersmuo, nusakantis granuliometrinę dulkių sudėtį, siekia nuo 30 iki 60 μm. Pulverizuota šildymo kūrykla arba kūryklos kamera turi degiklius ir yra ekranuota (dengta šilumos mainų funkciją vykdančiu paviršiumi), jos skerspjūvis yra kvadrato ar stačiakampio formos. Degančio kuro ir dujų šiluma perduodama kūryklos sienas dengiančiam šilumokaičio paviršiui, t. y. kūryklos dangai (vamzdžiams).

Priklausomai nuo kuro dalelių, patenkančių į įrenginį, dydžio, kurą pirmiausia sutrupina volas ar žnypliniai trupintuvai, tuomet kuras patenka į malūnus (rutulinius, smūginius), kur pasiekiamas reikiamas dulkių smulkumas. Trupinimas taip pat gali būti vykdomas specialiuose ventiliatoriuose. Kuro dulkės kartu su pirminiu oru per degiklius patenka į kūryklą. Kūrykloje susiformuoja aukštos temperatūros liepsna (jos centre temperatūra pakyla iki 1400–1700 °C). Pelenų srautas padalijamas į šlaką (nuosėdiniai pelenai ir šlakas), kuris nusėda kūryklos dugne, ir lakiuosius pelenus, kurie išmetami kartu su degimo dujomis.

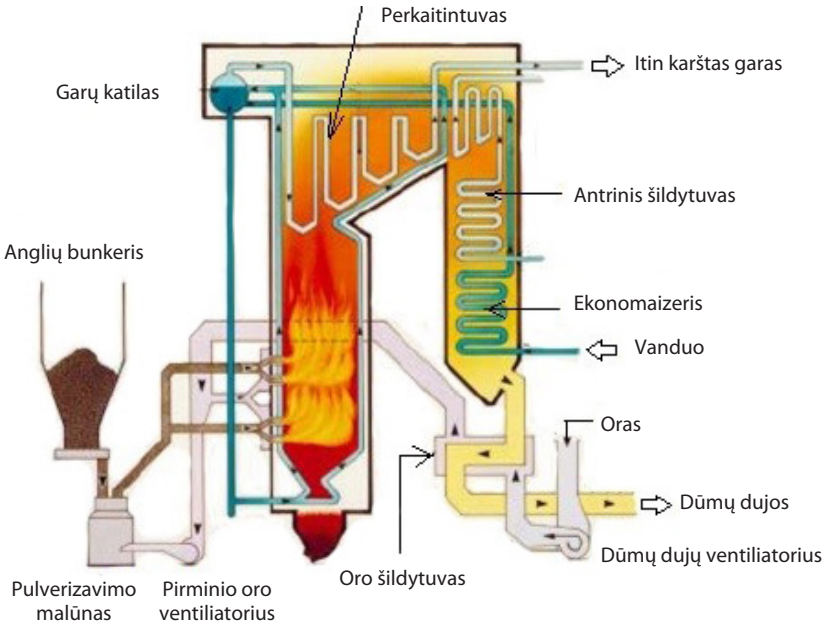
Pulverizuoto kuro deginimas sukelia didelių problemų, kaip antai intensyvus šildymo paviršių užteršimas (ypač kūrenant daug pelenų sudarantį kurą), intensyvus azoto oksidų susidarymas iš atmosferoje esančio azoto, santykinai sudėtingas dūmų dujų valymas.



7.4 pav. Grandininis ardynas [43]



7.5 pav. Katilo kūrykla su grandininiu ardynu [44]



7.6 pav. Kuro dulkėmis (anglimis) kūrenamas katilas (garų katilo kūryklos ir šildymo paviršių dalį skiria raudona linija) [45]

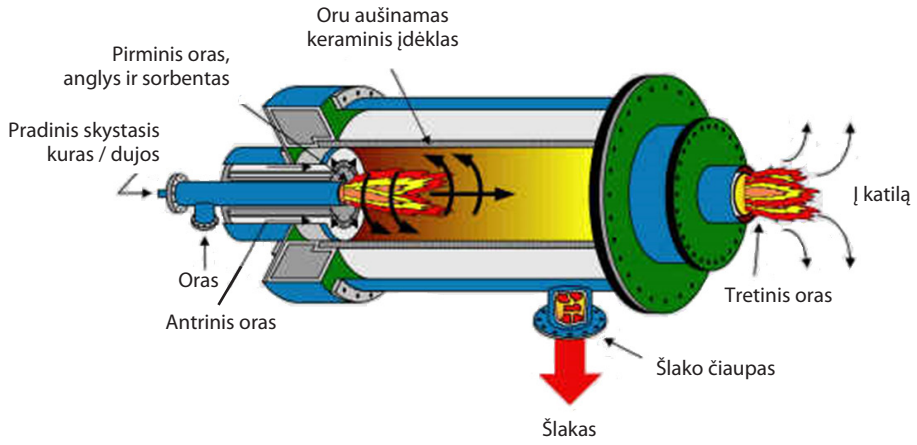
7.3. Cikloninis deginimas

Cikloninė kūrykla yra iš vidaus dengtas keraminis cilindras, į kurį pirminis oras ir kuras paduodami ašine kryptimi, iš degiklio centro į kūryklos pradžią, o antrinis oras dideliu greičiu paduodamas tangentine kryptimi. Taip sukuriamas sūkurys, kuriame kuras ir oras gerai susimaišo (7.6 pav.). Tinkamesnis kuro dalelių skersmuo paprastai yra 4–6 mm. Cilindrinė dalis gali būti aušinama, t. y. dengta vandens vamzdžiais, arba ne Krosnies temperatūra priklauso nuo deginamo kuro savybių, tačiau paprastai nenukrenta žemiau 1600 °C. Degios dujos šildo vamzdžius, o šiluma perduodama į vandenį, kuris išgaruoja. Šio tipo kūryklos ypatybė yra ta, kad dėl aukštos degimo temperatūros šlakas lydosi, krenta į kūryklos apačią ir išteka iš jos skysčio pavidalu. Kūrykla pastatyta su nedideliu posvyriu, kad skystas šlakas ištekėtų.

Degios dujos iš kūryklos patenka į antrinio degimo kamerą, į kurią pučiamas tretinis oras, taip užtikrinant visišką sudegimą. Čia iškrenta išmetamosiose dujose esančių išsilydžiusių pelenų dalelės. Iš katilo išeinančių lakiųjų pelenų kiekis yra nedidelis [37]. Cikloninėje kūrykloje galima deginti įvairų kurą – bitumines anglis, lignitą, mineralinį antracitą, medžio skiedras, koksą ir senas padangas. Nors šis deginimo metodas nėra labai paplitęs, juo deginamas visas nurodytų rūšių kuras.

Projektuojant ir konstruojant ciklonines kūryklas atsižvelgiama į keturis privalumus:

- trumpesnis kuro paruošimo laikas ir mažesni kaštai (palyginti su dulkių deginimu);
- maža kompaktiška kūrykla;
- mažas lakiųjų pelenų kiekis, nes didžioji dalis pelenų pašalinama kaip skystas šlakas;
- lankstus kuro naudojimas.



7.7 pav. Horizontali ciklonine kūrykla [46]

7.4. Deginimas verdančiajame sluoksnyje

Deginimo verdančiajame sluoksnyje pradžia laikomi 1921 m., kai Fritzas Winkleris (Vokietija) leisdamas degias dujas per kokso daleles ardyne pastebėjo, kad atsiradus dalelių tankio ir aerodinaminės kuro sluoksnio traukos pusiausvyrai kuro dalelės kuro sluoksnio nepalieka, o suformuoja į verdantį skystį panašią plūdrią būseną. Jis šį pseudoskystį pavadino verdančiuoju sluoksniu (tai sudėtinga hidrodinaminė sistema – kietosios dalelės, pakibusios dujų garuose). Dujų ar oro srauto greitis turi neviršyti pneumatinio dalelių gabenimo greičio, nes tuomet dalelės kartu su dujų srautu pasišalintų iš kuro sluoksnio [37].

Kietojo kuro verdančiojo sluoksnio technologija įvairiomis formomis tebėra plačiai naudojama, be to, nuolat tobulinama ir plečiama. Katilų, kuriuose naudojama ši deginimo technologija, galia yra nuo kelių iki 1500 MW. Didžiausios galios katilai turi cirkuliacinį verdantįjį sluoksnį. Šiuose katiluose galima kūrenti patį įvairiausią kurą – nuo biokuro iki antracito. Šiais laikais verdančiojo sluoksnio katilai (50–150 MW galios) dažniausiai įrengiami medžio kuru kūrenamose vidutinio galingumo kombinuotose šilumos ir elektros energijos jėgainėse.

Didėjančio verdančiojo sluoksnio technologijų paplitimo priežastis yra galimybė toje pačioje kūrykloje naudoti įvairų prastos kokybės kurą. Kitas didelis šių katilų privalumas yra tai, kad jie leidžia lengviau įgyvendinti nuolat griežtėjančius reikalavimus dėl išlakų (ypač sieros dioksido ir azoto oksidų). Deginant sieringą anglį, pelenuose, pridėjus sorbento (kalkių), gali susiformuoti sieros junginiai (skalūnuose sorbento jau yra, jo pridėti nereikia).

Vykstant degimui verdančiajame sluoksnyje NO_x iš atmosferinio azoto susidaro nedaug, nes verdančiojo sluoksnio temperatūra gerokai žemesnė nei temperatūra, pasiekiama pulverizuoto kuro kūryklose. Daugeliu atvejų ji svyruoja nuo 750 iki 900 °C. Žemesnę temperatūrą lemia stabilus kuro degimas ir pelenų formavimasis viršuje [37].

Viena iš gerųjų verdančiojo sluoksnio savybių yra didelė kietųjų dalelių koncentracija, lemianti didelį šiluminį pajėgumą (dujų šiluminį pajėgumą viršija daugiau nei 1000 kartų).

Taip pat, atsižvelgiant į intensyvų šilumos perdavimą tarp dalelių ir jas supančios dujinės aplinkos, verdančiajame sluoksnyje temperatūra pasiskirsto labai tolygiai.

Svarbus verdančiojo sluoksnio kūryklos struktūrinis elementas yra apatinėje jos dalyje esantis ardynas (tai gali būti vien oro purkštukai). Per jį į kūryklą tiekiamas kuro degimui užtikrinti ir verdančiojo sluoksnio plūdrumui palaikyti reikalingas oras. Nuo įprasto katile su kūrykla įrengiamo ardyno jis skiriasi konstrukcijos paprastumu ir gerokai mažesniu skerspjūviu. Šis ardynas sukuria pasipriešinimą oro srautui ir taip tolygiai jį paskirsto per visą kūryklos plotą. Vis didėjant į deginimo procesą paduodamo oro srauto greičiui, gali būti pasiekiama būsena, kai oras pakelia kuro sluoksnį ir kuro dalelės pakimba oro sraute ir cirkuliuoja sluoksnyje. Atrodo, kad kuro sluoksnis pradeda virti. Aprašytas verdantysis sluoksnis vadinamas stacionariuoju verdančiuoju sluoksniu. Drėgmė, išsiskyrusios lakiosios medžiagos, pelenai ir smulkios kuro dalelės iš kuro sluoksnio išnešami oro srauto. Smulkios kuro dalelės ir lakiosios medžiagos dega degimo kameroje virš verdančiojo sluoksnio (7.8 pav., B dalis) [14].

Kai oro srauto greitis išauga daugiau, negu reikia stacionariajam verdančiajam sluoksniui susidaryti, degančios kuro dalelės išnešamos kartu su oro srautu. Verdančiajame sluoksnyje atsiranda dalelių sankaupų ir dujų ertmių. Sluoksnis turi viršutinę ribą, tačiau ji nėra aiški. Dėl to šis sluoksnis vadinamas turbulentiniu verdančiuoju sluoksniu.

Dar labiau padidinus oro srauto greitį degiosios dalelės pradeda keliauti kartu su oro srautu. Ciklonininiame separatoriuje kietosios dalelės atskiriamos nuo oro bei dujų srauto ir sugrąžinamos į kūryklą. Kadangi degantis kuras cirkuliuoja tarp kūryklos ir separatoriaus, šiai deginimo technologijai apibrėžti vartojamas terminas „cirkuliacinis verdantysis sluoksnis“ (7.8 pav., C dalis) [14].

Pagal oro srauto greitį verdančiojo sluoksnio technologijos skirstomos į šiuos potipius:

- klasikiniai (verdantieji) lėti sluoksniai;
- turbulentiniai (greiti) verdantieji sluoksniai;
- cirkuliaciniai verdantieji sluoksniai.

Pirmieji du tipai yra stacionarūs verdantieji sluoksniai.

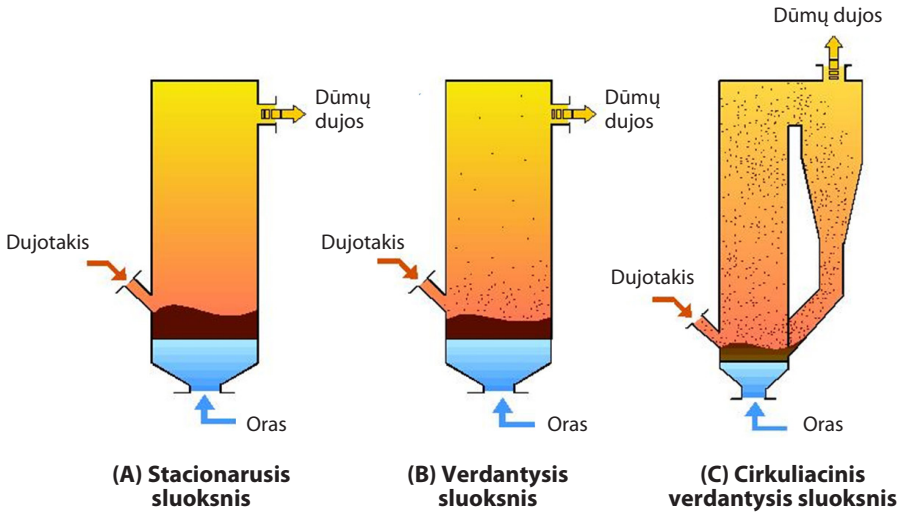
Verdantysis sluoksnis gerai tinka biokurui, durpėms ir atliekoms deginti, cirkuliacinis verdantysis sluoksnis labiau tinka anglims ir skalūnams deginti, tačiau kartu su pagrindiniu kuru galima deginti ir biokurą.

Verdančiojo sluoksnio technologijos kurui taikomas bendrasis reikalavimas – santykinai vienodas dalelių dydis. Deginant biokurą ir durpes, verdantysis sluoksnis formuojamas iš inertiškos medžiagos – paprastai kvarcinio smėlio. Aktyvuojant verdantįjį sluoksnį, sluoksnio medžiaga dujomis arba mazutu kūrenamais degikliais įkaitinama iki 600 °C. Po to į sluoksnį paduodamas pagrindinis kuras užsiliepsnoja, sluoksnio temperatūra pakyla, o degikliai, naudojami verdančiajam sluoksniui aktyvuoti, išjungiami. Tiek smėlio pagrindas, tiek virš jo degantis kuro sluoksnis plūduriuoja. Jei dėl trinties smėlio dalelių frakcija visiškai sumažėja, jos iš kūryklos išmetamos kartu su degiomis dujomis ir kartkartėmis įberiama naujo smėlio.

Egzistuoja keli kuro padavimo į verdantįjį sluoksnį būdai:

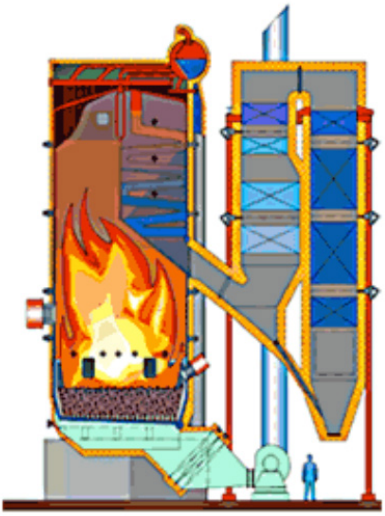
- kuro padavimas vertikaliu vamzdžiu, esančiu virš verdančiojo sluoksnio, kartais mechaniškai įleidžiant kuro virš kūryklos skerspjūvio;
- kuro padavimas į verdantįjį sluoksnį horizontaliu kanalu pneumatiniu ar sraigtiniu konvejeriu.

Kitaip nei kūryklas su ardynais, kurių darbas esant mažam galingumui yra komplikuotas, kūryklą su stacionariu verdančiuoju smėlio sluoksniu galima eksploatuoti esant įvairiam galingumui. Dėl smėlio sluoksnyje sukauptos šilumos katilas trumpą laiką gali veikti ir be kuro.



7.8 pav. Kūryklos su stacionariuoju sluoksniu (A), verdančiuoju sluoksniu (B) ir cirkuliaciniu verdančiuoju sluoksniu (C) [47]

Verdančiojo sluoksnio technologijos praktinio panaudojimo pavyzdys yra suomių bendrovės „Putkimaa OY“ katilas su verdančiuoju sluoksniu, parodytas 7.9 pav. [14].



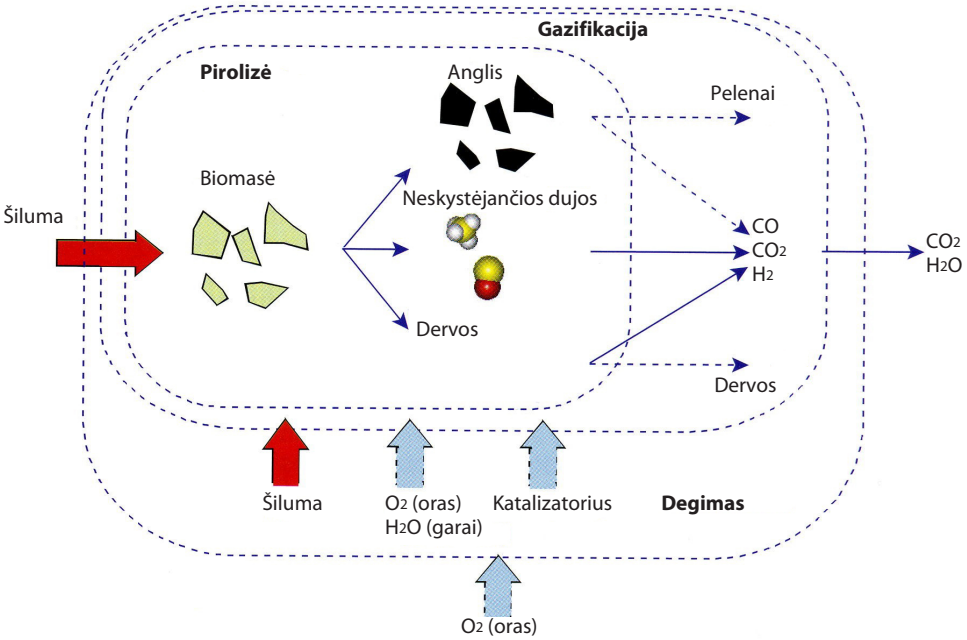
7.9 pav. Katilas su verdančiuoju sluoksniu („Putkimaa Oy“).

7.5. Kietojo kuro gazifikaciija

Terminė gazifikacija yra endoterminė (šilumą vartojanti) kuro pakeitimo technologija, dėl kurios kieta (ar skysta) medžiaga, pvz., medis, paverčiama degiomis dujomis (dujinis kuras, generatorių dujos, sintetinės dujos). Šis procesas vyksta aukštoje temperatūroje naudojant ribotą kiekį laisvo ar junginiuose esančio deguonies (oro, vandens garų ir t. t.). Kitaip nei kurą apdorojant be oro (degimas, pirolizė, krekingas), gazifikacijos metu beveik visas kuras virsta dujomis (CO, H_2, CO_2, dalinai skystuoju kuru).

Biomasės gazifikacija yra sudėtingas procesas, kurį sudaro kelios pakopos (7.10 pav.):

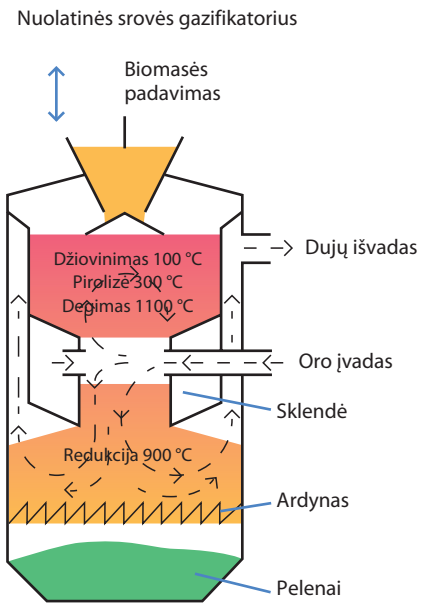
- šiluminis biomasės pakeitimas į dujas, kondensacinius garus ir anglį;
- paskesnis šiluminis garų skaidymas į dujas ir anglį;
- anglies gazifikacija garu arba anglies dioksidu;
- dalinė degių dujų, garų ir anglies oksidacija.



7.10 pav. Biomasės gazifikacijos proceso schema [48]

Gazifikacija vyksta reaktoriuje (gazifikatoriuje), kurio tipas priklauso nuo kuro padavimo krypties ir dujų srauto. 7.11 pav. pavaizduotame reaktoriuje kuras juda iš viršaus žemyn. Patekęs į reaktorių jis pirmiausia išdžiūsta, tuomet pereina pirolizės, degimo ir redukcijos pakopas, kol gaunamas galutinis produktas – dujų mišinys, kurio sudėtyje yra vidutiniškai 22 % anglies monoksido (CO), 18 % vandenilio (H_2), 3 % metano (CH_4) ir nedegios medžiagos – apie 6 % anglies dioksido (CO_2) ir 51 % azoto (N_2). Gautas dujų mišinys atvėsinamas, išfiltruojamas ir tuomet tiekiamas į dujinį variklį ar turbiną. Jei gautos dujos deginamos katile, joms taikomi grynumo reikalavimai yra ne tokie griežti.

Biomasės šiluminės gazifikacijos metu gautos dujos vadinamos vidutinės kokybės dujomis, kurių kaloringumas yra nuo 10 iki 18 MJ/nm³ (2,8–5 kWh/nm³). Šias dujas galima deginti tiesiogiai katiluose (po filtravimo), vidaus degimo varikliuose ir dujų



7.11 pav. Medžio dujų generatoriaus (gazifikacijos reaktoriaus) schema

turbinose (jei šie įrenginiai yra kogeneracinių blokų dalis (8.29–8.31 pav.) arba šilumos siurbliuose ir transporto priemonėse. Biomasės gazifikacijos procese gautos ir išfiltruotos dujos gali būti naudojamos ir kaip transporto priemonių (autobusų) degalai. Gazifikatoriais gautas dujas taip pat galima paversti, pavyzdžiui, metanoliu.

Biomasės gazifikacijos principai žinomi nuo XVIII a. pabaigos, tačiau iš pradžių ši technologija buvo naudojama dujoms tiekti į dujinius šviestuvus, o vėliau, Antrojo pasaulinio karo metais, variklių degalų gamybai. Kitas didelis šios technologijos šuolis įvyko praeito šimtmečio 8-ajame ir 9-ajame dešimtmečiuose, naftos krizės metu, kai reikėjo pakeisti smarkiai pabrangusius degalus.

Yra du pagrindiniai gazifikacijos įrangos tipai – stacionariojo sluoksnio (fiksuotas kuro sluoksnis) ir verdančiojo sluoksnio reaktoriai. Įprasti gazifikatoriai yra stacionarūs, jie skirstomi pagal oro srauto kryptį – pasroviniai, priešsrovio ir skersinio srauto. Priklausomai nuo kuro ir dujų srauto, gazifikatoriai veikia įprastine arba atgaline srove. Gaunamų dujų energijos kiekis yra apie 75 % pradinio prekursoriaus kaloringumo. Siekiant srautiniuose gazifikatoriuose pagaminti švaresnes dujas labai svarbu, kad gazifikuojamo kuro (pvz., medžio) drėgmės kiekis būtų kaip galima mažesnis ir neviršytų 15–20 %. Daugelio gazifikatorių darbo procesuose naudojamas oras ir garai.

Pasrovinės gazifikacijos įrangos su fiksuotu kuro sluoksniu galia yra iki 10 MW, priešsrovio įrangos – iki 20 MW. Norint pasiekti didesnę galią (10–100 MW) naudojami verdančiojo sluoksnio gazifikatoriai.

Iš vietinėse ir centrinėse katilinėse įrengtų gazifikatorių dujos tiekiamos į antrinio degimo kameras ir rekuperacijos katilus (7.12 pav.). Pastaruoju metu gazifikacijos reaktoriai pradėti plačiau naudoti kogeneracinėse jėgainėse (7.13 pav.).

Didesnės galios gazifikacijos reaktoriuose naudojami stacionaraus kuro ir priešinio dujų srauto reaktoriai arba verdančiojo sluoksnio reaktoriai. Priešinio srauto sistemoje dujose po pirolizės (gazifikacijos) proceso lieka dervų, suodžių ir pelenų, tačiau ši technologija leidžia gazifikuoti prastos kokybės, drėgną ir peleningą kurą. Gautos dujos tinka deginti, tačiau dujotakiai turi būti periodiškai valomi. Jei gautos dujos atvėsinamos ir filtruojamos, jas galima naudoti ir kaip degalus vidaus degimo varikliams, taip pat dujomis kūrenamose kogeneracinėse jėgainėse. Pasroviniuose gazifikacijos reaktoriuose gaunamos karštos dujos be dervų, tačiau iš jų vis tiek reikia pašalinti suodžius ir pelenus. Tokio tipo reaktoriui reikia naudoti santykinai sausą mažo peleningumo kurą.

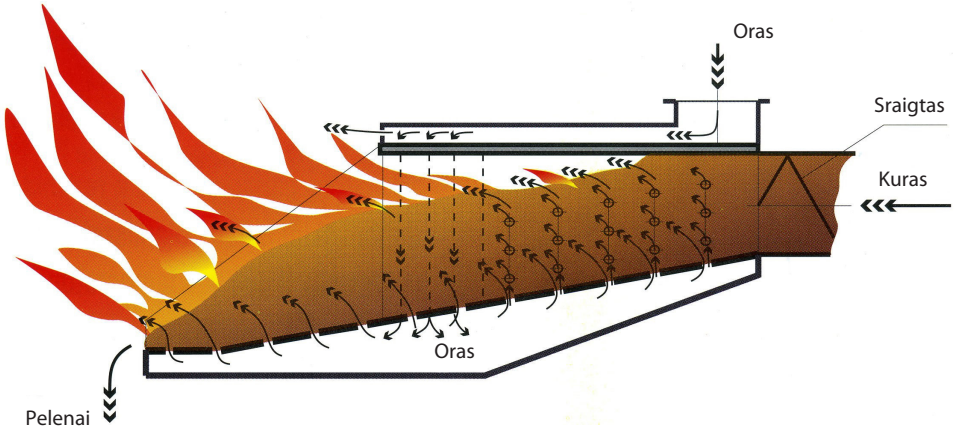
7.12 pav. Šilumos gamybos su gazifikacijos reaktoriumi centralizuoto šildymo katilinėse schema [49]

7.13 pav. Kombinuotas šilumos ir elektros gamybos blokas (kairėje) su medžio dujų generatoriumi (dešinėje) [50]

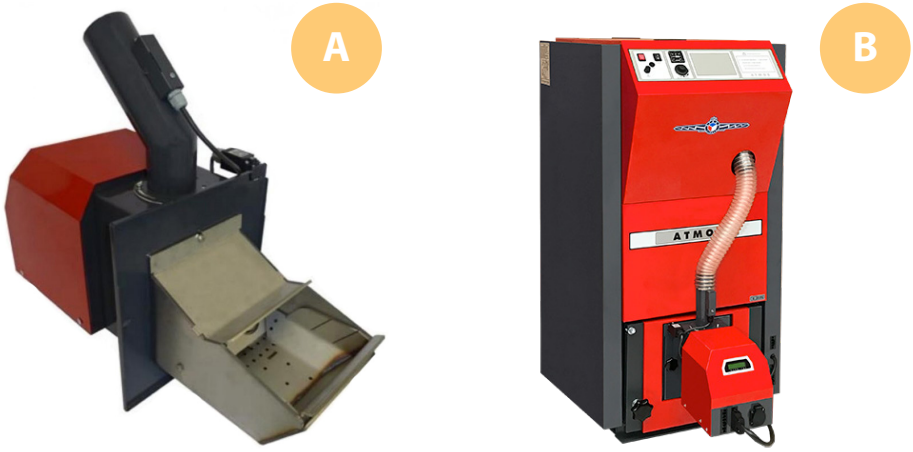
7.6. Kietojo kuro degikliai

Kad būtų galima deginti kietąjį kurą kūryklų kamerose, buvo sukurti vadinamieji kietojo kuro degikliai. Tai kompaktiškos kūryklos su stacionariuoju arba judamuoju ardynu, dažnai iš vidaus dengtos keraminėmis plytelėmis. Kuras paduodamas sraigtiniais konvejeriais, pirminį ir antrinį orą paprastai tiekia atskiros orpūtės (7.14 pav.). Mažesnės galios degikliai praktiškai tinka tik medžio granulėms deginti. Granulės yra aukštos kokybės homogeniškas kuras, kurio gabenimą, saugojimą, pristatymą ir net deginimą galima kontroliuoti automatiškai taip pat lengvai, kaip ir atitinkamas krosnių kuro deginimo operacijas. Kietojo kuro degikliuose gali būti deginamas ir kitų rūšių kuras, pvz., skiedros ir gabalinės durpės, tačiau reikia atkreipti dėmesį, kad kuras, deginamas tokiuose degikliuose, turi būti homogeniškas ir santykinai sausas (bent jau vietinio šildymo katilinėse).

Pagal kuro padavimo sistemą šie degikliai klasifikuojami į degiklius su viršutinio, horizontalaus ir apatinio tiekimo sistema. **Degiklis su viršutinio tiekimo sistema** yra paprasčiausios konstrukcijos (7.15 pav., A dalis), nes neturi sraigtinio tiektuvo (konvejerio). Granulės krenta ant ardyno vertikaliu vamzdžiu. Paprastai naudojant tokią technologiją katilo galia yra mažesnė nei 50 kW (7.15 pav., B dalis).



7.14 pav. Talino technologijos universitete sukurtų sausam kurui skirtų kietojo kuro degiklių schema [14]



7.15 pav. Kietojo kuro degiklis „Atmos“ su viršutinio tiekimo sistema, 45 kW (A), ir katilas D25PX (B), kuriame jis įrengtas [51]

7.16 pav. Kietojo kuro degiklis „HakeJet“ su horizontalaus tiekimo sistema [52]

7.17 pav. Kietojo kuro degiklis „BioMultiJet“ su horizontalaus tiekimo sistema [52]

Degiklio su horizontalaus tiekimo sistema korpuse įtaisytas sraigtinis tiektuvas, kuris į ardyną tiekia kurą (medžio granules arba skiedras). Nors šio tipo degiklis yra sudėtingesnis nei apibūdintas pirmiau, jis užtikrina tolygesnį tiekimą į ardyną ir geresnį katilo apkrovos valdymą. Jis taip pat nėra toks jautrus kuro kiekiui kaip ankstesnio tipo degiklis. Didesni šio tipo degikliai yra 1,5–2,0 MW galios ir gali deginti drėgnesnį kurą (7.16 ir 7.17 pav.).

Kietojo kuro degiklyje „HakeJet“ (7.16 pav.) su horizontalia tiekimo sistema įrengtas stacionarus ardynas ir angos tiek pirminiam orui, tiek daliai antrinio oro. Virš pusapvalio ardyno yra keraminis pusapvalis kaitinimo elementas, pagreitinantis kuro džiūvimą ir lakiųjų medžiagų atsiskyrimą. Iš išorės degiklio galvutė panaši į vamzdį, iš kurio sklinda liepsna. Tokio tipo degikliai taip pat gali būti įrengiami vietoje skystojo kuro ar dujinių katilų degiklių.

„HakeJet“ kietojo kuro degikliai sukurti medžio skiedroms deginti, tačiau tai nereiškia, kad jie netinka granulėms deginti. Įrenginio galingumas svyruoja nuo 40 kW iki 400 kW.

„BioJetMulti“ degiklis (7.17 pav.) taip pat apima stacionarų ardyną ir gerai išdėstytą oro paskirstymo sistemą, vidinė jo dalis iš dalies dengta keramika.

Šio degiklio galingumas – nuo 60 kW iki 1500 kW. Didesniuose katiluose galima montuoti du degiklius ir naudoti juos įvairiam biokurui, įskaitant drėgnesnes medžio skiedras, deginti. Šis degiklis tinkamas montuoti senesniuose skystojo kuro katiluose, pritaikant juos biokurui (pvz., Estijoje gaminamas „Kiviõli“ tipo katilas).

7.18 pav. Degiklis „Vento Bio Roto“ su sukamąja degiklio galvute (A) ir atitinkamas katilas (B) [53]

Degiklis „Vento Bio Roto“ (7.18 pav., A dalis) yra technologiškai pažangus kietojo kuro degiklis su viršutinio tiekimo sistema. Jame besisukanti degimo kamera (cilindrinė dalis) pašalina pelenus ir šlaką, jos nereikia atskirai valyti. Naudojant šį sprendimą degiklis veikia labai efektyviai, užtikrina galios stabilumą ir neužsikemša. Taip pat galima deginti mišrios sudėties ir kokybės biokurą (augalų ir vaisių biomasę, durpes). „Vento BIO ROTO“ degiklis su katilu (7.18 pav., B dalis) puikiai tinka granulėms individualiuose namuose deginti.

Toliau pateiktame paveiksle (7.19 pav.) pavaizduotas kietojo kuro degiklis „MultiJet“ su horizontaliu sraigtiniu konvejeriu, judamuoju ardynu ir keraminėmis šoninėmis plokštelėmis. Pirminis oras tiekiamas per angas ardyno jungtyse, o antrinis – iš šonų ir galų.

Tokių degiklių ardynuose leistina gan didelė savitoji apkrova, juose galima deginti įvairios kokybės biokurą ir durpes. Galingumo klasės: 40–150 kW; 200–500 kW ir 700–1500 kW.

7.19 pav. „MultiJet“ degiklis tinka įvairiam biokurui ir durpėms [52]

Degiklis su silpnesnio kuro padavimo mechanizmu yra dar sudėtingesnis, bet ir efektyvesnis. Kuras horizontaliu sraigtiniu konvejeriu nukreipiamas į apvalų degiklio galvutės ardyną, kur sudaro sluoksnį. Sluoksnis uždegamas elektriniu rezistoriumi arba karštu oru. Sudegusio kuro pelenai ir šlakas nukrenta per kraštus. Naujesniuose degikliuose įrengiamas apvalus perforuotas sukamasis ardynas, per kurį tiekiamas oras. Ant ardyno sumontuoti peiliai nustumia pelenus per kraštą ir nupjauna jų sluoksnį nuo ardyno.

Antrinis oras nukreipiamas per atskirą ugnį slopinantį vamzdį (7.20 pav., A dalis). Siekiant užtikrinti beveik visišką sudegimą, gali būti tiekiamas ir tretinis oras. Katilų, kuriuose įrengtas toks degiklis, galia paprastai yra nuo 40 iki 200 kW. 7.20 pav. B dalyje pavaizduoti „Easyfire“ katilai gaminami individualiems namams, jų galia yra 10, 15, 20 kW, o „Powerfire“ katilai, kurių galia nuo 130 iki 300 kW, tinka vietinėms katilinėms ir mažesnėms centrinėms katilinėms.

7.20 pav. Kietojo kuro degiklis „EasyFire“ su žema kuro tiekimo sistema, sukamuoju ardynu ir šlako peiliais (A). KBW granulių katilas (B) su degikliu viršuje [54]

7.7. Deginimo technologijoms tinkamos galios ribos

Kiekvienai deginimo technologijai yra nustatytos galios ribos, kurių laikantis jos naudojimas yra techniškai arba ekonomiškai efektyvus. Suomijoje įrengiami iki 5 MW galios medžiu kūrenami katilai, paprastai apimantys ir kūryklą su ardynu. Jei reikia didesnės galios, naudojamas verdantysis sluoksnis, tačiau yra ir kitų pasirinkimo variantų (7.1 lentelė). Talino Väo rajone esančios Talino šiluminės jėgainės katilų, kuriuose įrengtos kūryklos su ardynais, galia yra 20 MW.

7.1 lentelė. Įvairių deginimo metodų įrangos tipinė galia [55]

Deginimo technologija	Minimali galia, MW	Tipinė galia, MW
Stacionarusis ardynas	0,01	0,05–1
Kietojo kuro degiklis	0,01	0,04–2
Judamasis ardynas	0,8	2–20
Stacionarus verdantysis sluoksnis	1	> 5
Cirkuliacinis verdantysis sluoksnis	7	>20
Atliekant pirminę kuro gazifikaciją:		
• maži katilai	0,02	0,1
• dideli įrenginiai	0,3	2–15, iki 150
• centralizuoto šildymo katilinės įranga	0,01	0,04–0,2

Kitaip nei Suomijoje ir kitose Skandinavijos šalyse, Baltijos šalyse verdančiojo sluoksnio technologija nėra plačiai naudojama medžio kurui deginti mažesnės nei 10 MW galios įrenginiuose, tačiau naudojama dideliuose medžio kuro katiluose, daugiausia didesnės nei 50 MW galios. Kiek vienai paskirčiai nustatyta įprasta medžiu kūrenamų katilų ir populiaresnių automatizuotų technologinių sprendimų, taikomų atsižvelgiant į sektoriaus specifiką, tipinė galia (7.2 lentelė).

7.2 lentelė. Medžio kuro katilų skirstymas pagal galią ir naudojimo sritį [55]

Katilų naudojimo sritis	Tipinė galia
Katilai individualiems namams	15–40 kW
Katilai dideliems pastatams (vietinis šildymas)	40–400 kW
Centralizuoto šildymo katilinių katilai	0,4–20 MW
Pramoniniai katilai	1–80 MW

8. Šilumos tiekimo būdai ir naudojama įranga

8.1. Šilumos tiekimo būdai

Šilumos tiekimo į pastatus būdai skirstomi į tris kategorijas [56]:

- centralizuotas šildymas – šilumos tiekimo sistema aprūpina šiluma keletą vartotojų ar pastatų gyvenvietėje ar teritorijoje;
- vietinis šildymas – viso pastato centralizuotas šildymas (pvz., katilas daugiabučio pastato ar individualaus namo rūsyje, šilumos siurblys individualiame name ir t. t.);
- patalpos šildymas – šilumos šaltinis patalpoje (pvz., krosnelės, židiniai, šildytuvai ir t. t.).

Jei pastatuose naudojamos skirtingos šilumos tiekimo sistemos, energiją šildymo, ventiliacijos įrangos šilumos tiekimo įrenginiams ir karšto vandens gamybos įrenginiams galima tiekti iš centralizuotų ar vietinių šildymo šaltinių. Jei šildymas yra vietinis, kiekvienas energijos šaltinis paprastai turi savo tikslą, o karštą vandenį buities reikmėms galima ruošti krosnelėje, „oras–oras“ tipo šilumos siurblyje, židinyje.

8.2. Centralizuotas šildymas ir centrinės katilinės, jų bazinė įranga

8.2.1. Centralizuotų šildymo sistemų apibrėžtis

Centralizuotas šildymas kaip šildymo būdas yra apibrėžtas Centralizuoto šildymo įstatyme [57]. **Centralizuotas šildymas** yra šilumos gamyba ir skirstymas tinkle, tiekiant šilumą vartotojams per centralizuoto šildymo sistemą. **Centralizuoto šildymo sistema** yra techninė šilumos gamybos, skirstymo ir vartojimo sistema. Ją sudaro šilumos gamybos, skirstymo ir vartojimo techninė įranga ir susiję pastatai.

Taigi, kalbant paprasčiau, centralizuotas šildymas yra būdas tiekti šilumą pastatams naudojant už pastato esančius vamzdynus (sudarytojo apibrėžtis).

Centralizuotu šildymu taip pat galima laikyti šilumos tiekimą vamzdynu dviem ar daugiau pastatų iš centrinio šilumos šaltinio, kertant nuosavybės ribas, jei šilumos perdavimas yra komercinių piniginių santykių objektas, t. y. šiluma parduodama.

8.2.2. Trumpa istorinė centralizuoto šildymo raidos pasaulyje ir Estijoje apžvalga

Centralizuoto šildymo šaknys siekia Romos imperiją, kur šiuo principu buvo šildomos maudyklos ir šiltnamiai, o 1745 m. seras Williamas Cookas pademonstravo garo potencialą šildyti pastatus [58], įsirengęs spiralinę vamzdžių sistemą savo namuose Mančesteryje. Pirmoji vandens šildymo sistema pastate buvo įrengta 1830 m. Jungtinėse Amerikos Valstijose, o 1844 m. garas pirmą kartą panaudotas dideliam pastatui – viešbučiui „Eastern Hotel“ Bostone, Masačusetse, šildyti. Pirmasis komercinis centralizuoto šildymo tinklas įrengtas Jungtinėse Amerikos Valstijose – jis atiduotas eksploatuoti 1877 m. Lokporte, Niujorko valstijoje. Sistemą projektavęs hidraulikos inžinierius Birdsilas Holly laikomas šiuolaikinių centralizuoto šildymo tinklų pradininku.

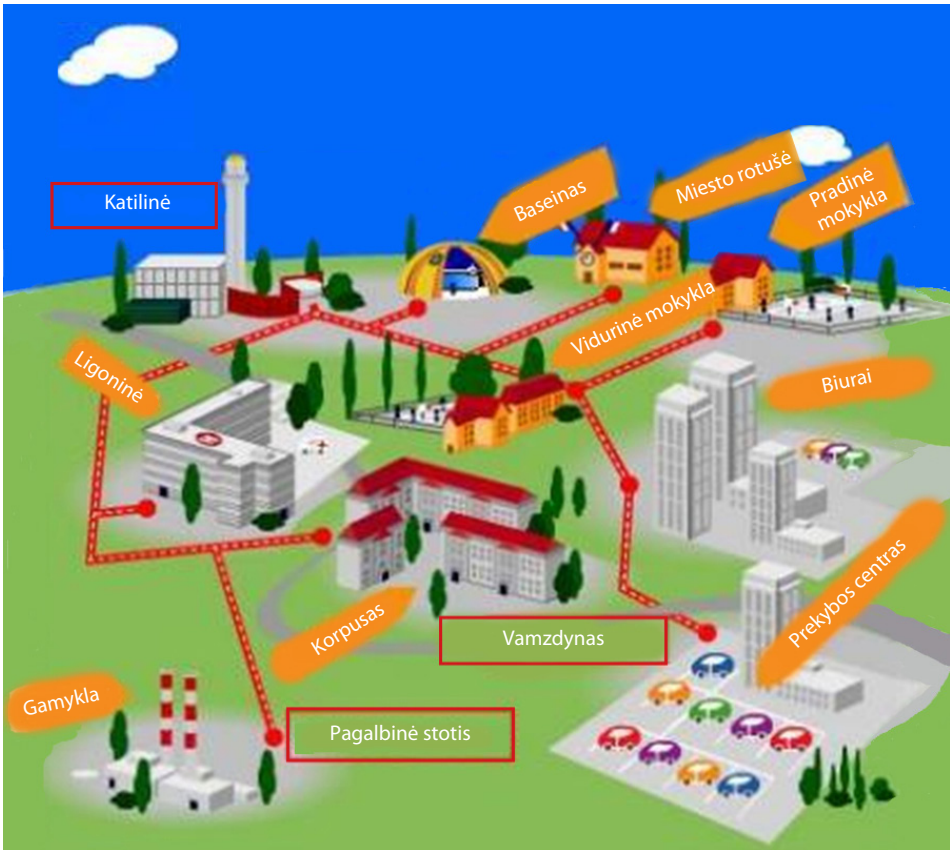
Europoje tuo pačiu metu buvo įrengta daugybė centralizuoto vandens šildymo sistemų, daugiausia Skandinavijos šalyse, visų pirma Danijoje.

Atgavusios nepriklausomybę ir prie rinkos ekonomikos perėjusios buvusios socialistinio bloko šalys (kai kurios jų dabar yra ES valstybės narės) vis dar turi vykdyti centralizuoto šildymo sistemų modernizaciją ir efektyvinimą, kad galėtų tenkinti vis griežtėjančius aplinkos apsaugos ir energijos taupymo reikalavimus.

Estijos centralizuoto šildymo gimtine gali būti laikoma Kohtla Jervė: čia gyvenamieji pastatai tokiu būdu pradėti šildyti 1949 m. 1959 m. Taline baigta pirmoji, pagrindinė centralizuoto šildymo tinklo dalis, o nuo 1960 m. centralizuoto šildymo tinklų įrengimas pradėtas ir kituose Estijos miestuose. Pirmieji centralizuoto šildymo tinklai įrengti kartu su kogeneracinėmis šilumos ir elektros jėgainėmis, kad likutinė šiluma būtų perduodama pastatams šildyti. Tai leido veiksmingiau naudoti pirminę energiją ir padidinti jėgainių efektyvumą.

7-ajame ir 8-ajame praėjusio amžiaus dešimtmečiuose šildymo būdas, kurį dabar vadiname centralizuotu šilumos tiekimu (centralizuotas šildymas), buvo naudojamas pramoniniu būdu tiražuojamiems daugiabučiams visoje Tarybų Sąjungoje šildyti. Šis šildymo būdas vėliau iš miestų paplito į kolūkių gyvenvietes ir kitus mažesnius miestelius, kuriuose buvo statomi daugiabučiai namai. Modernių kogeneracinių šilumos ir elektros jėgainių statyba Estijoje pagreitį įgavo tik gerokai po 2000 m.

Centralizuoto šildymo dalis kiekvienoje šalyje skirtinga. Tai lemia daugelis veiksnių, įskaitant klimato sąlygas, aplinkos apsaugos reikalavimus, šilumos šaltinių prieinamumą ir ekonominį bei teisinį reguliavimą. 8.1 pav. pateikta principinė miesto centralizuoto šildymo sistemos schema. Čia vaizduojama katilinė, šilumos šaltinis (jėgainė), centralizuoto šildymo pagrindinis ir skirstomieji vamzdynai, vartotojai.



8.1 pav. Principinė miesto centralizuoto šildymo tinklo schema [59]

Centralizuoto šildymo sistemos šiuo metu tenkina maždaug 60 milijonų ES gyventojų poreikius. Centralizuoto šildymo sistemos kol kas gali tiekti tik dalį šilumos ir tik miestuose, kuriuose yra centralizuoto šilumos tiekimo tinklai. Miestuose, kuriuose funkcionuoja bent viena centralizuoto šildymo sistema, iš viso gyvena 140 mln. gyventojų. Apie 57 % ES gyventojų gyvena gyvenvietėse, kuriose yra bent viena centralizuoto šildymo sistema. Tai reiškia, kad ateityje centralizuoto šildymo tinklai galėtų aprūpinti šiluma daugiau gyventojų, jei ši paslauga būtų plečiama.

8.2.3. Centralizuoto šildymo energijos šaltiniai

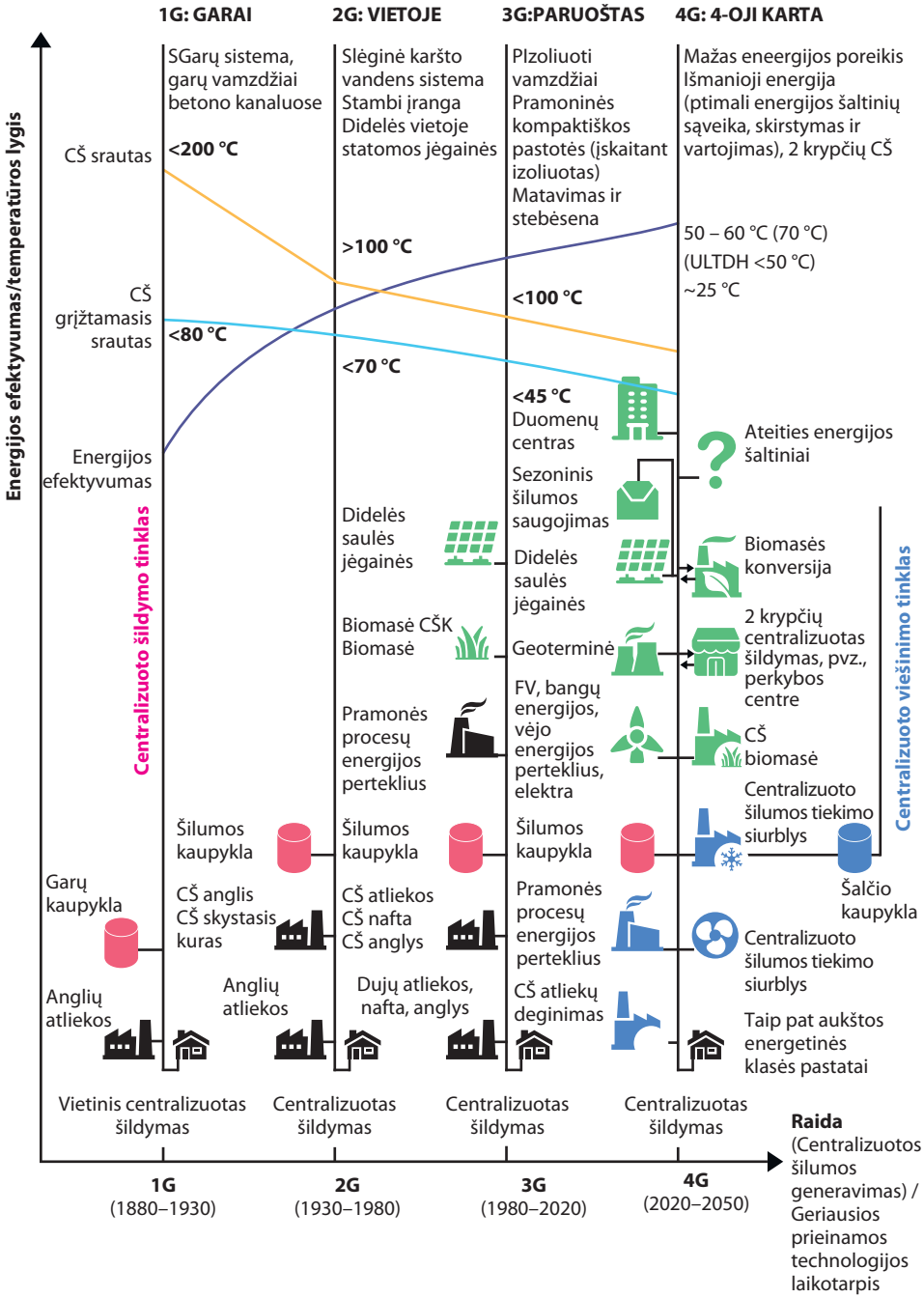
Centralizuoto šildymo energijos šaltiniai gali būti įvairus kuras (pvz., Estijoje – degieji skalūnai, skalūnų nafta, gamtinės dujos, durpės ir medžio kuras, šiaudai, biodujos), likutinė pramonės ir elektros energijos gamybos šiluma, geoterminė šiluma, saulės šviesa ir aplinkos šiluma (daugiausia – geoterminiai siurbliai). Per pastaruosius du ES finansavimo laikotarpius (nuo 2007 iki 2020 m.) Estijos centralizuoto šildymo katilinės buvo masiškai keičiamos, daugiausia pritaikant medienos kurui, taip pat statomos kombinuotos šildymo ir elektros generavimo jėgainės.

8.2 pav. pateikiama centralizuotos šildymo sistemos raidos, energijos šaltinių, tiekiamo ir grąžinamo vandens temperatūros ir sistemų efektyvumo apžvalga.

Siekiant apžvelgti konkrečiu tikslu (pvz., pastatui šildyti) suvartojamos energijos kiekį reikia nagrinėti visą energijos tiekimo grandinę, nuo pat kuro (energijos) gavimo iki galutinio vartotojo. Taip gaunamas išsamus nuostolių ir energijos efektyvumo vaizdas. Naudojant efektyvumo didinimo priemones galima sumažinti su energijos konversija ir poveikiu aplinkai susijusius kaštus ir nuostolius. Reikia pabrėžti, kad energijos efektyvumo didinimas apima visus veiksmus nuo pat energijos konversijos pradžios iki vartotojo, o tvarus vartojimas (dar vadinamas energijos taupymu, taupymo priemonių įgyvendinimu) prasideda nuo vartotojo. Vietose gaminamos atsinaujinančiosios biomasės kuro gamybos, įsigijimo, apdorojimo, sandėliavimo ir gabenimo procesams taip pat reikia energijos ir daugiausia tam naudojamas iškastinis kuras. Apie 10–15 % šios energijos skiriama medienos briketų gamybai ir gabenimui. Jei centralizuoto šildymo katilinėse gaminant šilumą deginamos drėgnos medžio skiedros ir netaikomas pirminis apdorojimas ir džiovinimas, sandėliavimo ir gabenimo sąnaudos sudaro tik 4 % šios energijos (kai naudojamas skystasis kuras ir gamtinės dujos – 14 %). Jei katilinėje naudojamas dūmų dujose esančių vandens garų kondensatas, katilinės efektyvumas (šiuo atveju tai sąlyginis indikatorius) skaičiuojant pagal kaloringumo vertę gali būti 100 % ir didesnis. Šiuolaikinėse tankiai apgyvendintose vietovėse (miestuose, kaimuose), kur centralizuoto šildymo sistemų vamzdynas yra izoliuotas ir optimalių matmenų, santykiniai šilumos nuostoliai vamzdynuose neviršija 10 % (daugelyje vietų jie net mažesni, tačiau gali didėti, jei prie centralizuoto šildymo tinklo prisijungę daug mažų išsibarsčiusių vartotojų). Tad nuo medienos skiedrų gavimo iki konversijos procese gautos šilumos perdavimo vartotojui naudojant centralizuoto šildymo sistemą prarandama tik 10–15 %, o vartotojas gali gauti 85–90 % pirminės medienos energijos šilumos pavidalu.

8.2.4. Centralizuoto šildymo katilinės ir jų bazinė įranga

Didelio pajėgumo centralizuotos katilinės (100–200 MW) statomos siekiant generuoti šilumą dideliems miestams ar rajonams ir paprastai yra ekonomiškai naudingos [61]. Šilumos apkrovų koncentracija leidžia išnaudoti didelę įrangą ir techninius sprendimus. Taip užtikrinamos mažos savitosios kuro sąnaudos ir veiksmingas prastos kokybės kuro panaudojimas, be to, yra įvairių kitų privalumų, palyginti su mažo ir vidutinio dydžio centralizuoto šildymo sistemų katilinėmis. Daugelyje centralizuoto šildymo sistemų būtina rinktis, koks kuras bus naudojamas. Lengviau naudoti gamtines dujas, nes medžio kurui gabenti gali reikėti intensyvaus sunkiasvorio transporto srauto. Dėl šios priežasties didesni centralizuoto šildymo įrenginiai paprastai statomi (jei įmanoma) gyvenviečių pakraščiuose, kur sunkvežimių srautas mažiau trukdytų gyventojams.



8.2 pav. Keturios skirtingos centralizuoto šildymo sistemos, jų energijos šaltiniai, efektyvumas ir temperatūra [60]

Šiluma iš katilinės ar CŠ katilinės vartotojui vandens ar garų pavidalu perduodama per vamzdynų sistemą (šildymo tinklus). Tai yra sudėtinga inžinerinė ir techninė infrastruktūra. Centralizuoto šildymo vamzdynų ilgis gali svyruoti nuo kelių šimtų metrų iki kelių kilometrų nedidelėse gyvenvietėse ir iki kelių šimtų kilometrų dideliuose miestuose. Šių vamzdžių skersmuo gali siekti 1,5 m. Centralizuoto šildymo tinklo vamzdynai skirstomi į magistralinius vamzdynus (pagrindinis tinklas), einančius iš katilinės (CŠ) iki gyvenvietės vartojimo vietų, ir skirstymo vamzdynus (skirstymo tinklas), kuris atsišakoja nuo magistralinio tinklo į atšakas, skirtas atskiriems pastatams ir kitiems vartotojams, Sudėtingesni centralizuoto šildymo tinklai projektuojami žiediniu principu (pvz., aplink gyvenvietę), juos galima prijungti prie kelių šilumos šaltinių, kurie atskirai (mažų sąnaudų laikotarpiu, pvz., vasarą) arba kartu (piko valandomis žiemą) visiems klientams bet kuriuo metu tiekia standartinės kokybės šilumą (centralizuoto šildymo sistemos temperatūros ir slėgio vandenį).

Kad būtų galima šilumos tiekimo sistemas eksploatuoti veiksmingai, reikia tvarkingos valdymo struktūros ir darbinės organizacijos. Sėkmingiausia šilumos tiekimo sistemos organizacija yra hierarchinė, kurioje visa sistema padalyta į kelis lygius. Kiekvienas iš šių lygių turi savo funkciją, nuo viršutinio lygio žemyn vertė mažėja. Viršutinį hierarchinį lygį sudaro šilumos šaltiniai (katilinės, CŠK), kitas lygis yra magistraliniai tinklai, o apatinį lygį sudaro skirstymo tinklai su vartotojų įvadais. Tokią šilumos tiekimo sistemą galima tinkamai valdyti ir užtikrinti nuolatinį aukštos kokybės šilumos tiekimą.

Daugiausia šilumos suvartojama šildant pastatus (iki 40 % ES suvartojamos energijos). Šildymo apkrova keičiasi keičiantis aplinkos temperatūrai. Siekiant užtikrinti šilumos tiekimo klientams kokybę ir centralizuotą šilumos šaltinių valdymą, vartotojų šildymo elementuose naudojamas papildomas automatinis valdymas. Centralizuotos šildymo sistemos srautai nuolat kinta. Šildymo tinklų hidraulinis ir temperatūros režimai, siekiant užtikrinti stabilų šilumos tiekimą, reguliuojami automatiškai. Vandens temperatūra vamzdžiuose turi būti stabili ir atitikti nustatytą temperatūros grafiką.

Centralizuotoje šildymo sistemoje sumontuota įranga turi didelę paklausą. Visos sistemos dalys turi būti patikimos ir saugios. Vis daugiau dėmesio skiriama einamajai techninei centralizuoto šildymo tinklų priežiūrai ir atitikčiai vis griežtėjantiems sanitarijos standartams.

Centralizuoto šildymo sistema turi ne tik privalumų, bet ir trūkumų, pvz., didelis šildymo tinklų ilgis ir su tuo susiję šilumos nuostoliai, didelių investicijų poreikis norint modernizuoti ir rekonstruoti komponentus, plėsti šildymo tinklą.

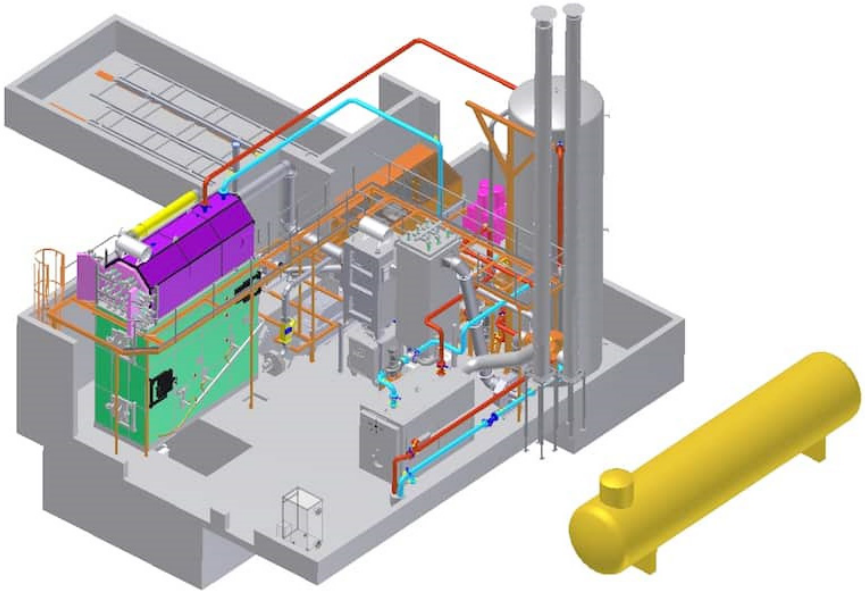
Centralizuoto šildymo katilinės skirstomos pagal naudojamą kurą, galią ir konfigūraciją. Estijos sąlygomis skirstoma į kieto, skystojo ir dujinio kuro katilines, nedideles katilines (nuo 150 kW iki 1 MW), vidutines katilines (1–50 MW) ir dideles katilines, kurių galia viršija 50 MW. Katilinė gali būti visiškai automatiškai valdoma iš centrinio pulto, tačiau joje taip pat gali visą parą budėti darbuotojai. Katilinės skirstomos į dvi rūšis – pagrindinės, veikiančios praktiškai visus metus (bent jau vadinamuoju šildymo sezonu), ir rezervinės bei piko meto katilinės, kurios veikia arba labai šaltu laikotarpiu žiemą, arba kitose katilinėse įvykus avarijai ar atsiradus kitokių problemų.

Katilinėse paprastai montuojami katilai, kuriuose naudojamas pigesnis kuras (medžio kuras), bet jie yra brangesni nei dujiniai ar skystojo kuro katilai. Rezervinių ar piko katilinių įrangos darbo pradžios ir paties darbo ciklo laikas yra trumpesnis, tad ji gali greitai įsijungti, veikti automatiškai ir efektyviai (dažniausiai tai yra automatizuota įranga).

Paprastai tokiose katilinėse naudojamas skystasis ar dujinis kuras arba elektra (šiuo metu Estijoje nėra elektrinių piko katilų centralizuoto šildymo katilinėse, tačiau jų yra, pavyzdžiui, Švedijoje). Kai kuriose pagrindinėse katilinėse neseniai buvo įrengti nepriklausomi elektros šaltiniai (dyzeliniai generatoriai) tiems atvejams, kai sutrinka elektros energijos tiekimas.

Pagrindinė medžiu kūrenamų centralizuoto šildymo katilų įranga yra kuro laikymo (tai gali būti atviri, pusiau uždari ar uždari sandėliai, pagrindiniai ir laikini sandėliai), gabenimo ir tiekimo įranga, tarpiniai bunkeriai ar pagrindiniai bunkeriai (naudojant granules), katilai, dūmų dujų filtravimo įrenginiai, kaminai, pelenų šalinimo įranga ir surinkimo bunkeriai. Kai kuriose katilinėse įrengiami papildomą šilumą teikiantys dūmų dujų kondensacijos įrenginiai. Be to, katilinėse yra daug papildomos įrangos, padedančios pasiekti efektyvesnį degimą ir iš kūryklos pašalinti dūmų dujas, leidžiančios atlikti cheminį ir terminį katilo vandens apdorojimą ir šilumos perdavimą į centralizuoto šildymo tinklą (šilumokaičiai, vamzdynai ir siurbliai). Norint užtikrinti sklandų, nepriekaištingą visos katilinės veikimą būtina ir elektrinė automatizacijos įranga.

Paprastai bent jau didžiosios medžio kurą deginančios katilinės turi rezervinius ar piko skystojo ar dujinio kuro katilus. Priklausomai nuo katilinės pajėgumo, kai kurios įrangos galima ir nemontuoti (pvz., elektrinių filtrų, dūmų dujų kondensatoriaus, rezervinio katilo ir t. t.). 8.3 pav. pateikta trimatė vienos medžio kuru kūrenamos katilinės schema. Joje vaizduojama kuro saugyklų apatinė dalis su judamaisiais ardynais, kuro tiekimo įranga, katilas, dūmų dujų filtravimo įranga, kaminas, kaupiamoji talpykla, rezervinis katilas su skystojo kuro talpykla (pažymėta geltonai, už katilinės). 8.4 pav. pateiktas šiuolaikinės medžio skiedromis kūrenamos katilinės Tapoje vidaus ir išorės vaizdas.



8.3 pav. Medžio kuru kūrenamos katilinės įranga [62]

8.4 pav. Šiuolaikinės medžio skiedromis kūrenamos katilinės vidus ir išorė (Tapos miestas). Nuotraukos autorius Ü. Kask

8.2.5. Kombinuotieji centralizuoto šildymo šilumos šaltiniai

Šiais laikais centralizuoto šildymo sistemoms naudojami ir ne deginamo kuro energijos šaltiniai, pvz., šilumos siurbliai, energiją gaunantys iš žemės, energijos šuliniai ar gilieji (daugiau nei 100 m gylio) šuliniai, vanduo (įskaitant nutekamąjį vandenį iš vandens valymo įrenginių, jūros vandenį ir t. t.).

Vis didėjančio šilumos siurblių naudojimo centralizuoto šildymo sistemose priežastis yra mažėjanti vidutinė elektros kaina, griežtėjantys reikalavimai didinti atsinaujinančiosios energijos kiekį, nežinomybė dėl kuro kainų ir šilumos tiekimo ateityje, technologinis šilumos siurblių tobulėjimas ir sėkmingos praeities investicijos į šiuos projektus. Šilumos siurbliai efektyviai išnaudoja žemos temperatūros šilumos šaltinius ir žemos temperatūros likutinę pramonės įrenginių šilumą. Pavyzdžiui, naudojant šilumos siurblius galima sumažinti elektros ir kuro kainų svyravimų riziką ir derinti centralizuotą šildymą ir vėsinimą.

Šilumos siurblių naudojimas centralizuoto šildymo sistemoje gali turėti teigiamą poveikį aplinkai, tačiau tai priklauso nuo to, kaip gaminama šilumos siurblio suvartojama energija ir koks yra žemos temperatūros šilumos šaltinis. Šilumos siurblių naudojimas didina atsinaujinančiosios energijos dedamąją bendroje centralizuoto šildymo sistemai skirtos šilumos gamyboje, nesukelia vietinių išlakų ir kuria teigiamą, ekologišką centralizuoto šildymo įvaizdį. Pelningiausia šilumos siurblius centralizuoto šildymo sistemoje naudoti tokiose situacijose, kai susidaro iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių gaunamos energijos perteklius (pvz., vėjo jėgainėse) ir dėl to krenta elektros kaina. Sėkmingai išnaudojus elektros energijos kainos sumažėjimą šiuo laikotarpiu ir sukaupus dideles šilumos atsargas (įskaitant sezoninį laikymą), šią šilumą būtų galima panaudoti tuo metu, kai kitų centralizuoto šildymo energijos šaltinių kaina išauga [63].

Centralizuoto šildymo sistemos šilumos siurbliams reikalingus žemos temperatūros šilumos šaltinius galima suskirstyti į keturias kategorijas: pramoninės šilumos atliekos (likutinė šiluma), aplinkos vanduo, nuotekos ir kiti šilumos šaltiniai. Pramoninės šilumos atliekos yra po pramoninių procesų liekanti žemos temperatūros (15–40 °C) šiluma. Aplinkos vanduo daugiausia yra jūros, ežerų ir upių vanduo ir, kiek mažesne apimtimi, gruntinis ir iš kasyklų pumpuojamas vanduo. Priklausomai nuo metų laiko, aplinkos vandens temperatūra svyruoja nuo 2 iki 14 °C. Buitinių nuotekų valymo įrenginių vandens temperatūra yra nuo 8 iki 20 °C. Kitus šilumos šaltinius galima klasifikuoti kaip dūmų dujų kondensacijos šilumą ir šilumą iš centralizuoto vėsinimo įrenginių. Tokią šilumą šilumos siurbliai surenka ir nukreipia į centralizuoto šildymo tinklą, o atvėsintas vanduo patenka į centralizuoto vėsinimo tinklą.

Centralizuoto šildymo sistemose įrengiant šilumos siurblius reikia atsižvelgti į įvairius veiksnius, nuo kurių priklauso investicijų pelningumas. Būtina užtikrinti gerą prieigą prie arti esančio žemos temperatūros šilumos šaltinio (nuotekų valymo įrenginiai, vandens telkiniai (upė, jūra, ežeras), pramoniniai įrenginiai, kuriuose beveik nuolat susidaro vienodos temperatūros šilumos perteklius). Šilumos šaltinio tiekiama šiluma turi būti nemokama arba beveik nemokama. Investicija pasiteisina tik tuo atveju, jei norint sumontuoti šilumos siurblį neprireikia didelių investicijų į elektros tinklo sustiprinimą. Investicijos pelningumas būtų didesnis, jei šilumos kaupykla (talpykla) jau būtų įrengta arba jos statybai nereikėtų reikšmingų papildomų investicijų. Dar geriau, jei šilumos siurblys būtų naudojamas net tik centralizuoto šildymo, bet ir centralizuoto vėsinimo funkcijai.

Sezoninio šilumos saugojimo tikslams naudojamos didelės karšto vandens talpyklos, kurių pajėgumas siekia nuo 60 iki 80 kWh/m³. Iš įvairių šilumos šaltinių gaunama energija tiesiogiai arba per šilumos siurblį tiekiama į šilumokaitį, vėliau, jei šilumos siurblio naudojamo šilumos šaltinio temperatūra ar kaina centralizuoto šildymo tikslams pernelyg išauga, į centralizuoto šildymo tinklus gali būti tiekiama šilumokaičiuose sukaupta energija.

Kaip pavyzdys pateikiami skaičiavimai, kai šilumos siurblys generuoja šilumą centralizuoto šildymo tinklui ir veikia 60 MW bazine apkrova. Jei kaip šilumos šaltinis naudojamas apatinis Suomijos įlankos vandens sluoksnis, šilumos kaina siekia apie 26 EUR/MWh, o per metus būtų galima pagaminti 525 GWh šilumos. Jei toks pat šilumos kiekis būtų gaminamas išnaudojant likutinę serverių parko šilumą, tokios šilumos energijos kaina būtų 19 EUR/MWh [63].

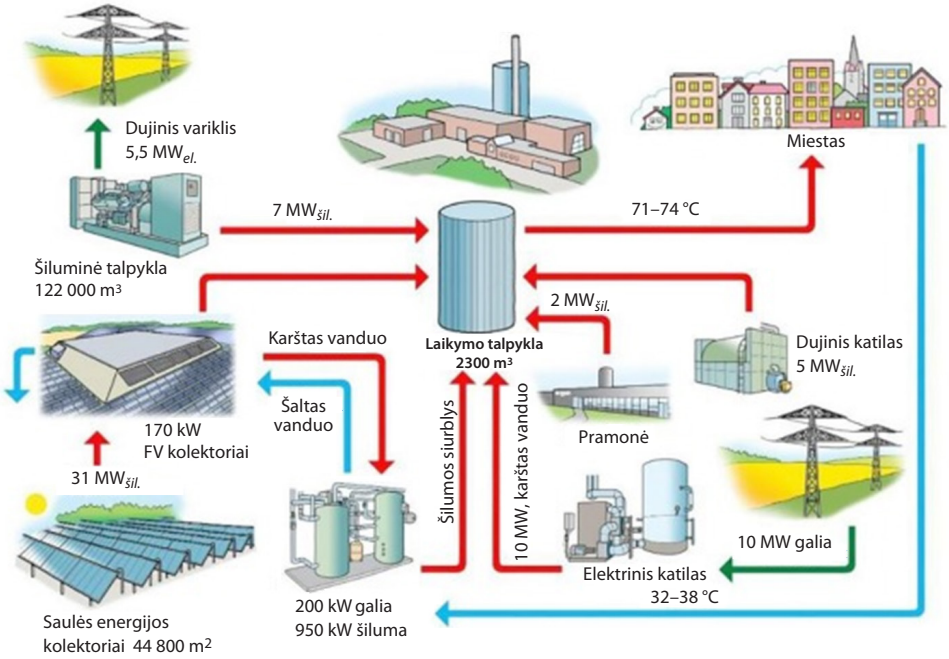
Dideli šilumos siurbliai centralizuoto šildymo tinkluose dažniausiai naudojami Šiaurės šalyse (Švedijoje, Norvegijoje, Suomijoje, Danijoje), kitur jie nėra taip paplitę.

Saulės energijos kolektoriai įrengiami centralizuoto šildymo katilinėse, ant pastatų, kurie prijungti prie centralizuoto šildymo tinklų, ar gretimų pastatų (8.6 pav.). Jei centralizuoto šildymo sistemose taip pat įrengiamos tinkamo pajėgumo šilumos kaupyklos, praktiškai visa buitinės paskirties karštam vandeniui ruošti reikalinga šiluma galėtų būti gaunama iš saulės energijos (8.7 pav.).

8.5 pav. Saulės energijos kolektorių įrengimas medžiu kūrenamoje Piuhajervės centralizuoto šildymo katilinėje (nuotraukos autorius Ü. Kask)

Trumpai tariant, centralizuoto šildymo sistemoje su kombinuotais šilumos šaltiniais išnaudojami įvairūs šilumos šaltiniai, įskaitant medžiu kūrenamus katilus, greitai įsijungiančius dujinius ir elektrinius katilus, pramoninių procesų likutinę šilumą, šilumos siurblius, saulės energijos kolektorius ir šilumos kaupyklas (8.6 pav.).

2016 m. pabaigoje Danijoje, 44 tūkst. gyventojų turinčiame Silkeborgo mieste (Centrinė Jutlandija), pastatyta didžiausia pasaulyje centralizuoto šildymo jėgainė, kurioje naudojama saulės energija. Greta miesto esančioje žemės ūkio paskirties žemėje buvo įrengti 12 436 dideli saulės energijos kolektoriai. Bendras užbaigtos jėgainės plotas yra 156 694 m². Saulės energijos kolektoriai turėtų pagaminti 80 000 MWh šilumos per metus, nominali siluminė jėgainės įvestis yra 110 MW. Jėgainė tenkins apie 20 % Silkeborgo miesto centralizuoto šildymo tinklo poreikio (likusioji dalis gaminama deginant gamtines dujas) ir visą vasaros sezono apkrovą. Nepaisant dydžio, jėgainė neturi sezoninės šilumos kaupyklos. Dėl gana didelės vasaros sezono šilumos apkrovos Silkeborge šildymo kaina yra itin maža, o visa saulės kolektorių pagaminama šiluma suvartojama iškart [64].



8.6 pav. Didelės saulės jėgainės nedideliame centralizuoto šildymo tinkle Grame, pietinėje Danijoje (metinė šilumos gamyba siekia 28 000 MWh) [65]

8.3. Vietinės centralizuoto šildymo katilinės ir įranga

Centralizuotas šildymas yra pagrindinis šildymo būdas tankiai apgyvendintose teritorijose, o retai gyvenamose vietovėse centralizuoto šildymo tinklų statyba yra ekonomiškai nenaudinga ar net neįmanoma. Kitaip nei centralizuoto šildymo katilinės, vietinės katilinės statomos tiesiai prie vartotojo. Jos būna gerokai mažesnio pajėgumo ir tiekia šilumą tik vienam pastatui ar jų grupei[5]. Vietinio šildymo šilumos šaltinis gali būti įrengtas, pavyzdžiui, pastato rūsyje, atokiau esančiame pastate ar netgi ant stogo (pvz., dujiniai katilai). Vietiniai šildymo įrenginiai turi veikti automatiškai, jiems turi reikėti minimalios techninės priežiūros, o tai riboja kuro pasirinkimą. Prie pat vartotojo esantys šilumos šaltiniai turi būti kuo galima mažesni, veikti tyliai, o jei tai deginimo įrenginiai, dūmų dujos turi būti labai švarios.

Griežtus reikalavimus, taikomus vietinėms šildymo sistemoms, galima tenkinti naudojant ekologiškiausias technologijas ir kurą. Todėl vietinio šildymo reikmėms dažnai naudojami dujiniai ir skystojo kuro katilai, šilumos siurbliai, elektriniai šildymo ir saulės kolektoriai.

[5] Pagal Estijos įstatymus centralizuotu šildymu nėra laikomas kelių pastatų šildymas iš vieno šilumos šaltinio, jei pastatus valdo ta pati institucija ar asmuo, t. y. jei nevyksta šilumos pirkimas ir pardavimas [57].

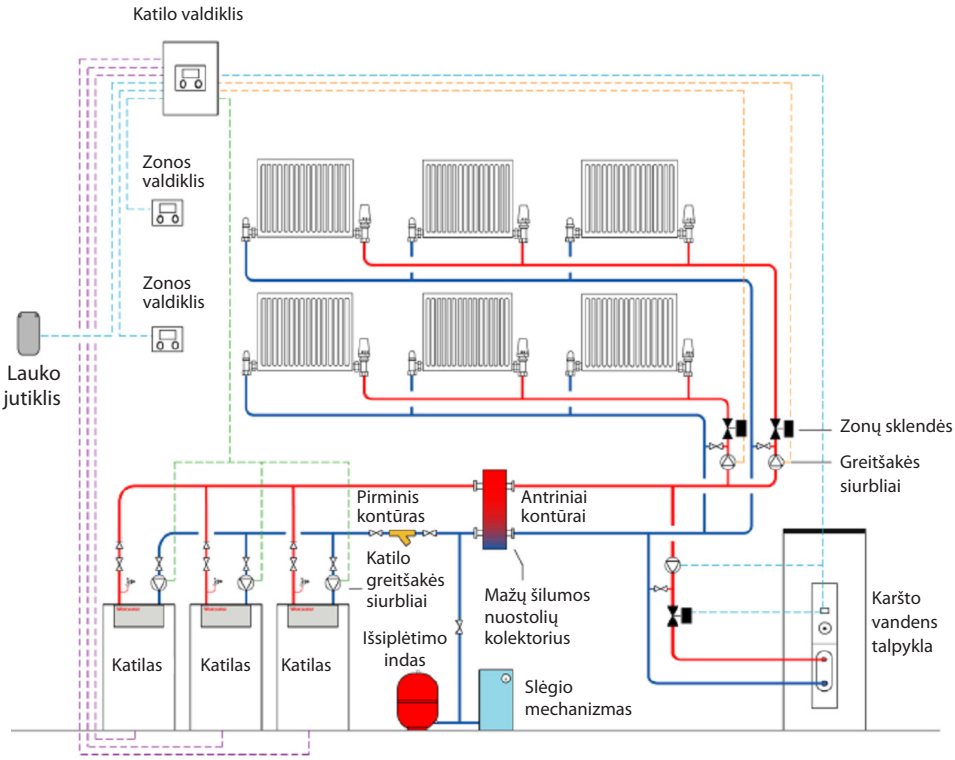
Kadangi biokuras dega santykinai švariai, vietinio šildymo sistemai puikiai tinka medžio granulės, briketai, sausa mediena. Mažuose namų ūkiuose pagrindinis šilumos šaltinis nuo seno buvo malkos. Tam tikslui malkos tebėra tinkamos ir šiais laikais, nors tokiam kurui paruošti reikia daug rankų darbo, be to, reikia turėti nemažai vietos jam laikyti. Jei nedideliuose katiluose naudojamos granulės, jiems reikia tik minimalios techninės priežiūros, o granulių degiklius galima sumontuoti ir senuose kietojo, skystojo ar dujinio kuro katiluose.

8.7 pav. pateikta principinė vietinio šildymo katilinės ir pastatų šildymo sistemos schema. Joje katilų ir šildymo sistemos kontūrai atskirti šilumokaičiu. Tai leidžia išlaikyti skirtingus temperatūros režimus. Į šildymo sistemą tiekiamo vandens temperatūra nustatoma pagal lauko temperatūrą ir yra kintanti. Katilo kontūre paprastai palaikoma pastovi temperatūra, nes į medienos kuro katilus patenkančio vandens temperatūra turi būti santykinai aukšta (virš 65 °C). Tai neleidžia susidaryti rasojimo taškui, formuotis kondensatui ir ant šildymo paviršių kauptis dervai.

Šildymo sistemos kaupiamoji talpykla padeda išlyginti vartojimo netolygumus.

Malkomis kūrenami katilai, tinkami sublokuotiems ir individualiems namams, pagal savo veikimo pobūdį gali būti skirstomi į tris pagrindines grupes:

- viršutinio degimo katilai (8.8 pav.);
- apatinio degimo katilai (8.9 pav.);
- atvirkštinio degimo katilai (dar vadinami gazifikacijos katilais) (žr. 8.10 pav.).



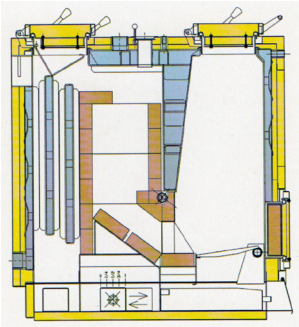
8.7 pav. Vietinės katilinės ir šildymo sistemos schema [66]

Pagrindinis viršutinio degimo katilo trūkumas yra tas, kad deginant reikia dažnai papildyti kuro, tačiau kuro kokybės reikalavimai nėra labai griežti. Apatinio degimo katilo veikimo ciklas gali trukti 5–8 valandas, reikia naudoti sausas vienodo dydžio malkas. Plėtojant apatinio degimo katilų technologijas buvo sukurti vadinamieji atvirkštinio degimo katilai, kurių degimas yra švaresnis, geriau kontroliuojamas ir efektyvesnis.

Malkomis kūrenami katilai paprastai nėra eksploatuojami nuolat, tad jie turi turėti kaupiamąją talpyklą (vandens talpyklą). Kaupiamosios talpyklos dydis priklauso nuo veikimo principo, reguliavimo ir katilo galios, kuri turi atitikti pastato šiluminę apkrovą.

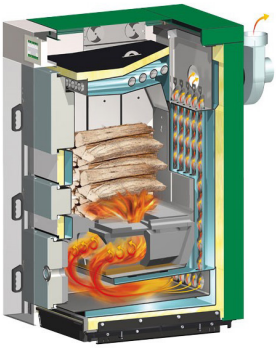
Medžiu kūrenamų katilų galia gali siekti 500 kW, nedidelių katilų galia prasideda nuo maždaug 100 kW, jiems kūrenti naudojamos aukštos kokybės vienodo dydžio skiedros, kurių drėgmė neviršija 35 %. Granulėmis kūrenamų katilų galia yra labai įvairi, paprastai nuo 20 kW iki 4 MW.
Malkomis kūrenamuose katiluose galima deginti ir medžio briketus.

Vietinio šildymo reikmėms naudojamų granulėmis ir skiedromis kūrenamų katilų komplektuose yra kuro saugykla ir tiekimo įranga, pelenų tvarkymo įranga, dažnai ir kaupiamoji talpykla (šilumos kaupykla). Jei reikia, gali būti įrengiama dūmų dujų filtravimo įranga (8.11, 8.12, 8.13 pav.). Mažesnėse katilinėse greta katilų yra pelenų surinkimo talpyklos, į kurias pelenai surenkami rankomis arba naudojant sraigtinį konvejerį. Didesnėse katilinėse (kurios turi lakiųjų pelenų filtrus (8.12 pav., B dalis)) pelenų surinkimo įranga gali būti įtaisyta ant išorinės pastato sienos, kad ją būtų galima ištuštinti ar perkelti mechaniškai. Papildomos katilų įrangos pasirinkimas yra išties didelis, ją pasitelkiant galima įrengti katilinę, kuriai reikės tik minimalios techninės priežiūros.

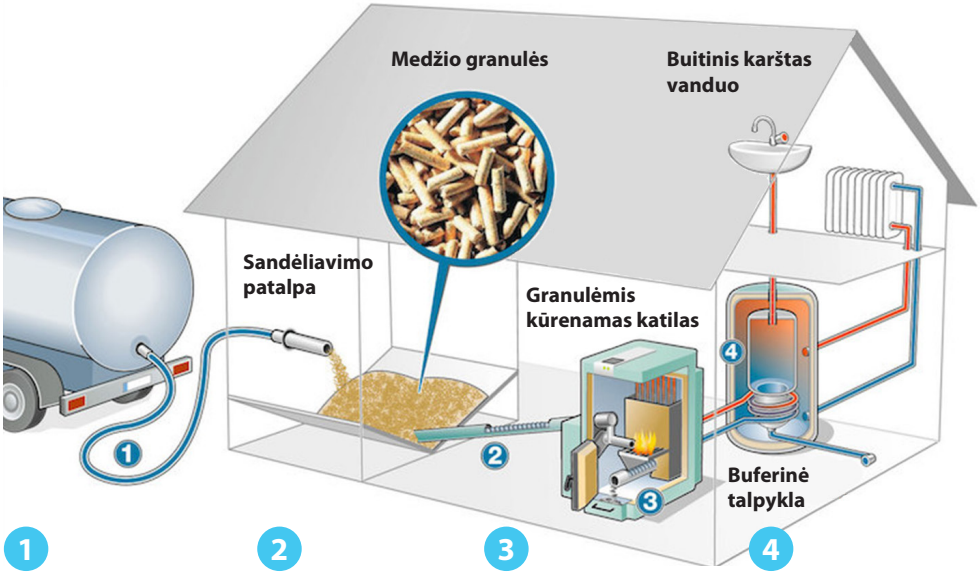


8.9 pav. Medžiu kūrenamas apatinio degimo katilas [22]

8.8 pav. „Rapla Metall OÜ“ gaminamas iki 500 kW galios medžiu kūrenamas viršutinio degimo katilas [67]



8.10 pav. Iki 40 kW galios medžiu kūrenamas atvirkštinio degimo katilas [68]



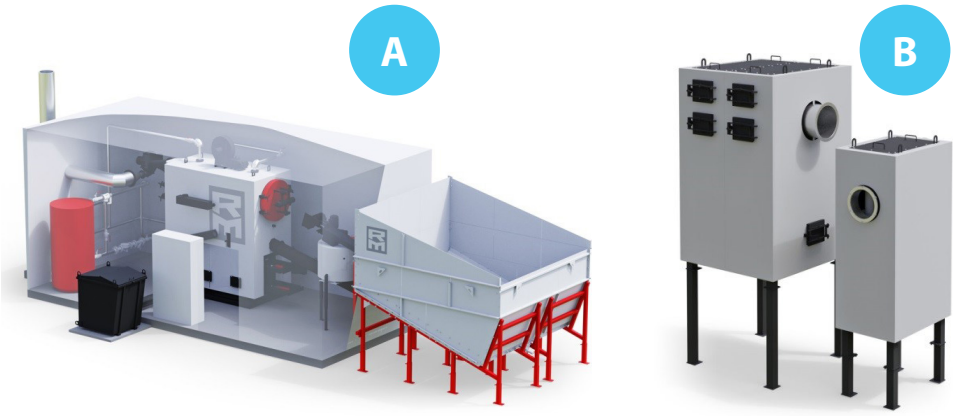
1 Vieną ar du kartus per metus iš sunkvežimio bunkeris pripildomas granulių. 4,5 m² sandėliavimo patalpos užtenka vienos šeimos namų ūkiui šiluma aprūpinti visus metus.

2 Granulės iš sandėliavimo patalpos į katilą tiekiamos visiškai automatiškai.

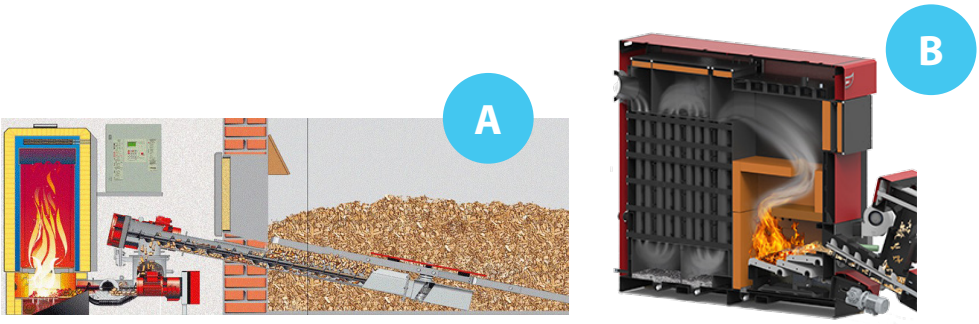
3 Po degimo proceso lieka tik pelenai, kurie sveria vos 0,5 % pradinio granulės svorio. Pelenus galima išmesti kartu su buitinėmis atliekomis.

4 Jei granulėmis kūrenamas katilas sujungiamas su buferine talpykla, galima sumažinti jo išlakas ir padidinti efektyvumą.

8.11 pav. Vietinis individualaus namo šildymas su kuro sandėliavimo talpykla [69]



8.12 pav. A. Granulėmis kūrenama 120 kW galios vaikų darželio katilinė su AS „Rapla Metall“ katilu ir tiekimo įranga B. Dūmų dujų filtravimo įranga [67]



8.13 pav. A. Medžio skiedromis kūrenama vietinė katilinė ir kuro sandėliavimo patalpa (skersinis pjūvis) B. „EasyLife“ medžio granulių katilas [70]

8.3.1. Vietinės hibridinės šildymo sistemos, įranga ir technologijos

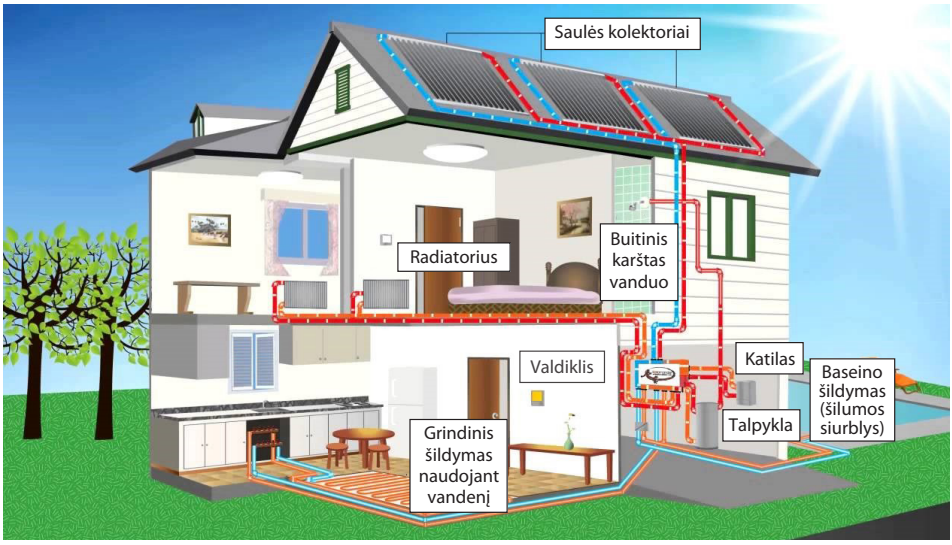
Kvartalinėse katilinėse, kuriose yra arba nėra įprastos šildymo įrangos (katilų), galima įrengti ir kuro nedeginančius atsinaujinančiuosius energijos šaltinius, pavyzdžiui, šilumos siurblius (naudojančius ventiliacijos oro, nuotekų, žemės ir oro energiją), saulės kolektorius ar net kuro elementus.

Buitinei paskirčiai galima rinktis hibridinius atsinaujinančiųjų energijos šaltinių sprendimus. Pastaruoju metu individualiuose ir daugiabučiuose namuose, ypač jei jie neprijungti prie centralizuoto šildymo tinklų, įrengiamos hibridinės šildymo sistemos, kuriose naudojami įvairūs energijos šaltiniai, pvz., gamtinės dujos, medžio kuras, elektros šildytuvai, šilumos siurbliai, saulės kolektoriai ir kt. (8.14 pav.). Kita vertus, įrengiami ir centralizuoto šildymo tinklai su hibridiniais šilumos šaltiniais (žr. 8.2.3 skyrių).

Hibridiniuose šildymo sprendimuose, pagrįstuose atsinaujinančiaisiais energijos šaltiniais, medžio kuro naudojimas dažniausiai derinamas su šilumos siurbliais (3 pagrindiniai tipai – geoterminis, „oras–vanduo“ ir „oras–oras“ tipų šilumos siurbliai). Daugelyje vietų medžio kūrenimo sistemos papildomos saulės kolektoriais, kad tiektų buitinį karštą vandenį tuo atveju, kai šilumos siurblys nenumatytas ar jo įrengti negalima. Vokietijoje 60 % granulėmis kūrenamų katilų ir krosnelių savininkų savo namų ūkiuose įrengė ir su saulės energijos kolektoriais veikiančius šildytuvus. Pagrindinę visų metų pastato šilumos apkrovą gali tenkinti tiek geoterminiai šilumos siurbliai, tiek šildymo medžio kuru įranga. Nors didžiąją individualaus gyvenamojo namo metinės šiluminės apkrovos dalį gali padengti „oras–vanduo“ tipo šilumos siurbliai, itin šaltu laikotarpiu (temperatūrai nukritus žemiau –20 °C) reikia naudoti kitus šildymo įrenginius. „Oras–oras“ tipo šilumos siurbliai daugiausia naudojami vietinio šildymo sprendimuose.

Tam, kad katilai vasarą nebūtų naudojami vien buitiniam karštam vandeniui ruošti, medžiu kūrenamose kvartalinėse katilinėse taip pat integruojami saulės energijos kolektoriai. Toks sprendimas ypač efektyvus, kai kurioms nors patalpoms, terasoms, garažams šildyti naudojamas grindinis šildymas ir baseino vandens šildymas (8.15 pav.). Estijos platumose beveik visą nuo kovo mėnesio pastatui reikalingo šildymo ir karšto vandens tiekimą galima užtikrinti tinkamai pasirinkus saulės kolektorių šildymo įrangą ir šilumos kaupyklos dydį (tūrį). Šiuo laikotarpiu, išskyrus kelias dienas, praktiškai nereikėtų naudoti kitų šildymo šaltinių.

8.14 pav. Hibridinės vietinės šildymo sistemos pagrindiniai šilumos šaltiniai [71]



8.15 pav. Gyvenamųjų namų šildymas naudojant katilą ir saulės kolektorius („Solamander“ sistema) [72]

Jei individualus namas ar vietiniu šildymo įrenginiu šildomas daugiabutis namas renovuotas iki C energijos klasės arba pastatytas atsižvelgiant į A arba B klasės energijos klasės reikalavimus, galima naudoti mažo šildymo grafiką. Tokiais atvejais kaip pagrindinį šildymo įrenginį galima naudoti šilumos siurblį, nes tai vienas iš patogiausių ir efektyviausių šildymo sprendimų. Granulėms ar kitam kietajam kurui laikyti nereikia atskiros sandėliavimo vietos, taip pat nereikia atlikti savaitinio valymo ar techninės priežiūros.

8.3.2. Patalpos šildymo sistemos ir įranga

Kai kuriuose individualiuose namuose vis dar naudojama patalpos šildymo sistema. Tokią šildymo sistemą galima rasti ir senesniuose daugiabučiuose bei viešuosiuose valstybiniuose pastatuose (pvz., senose mokyklose, bendruomenių centruose, bibliotekose ir t. t.). Patalpos šildymo sistema paprastai skirta tik vienai patalpai šildyti, tačiau vienu įrenginiu galima šildyti ir dvi ar daugiau patalpų, priklausomai nuo šildytuvo (pvz., krosnies) vietos pastate ir jo šiluminės galios. Palyginti su kitais šildymo būdais, patalpos šildymo sistemos aktualumas palaipsniui mažėja, tačiau ji vis dar naudojama individualiuose namuose. Kaip ir centralizuoto bei vietinio šildymo sistemos, patalpos šildymo įranga ir technologijos tobulėja. Atsirado efektyvesnių krosnių, šilumą kaupiančių židinių, oro šildytuvų (pvz., „oras–oras“ tipo šilumos siurbliai). Jei šildomos kelios vieno pastato patalpos (pvz., visas antras individualaus namo aukštas), tai iš dalies galima laikyti vietiniu šildymu. Dažnai patalpų šildytuvai vienas kitą papildo. Šiais laikais labai dažna schema, kurioje nuo ankstyvo pavasario iki vėlyvo rudens šildymui naudojamas (-i) „oras–oras“ tipo šilumos siurblys (-iai), o šaltuoju metu šilumą tiekia krosnys ar šilumą kaupiantys židiniai. Kai kuriose ne nuolat naudojamose patalpose (pvz., bendruomenės centruose) „oras–oras“ tipo šilumos siurbliu palaikoma minimali leistina vidaus temperatūra, o kai reikia, papildomai šildoma krosnimi ar elektriniais šildytuvais. Kai oro temperatūra nukrenta žemiau –20 °C, „oras–oras“ tipo šildymo siurblys tiekia beveik tiek pat šilumos (kWh), kiek suvartoja elektros energijos (kWh). Vasarą šie šilumos siurbliai (jei turi apgrąžos ciklo funkciją) gali būti naudojami patalpoms vėsinti.

Vienas iš pagrindinių patalpų šildymo energijos šaltinių yra elektra. Tai brangiausias, tačiau kokybiškiausias energijos tipas, tinkamas namų ūkiui. Yra daugybė elektrinių šildytuvų tipų (radiatoriai, konvektoriai, šilumos emiteriai, grindinio šildymo kabeliai, lubų šildymo plokštės, sienų plokštės, apdailos plokštės ir t. t.), kuriuos galima derinti su kitais vietinio šildymo įrenginiais, įskaitant krosnis ir židinius, naudoti šiuolaikines automatikos ir valdymo sistemas. Valdymo blokas, galintis stebėti elektros kainą, įjungia elektrinį šildytuvą, kai kaina maža (kainos ribinę vertę galima iš anksto nustatyti), o kitais atvejais šildo krosnis ar židinys. Šiais laikais galima įsigyti visiškai automatinių granulėmis kūrenamų židinių, kurių veikimas gali būti valdomas pagal nustatytus lauko temperatūros parametrus. Elektros kainai pakilus aukščiau priimtinos ir patalpos oro temperatūrai nukritus žemiau nustatytosios (kadangi elektrinis šildytuvas nebeveikia), pradės veikti granulėmis kūrenamas židinys ir jo skleidžiamas šiltas oras tęs patalpos šildymą. Tokios hibridinės patalpų šildymo sistemos gali būti gan ekonomiškos ir užtikrinti kokybišką orą patalpose.

Dažniausiai patalpų šildymo prietaisai yra nedideli, jų šiluminė galia retai viršija 5–6 kW, didesniųjų siekia iki 10 kW (krosnis, granulėmis kūrenamas židinys).

Patalpos šildymo įrenginiai (ypač židiniai, krosnys) ne tik šildo, bet ir atlieka interjero dizaino funkciją – suteikia patalpai jaukumo ir padeda sukurti ramią aplinką. Jei būste įrengtas centralizuotas šildymas, dažnai įrengiamas ir medžiu kūrenamas židinys, tačiau tai paprastai daroma siekiant sukurti jaukią ir malonią aplinką, o ne tenkinti šildymo poreikį.

Dažniausi patalpos šildymo įrenginiai šiais laikais yra krosnys (8.16 pav.), židiniai, krosnys su stačiamalkiu (8.17 pav.) ir oro

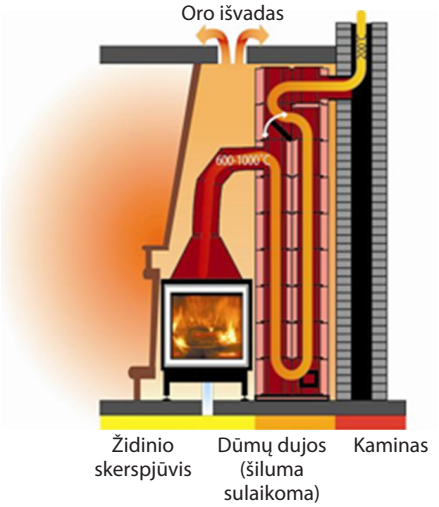
šildytuvai („oras–oras“ tipo šilumos siurbliai, 8.21 pav.). Prie oro šildytuvų galima priskirti ir granulėmis kūrenamus židinius (8.18 pav.), „Bullerjan“ tipo krosneles ar oro šildytuvus (8.19 pav.) ir kai kuriuos orui šildyti skirtus židinius (8.20 pav.), per kurių oro kanalus oras įkaitinamas ir nukreipiamas į vieną ar daugiau patalpų.

„Bullerjan“ tipo oro šildytuvai ypač tinka dirbtuvėms, kuriose yra švarių medienos atliekų (kaladžių, šakų, lentgalių ir t. t.), sandėliams, parduotuvėms ir kitiems pastatams ir patalpoms, šildyti.

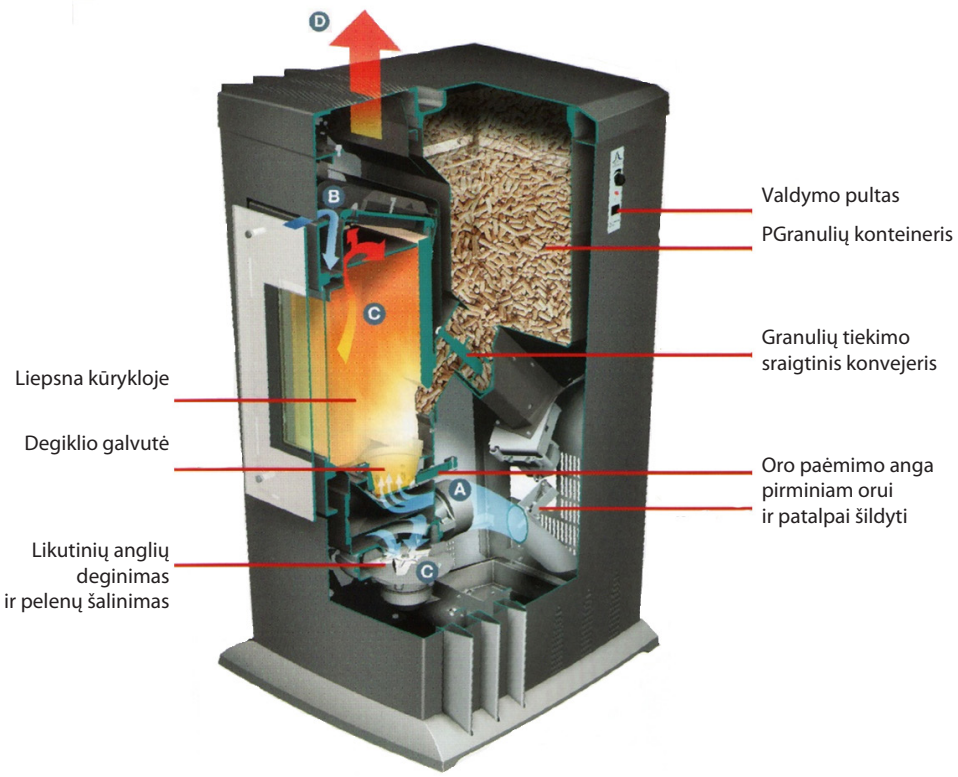
Patalpos šildymo prietaisus sieja vienas svarbus aspektas – jiems reikia aukštos kokybės kuro, t. y. kuo sausesnė ir vienodesnė medžiaga, kuo mažesnis jos peleningumas, tuo veiksmingiau šie prietaisai veiks ir tuo mažiau kasdienės priežiūros jiems reikės (ypač kalbant apie pelenų šalinimą).

8.16 pav. Didelės kaupiamosios galios tiglinė krosnis (nuotraukos autorius Ü. Kask)

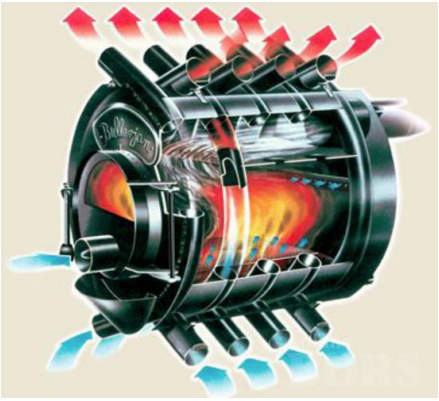
8.17 pav. Krosnis su stačiamalkiu (nuotraukos autorius Ü. Kask)



8.18 pav. Šilumą kaupiantis orą šildantis židinys



8.19 pav. Granulėmis kūrenamas židinys



8.20 pav. Oro šildytuvas, dar vadinamas „Bullerjan“ krosnimi arba „Bulder“ oro šildytuvu [73]

8.21 pav. „Oras–oras“ tipo šilumos siurblys (viršuje – lauko blokas, apačioje – patalpos blokas) [74]

Šiuolaikinėse sandariose patalpose su medžiu kūrenama šildymo įranga ir vėdinimo įranga reikia atsižvelgti į tai, kad vienam kilogramui medienos sudeginti vidutiniškai reikia 10 m^3 oro. Be to, būtina užtikrinti tinkamą patalpos ventiliaciją. Jei ventiliacija nepakankama, naudojant šildytuvą patalpoje susidaro vakuumas ir kūrykloje sutrinka degimas. Tokiu atveju pirmiausia reikėtų atidaryti patalpos langą ar duris. Tiesą sakant, sandariuose būstuose į šildytuvą ar šalia jo turi būti tiekiamas atskiras degimo oras. Degimo ortakis turi būti izoliuotas, jame turi būti įrengta atskira uždarymo sklendė.

8.4. Šilumos ir elektros energijos kogeneracija

Šilumos ir elektros energijos kogeneracija yra technologinis energijos keitimo procesas, kurio metu vienas įrenginys gamina dviejų rūšių energiją. Procese gaunama:

- šiluma, kurią galima naudoti technologiniams procesams, centralizuoto ar vietinio šildymo reikmėms. Kogeneracijos procese sukuriama šiluma taip pat naudojama centralizuoto vėsinimo sistemų vėsinimo procesams;
- mechaninė energija, kuri paprastai paverčiama elektra, tačiau gali būti tiesiogiai naudojama siurbliams, kompresoriams ir kitai įrangai varyti.

Šilumos ir elektros energijos kogeneracijos (trumpiau – kogeneracijos) tikslas yra sumažinti pirminės energijos (kuro) sąnaudas ir kenksmingų medžiagų išlakas, palyginti su elektros ir šilumos gamyba atskiruose įrenginiuose. Daugelis kogeneracijai naudojamų technologinių procesų gali būti naudojami vien elektros gamybai, tačiau tokiu atveju dalis procese sukuriamos šilumos liktų nepanaudota. Maksimaliai panaudojant šilumą bendras kogeneracinio proceso efektyvumas gali pasiekti apie 86 % (kogeneracijos efektyvumo indikatoriai aptariami 11.1 skyriuje).

Dažniausiai kogeneracijai naudojama technologinė įranga:

- priešslėgio garo turbinos;
- garo turbinų blokai su garų išgavimo turbinomis;
- dujų turbinos;
- kombinuoto ciklo dujų ir garų įranga;
- vidaus degimo varikliai;
- kuro elementai.

Be čia nurodytos kogeneracinės įrangos, yra atsiradę ir kitų technologinių sprendimų, pagal kuriuos sukurta įranga bus aptariama kituose šio vadovo skyriuose.

Pagal šio vadovo tematiką pagrindinis dėmesys skiriamas sprendimams, kuriuose kurui galima naudoti biokurą (konkrečiai – medieną).

8.1 lentelėje pateikiama glausta skirtingų kogeneracijos technologijų, naudojamo kuro, tipinės galios ir kitų parametrų apžvalga.

8.1 lentelė. Indikaciniai kogeneracinių technologijų parametrai [75]

Technologija	$P_{el.}/P_{šil.}$*	Naudojamas kuras	Efektyvumas, %		Galia, $MW_{el.}$	Tikėtinos investicijos, $EUR/kW_{el.}$	Tikėtinos techninės priežiūros išlaidos, $EUR/kW_{el.}$
			Iš viso	Jėgainė			
Garo turbina	0,1–0,5	visoks	60–80	7–20	0,5–>1000	1000–2000	0,003
Dujų turbina	0,2–0,8	skystasis kuras, biodujos, gamtinės dujos	65–87	25–42	0,25–>50	450–950	0,0045–0,0105
Kombinuoto ciklo dujų turbina	0,6–2,0	gamtinės dujos	65–90	35–55	3–>300	450–951	0,0045–0,0106
Dyzelinis variklis	0,8–2,4	gamtinės dujos, biodujos, skystasis kuras	65–90	35–45	0,05–20	340–1000	0,0075–0,015
Vidaus degimo variklis	0,5–0,7	skystasis kuras, biodujos, gamtinės dujos	70–92	25–43	0,03–>6	600–1600	0,0075–0,015

* $P_{el.}/P_{šil.}$ – elektros ir šiluminės galios santykis

8.4.1. Kogeneracija naudojant garų įrenginius

Garų generavimas pagrįstas Rankino ciklu, kuriame kaip termodinaminis kūnas paprastai naudojami vandens garai, tačiau gali būti naudojamos ir kitos medžiagos (įskaitant organinius junginius).

Garo blokuose gali būti naudojamas bet koks kuras (įskaitant medžio), jų galia gali siekti iki 1000 $MW_{el.}$ (žr. 8.1 lentelę). Tiek šiluminėse, tiek kogeneracinėse jėgainėse garų ciklo energijos keitimas jau seniai yra svarbiausia energijos technologija.

Priešslėgio garo turbinos kogeneracinio bloko veikimo principas paaiškintas 8.22 pav. Kondensacinio bloko naudojimas vien elektros gamybai nuo priešslėgio turbinos skiriasi tuo, kad vietoje paveiksle parodyto centralizuoto šildymo reikmėms naudojamo vandens šilumokaičio iš turbinos išeinantys garai kondensuojami mažiausiu galimu slėgiu, o žemos temperatūros šiluma kondensacijos metu išleidžiama į aplinką per aušinimo vandenį ar orą. Rankino ciklo kondensacinio bloko ir kogeneracinio bloko šilumos balanso palyginimas pateiktas 8.23 pav.

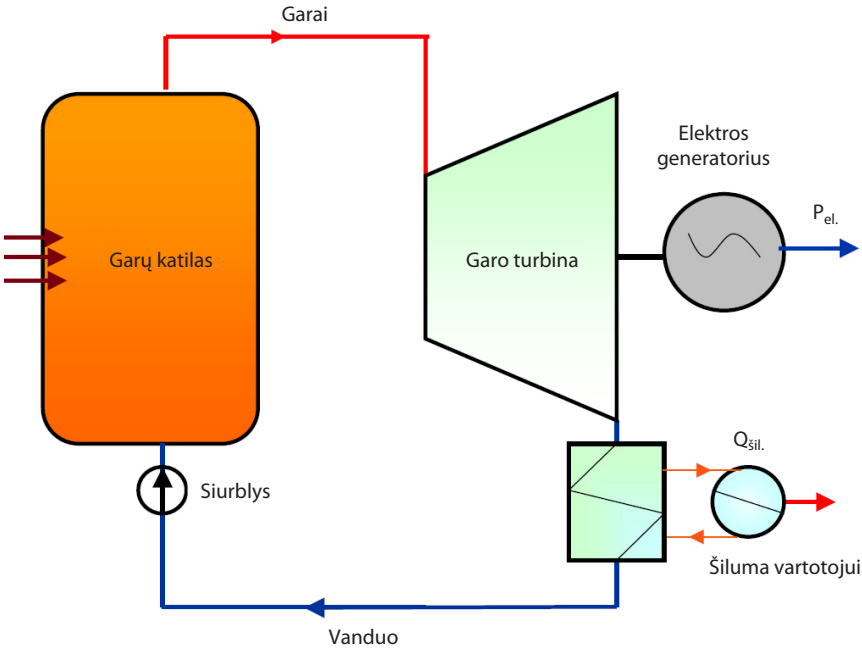
Įprastame didelės galios kondensaciniame bloke garų katile sukurti aukštų parametrų garai (temperatūra siekia 510–565 °C, slėgis – 9–26 MPa) garo turbinoje plečiasi iki vakuuminio 2–5 kPa slėgio.

Dėl žemos temperatūros iš turbinos išeinančių garų šilumos naudoti nebegalima, tad garai atvėsinami (kondensuojami) kondensatoriuje, o jų šiluma per aušinimo vandenį atiduodama į aplinką. Kaip parodyta 8.23 pav., beveik pusė kuro šilumos atiduodama su aušinimo vandeniu.

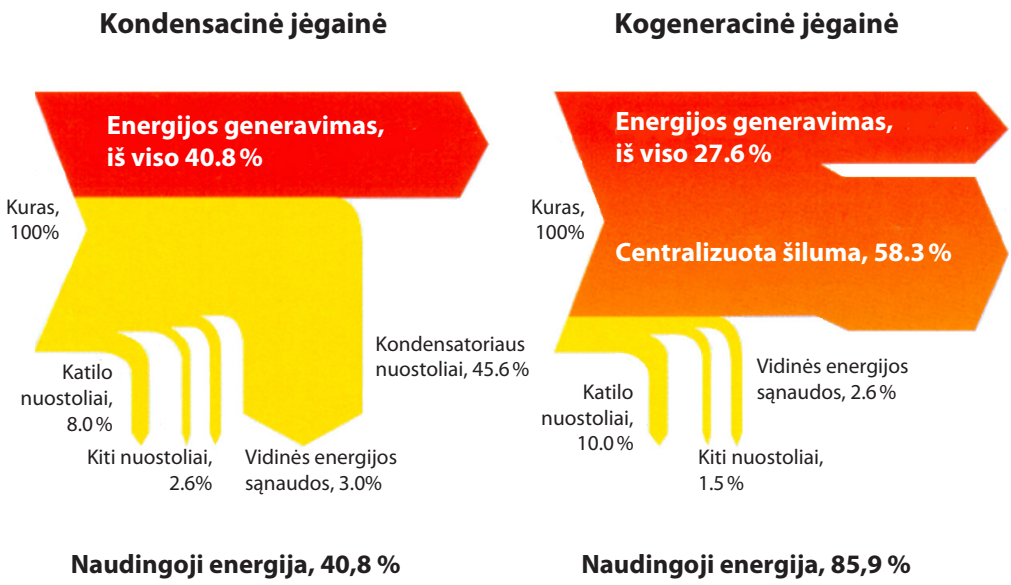
Priešslėgio turbinoje garų išsiplėtimas sustabdomas esant didesniam galutiniam slėgiui (taigi, ir aukštesnei temperatūrai) nei kondensacinėje turbinoje, tad priešslėgio garų kondensacijos šilumą galima naudoti centralizuoto šildymo vandeniui pašildyti, o kartais ir technologiniams procesams.

Kuo aukštesnė į centralizuoto šildymo tinklą tiekiamo vandens temperatūra, tuo didesnis turi būti turbinos priešslėgis ir tuo mažiau elektros bus pagaminama iš šiluminės apkrovos. 8.23 pav. parodoma, kad priešslėgio turbinos elektrinis efektyvumas sumažėja maždaug trečdaliu, palyginti su tokių pačių garų parametrų kondensatoriumi, t. y. nuo 40,8 % iki 27,6 %. Priešslėgio bloke gaminamos elektros ir šilumos energijos santykis ir elektrinio bei šiluminio efektyvumo vertės taip pat labai priklauso nuo į turbiną paduodamų garų parametrų (taip pat žr. 11.1 skyrių ir 11.1 pav.).

Didelis priešslėgio turbinos trūkumas yra tai, kad elektros gamyba tiesiogiai priklauso nuo šiluminės apkrovos – jei šiluminės apkrovos nėra, įrenginys turi būti išjungtas. Garų išgavimo turbinose už turbinos yra kondensatorius, kuriame, nesant šiluminės apkrovos, elektra gaminama efektyviau, analogiškai kaip ir kondensaciniame bloke. Aukštesnis iš turbinos išgaunamų garų slėgis naudojamas centralizuoto šildymo vandeniui šildyti.



8.22 pav. Kogeneracinio bloko su priešslėgio turbina schema



8.23 pav. Didelės galios kogeneracinės jėgainės su priešslėgio turbina ir kondensacinės jėgainės energijos balansų palyginimas [76]

Estijoje biokuro (daugiausia – medžio kuro) kogeneracinės jėgainės su garų ciklo priešslėgio turbina įrengtos OÜ „Utilitas Tallinna Elektrijaam“ jėgainėje Taline, Tartu, Pernu ir Paidės jėgainėse ir kitose vietose. Šiluminė verdančiojo sluoksnio katilų galia Talino Väo (8.24 pav.), Tartu ir Pernu kogeneracinėse jėgainėse siekia 50–70 $MW_{šil.}$, bendra jėgainių elektros galia (generatoriaus galia) yra 24–25 $MW_{el.}$. Talino Väo II jėgainėje naudojami trys katilai, turintys kūryklas su ardynais, kurių bendra galia yra 76 $MW_{el.}$, ir vienas turbininis generatorius, kurio elektrinė galia yra 21 $MW_{el.}$. Šiose kogeneracinėse jėgainėse šviežio garo parametrai atitinka tokius diapazonus: slėgis – nuo 10 iki 12 MPa, temperatūra – nuo 500 iki 550 °C. Be to, naudojami jėgainių šiluminę galią didinantys dūmų dujų kondensatoriai.

Kogeneraciniai blokai su priešslėgio turbina ypač tinka naudoti, kai šiluminė apkrova yra tolygi. Sistemos su garų išgavimo turbinomis ir kondensatoriais praktiškos tais atvejais, kai šilumos apkrova yra svyruojanti. Garo blokų jėgainių privalumai, palyginti su kitomis kogeneracinėmis technologijomis:

- technologinės schemos yra gerai suprojektuotos, įranga itin patikima, seniai išbandyta praktikoje;
- galima naudoti bet kokį kurą, įskaitant drėgną medžio kurą;
- plačios įrangos galios galimybės;
- pati dažniausia įranga didelėse kogeneracinėse jėgainėse.

Kogeneracinių jėgainių su garo blokais trūkumai:

- net ir didelės galios jėgainėse ir esant aukštiems garo parametrams elektros ir šilumos gamybos santykis yra gan mažas (apie 0,5), o mažėjant galiai ir garo parametrams krenta iki maždaug 0,1;
- esant mažai galiai (~ 2 $MW_{el.}$ ir žemesnei) elektros gamybos efektyvumas ir elektros ir šilumos santykis (dėl žemų garo parametrų) yra mažas;
- mažos galios kogeneracinės jėgainės savitieji kaštai yra gan dideli.

8.24 pav. OÜ „Utilitas Tallinna Elektrijaam“ kogeneracinės jėgainės Taline, Väo rajone (kairėje – Väo II, dešinėje – Väo I) [77]

8.4.2. Kogeneraciniai blokai su organiniu šilumnešiu

Nors kogeneraciniai blokai su organiniu šilumnešiu priklauso garo jėgainių kategorijai, ši technologija dėl įvairių priežasčių paprastai išskiriama iš vandens pagrindu veikiančių jėgainių.

Organinis Rankino ciklas (ORC) grindžiamas organinio šilumnešio garavimu ir kondensacija. OCR įrenginiuose kaip termodinaminiai elementai (šilumnešiai) naudojami CFC, freonai, izopentanas, „Genetron 245fa“ ir įvairūs silikono pagrindo skysčiai.

OCR ciklas panašus į įprastą Rankino ciklą. Rankino ciklo metu šiluma paverčiama mechanine energija, tačiau cirkuliacinė medžiaga yra ne vanduo, o molekuliniai organiniai junginiai. OCR technologiniai sprendimai buvo sukurti elektros gamybai geoterminėse ir saulės jėgainėse, tačiau dabar ši technologija taikoma ir biokurą deginančiose kogeneracinėse jėgainėse.

Naudojant biomasę ORC sistemos veikimo principas yra toks: biomasės kietasis kuras (medis) deginamas katilo kūrykloje, kurioje vietoje vandens kaip šilumnešis naudojama šiluminė alyva. Ji pakaitinama iki 300 °C (aukštesnės temperatūros alyva netoleruoja). Šiluminės alyvos šiluma tuomet naudojama garų generatoriuje (šilumokaityje), kuriame kaitinamas ir garinamas ORC naudojamas organinis skystis (pvz., silikono alyva). Silikono alyvos garai nukreipiami į turbiną, ten plečiasi ir varo elektros generatorių. ORC įranga gaminama labai įvairios galios: nuo kelių kilovatų iki 20 $MW_{el.}$.

Iš turbinos išeinantys garai nukreipiami į šilumokaitį, ten kondensuojasi ir šilumą atiduoda vandeniui, cirkuliuojančiam centralizuoto šildymo tinkle. Organinis skystis tuomet pumpuojamas atgal į garo generatorių ir ciklas kartojamas (8.25 pav.).

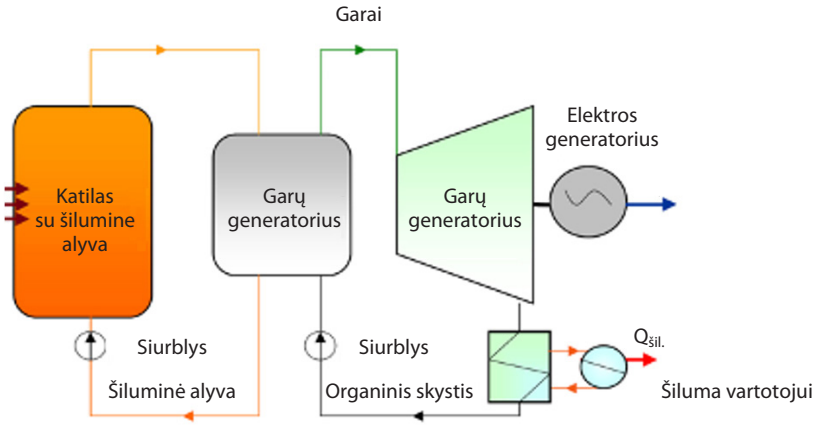
Estijoje ORC technologija taikoma Kuresarės kogeneracinėje jėgainėje (8.27 pav., elektros galia $P_{el.}$ = 2,8 $MW_{el.}$) ir „Adven Eesti AS“ jėgainėje Rakverėje ($P_{el.}$ = 1,0 $MW_{el.}$). Abiejose jėgainėse naudojami Italijos įmonės „Turboden“ ORC moduliai (8.26 pav.).

ORC technologijos privalumai, palyginti su kitomis technologijomis:

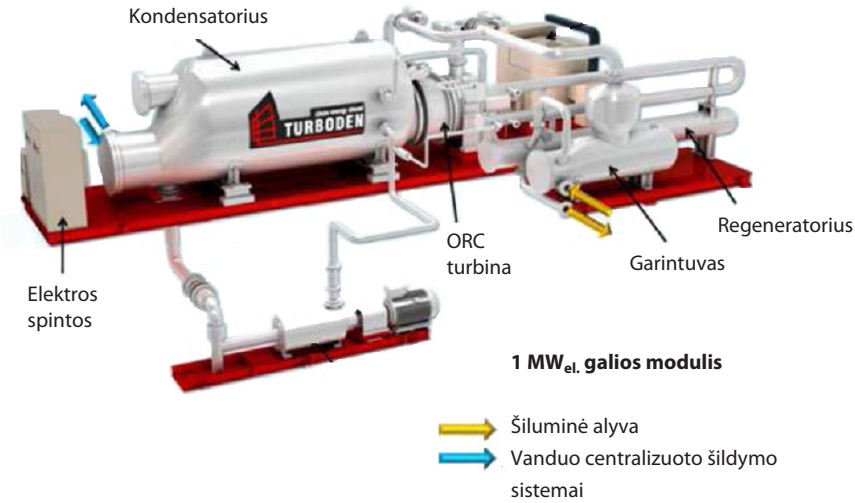
- šiluminė alyva veikia esant žemam slėgiui ir temperatūrai, tad katilas (ypač katilo metalas) yra pigesnis nei aukštų parametrų (virš 500 °C) garo katilai;
- organinis šilumnešis nesukelia korozijos ir nenudėvi turbinos menčių;
- techninės priežiūros išlaidos yra mažesnės nei įprastų garo variklių;
  ORC modulį galima santykinai lengvai įrengti prie jau turimo biokuro katilo;
- įrenginys gerai automatizuotas, veikia iš esmės be priežiūros, jo techninės priežiūros kaštai mažesni nei sistemos su garo katilu;
- nereikia cheminio vandens valymo;
- mažas triukšmo lygis;
- labai plačios apkrovos ribos (10–100 %) ir didelis efektyvumas net esant mažoms apkrovoms.

ORC įrenginių trūkumai:

- santykinai nauja, vis dar tobulinama technologija (ypač mikroįrenginių srityje);
- šiluminę alyvą reikia periodiškai keisti (brangu);
- silikono alyva ir kiti organiniai šilumnešiai yra itin degūs, gali būti toksiški, tad reikia apsaugoti nuo nuotėkio;
- nors ORC modulio kaina maža, biokurui pritaikyto ORC kogeneracinio bloko kaina gali būti iki 4 kartų didesnė;
- santykinai didelės investicijos, nedaug įrangos gamintojų ir jokios konkurencijos.



8.25 pav. Kogeneracinės jėgainės, veikiančios pagal organinį Rankino ciklą, schema



8.26 pav. 1 MW$_{el.}$ ORC įrenginio modulis („Turboden“) [78]

8.27 pav. „AS Kuressaare Soojus“ ORC technologijos kogeneracinė jėgainė, kurioje deginamas medžio kuras [79]

8.4.3. Biomasės kogeneracinės jėgainės su dujų turbinomis ir vidaus degimo varikliais

Kaip nurodo pavadinimas, pagrindinis dujų turbinų kuras yra dujos. Dažniausiai tai gamtinės dujos, tačiau gali būti ir kitos degios dujos, įskaitant biomasės šiluminės gazifikacijos procese gaunamas dujas. Jei kuras derinamas su dujų ir garų ciklu, kurui paprastai naudojamos gamtinės dujos, tad kitų kuro rūšių išsamiau nenagrinėsime.

Kaip jau paaiškinta skyriuje apie biomasės gazifikaciją (7.5 skyrius), po gazifikacijos reakcijos gautas dujas reikia išvalyti, kad jose neliktų kietųjų dalelių ir dervų, tik tuomet jas galima naudoti dujų turbinose ar vidaus degimo varikliuose. Kogeneracinių dujų turbinų sprendimų Estijoje dar neįgyvendinta, tačiau geras pavyzdys yra Giusinge, Austrijoje – ten jau kelerius metus veikia verdančiojo sluoksnio katilo ir dujų turbinos kogeneracinė jėgainė, kurios elektros generavimo galia yra 2 $MW_{el.}$, o šilumos generavimo galia – 4,5 $MW_{šil.}$ (8.28 pav.) [80].

Kadangi varikliams taikomi dujų švarumo reikalavimai yra ne tokie griežti, kaip dujų turbinoms, kogeneracinėse jėgainėse dažniau įrengiami vidaus degimo varikliai. Paprastas biomasės gazifikacijos ir kogeneracinės jėgainės su vidaus degimo varikliu (dujiniu varikliu) sprendimas pavaizduotas 8.29 pav. Kituose dviejuose paveiksluose (8.30 ir 8.31 pav.) pateiktos dviejų įmonių kogeneracinių jėgainių schemos.

8.31 pav. vaizduojamas „Spanner“ medienos dujų generatoriaus ir vidaus degimo variklio kogeneracinis blokas gaminamas jau daug metų, jo galia – nuo 30 iki 68 $kW_{el.}$ ir nuo 70 iki 123 $kW_{šil.}$. Arčiausiai Estijos esantis toks kogeneracinis blokas su trimis įrenginiais, kurių bendra elektros generavimo galia yra 135 $kW_{el.}$ veikia Latvijoje, Valkoje, medienos fabrike (8.31 pav., nuotrauka dešinėje). Įmonėje „Spanner“ atliekami bandymai su nauja 100 $kW_{el.}$ galios kogeneracine įranga. Estijoje eksperimentiniai kogeneraciniai blokai su medžio dujų generatoriumi buvo įrengiami Tartu ir Vehmoje, tačiau jų įrengimas dėl techninių priežasčių nebuvo sėkmingas.

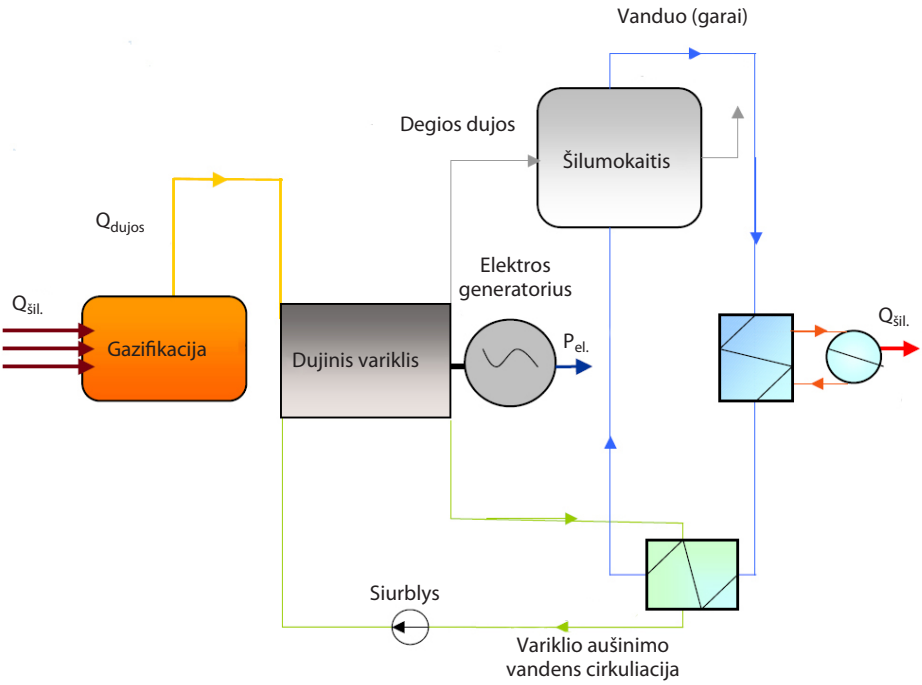
Biomasės gazifikavimo ir kogeneracinių sistemų su dujiniais varikliais privalumai:

- bendras dujomis kūrenamų kogeneracinių blokų efektyvumas yra daugiau nei 85 %;
- didelis elektros gamybos efektyvumas (30–45 %);
- santykinai maža dujinio variklio kaina;
- gazifikavimo technologija yra sena ir naudojama jau ilgai.

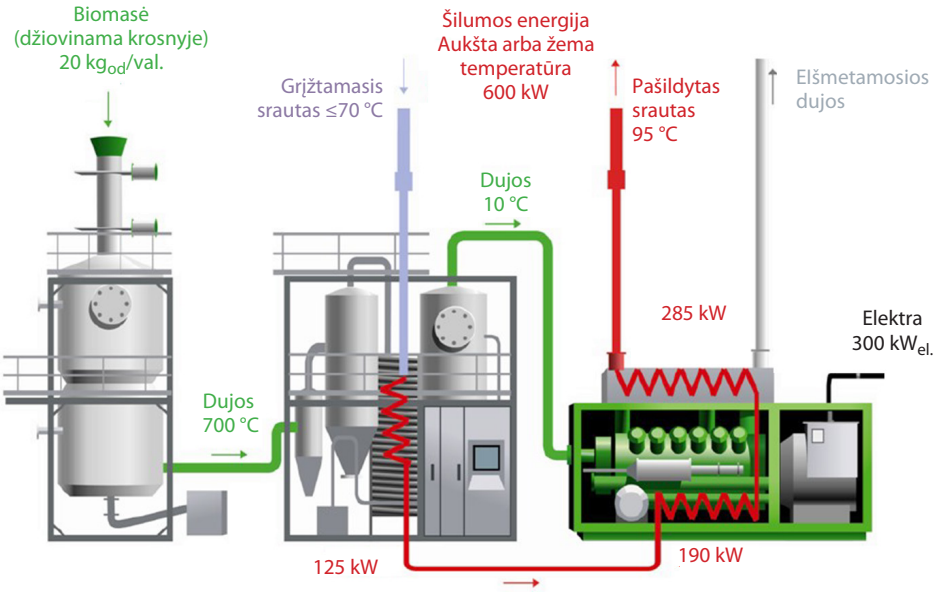
Biomasės gazifikavimo ir kogeneracinių sistemų su dujiniais varikliais trūkumai:

- didelis triukšmo lygis;
- dujinių variklių tarnavimo laikas tiesiogiai priklauso nuo dujų kokybės;
- varikliams būdingas cilindrų, žiedų, trauklių ir guolių dėvėjimasis;
- gazifikacijai apskritai tinkama sausa vienodo dalelių dydžio biomasė;
- nepakankamai išvystytos efektyvios medžio dujų (generuojamų dujų) filtravimo technologijos;
- didelė gazifikacijos reaktoriaus ir dujų filtravimo įrangos (katalizatorių) kaina.

8.28 pav. Kogeneracinė jėgainė Giusinge (Austrija) su verdančiojo sluoksnio dujų generatoriumi ir dujų turbina, veikiančia kūrenant vietines medienos pramonės atliekas Elektros generavimo galia 2 $MW_{el.}$, šilumos generavimo galia 4,5 $MW_{šil.}$ [80]

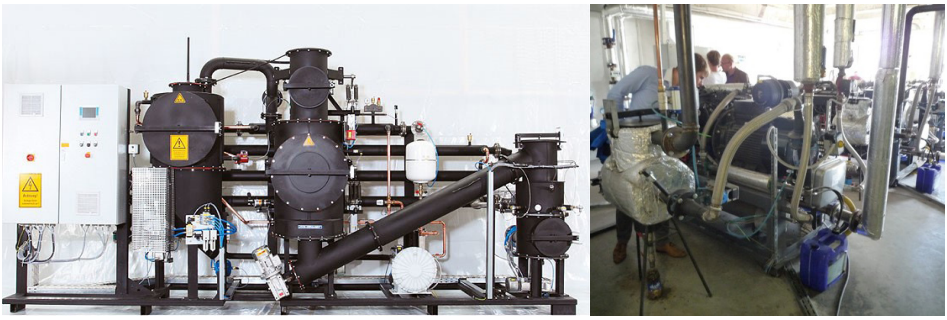


8.29 pav. Biomasės (įskaitant medžio kurą) gazifikacijos ir dujomis kūrenamos kogeneracinės jėgainės schema



Bendras efektyvumas = 75 % (25 % elektra, 50 % šiluma)

8.30 pav. „Xylowatt NOTAR“ gazifikatorius (Belgija), 300 kW$_{el.}$ kogeneracinė jėgainė su medžio / dujų generatoriumi ir dujiniu varikliu. Degina sausas medžio skiedras [81]



8.31 pav. Kogeneracinis blokas su medžio dujų generatoriumi HKA45 („Spanner Re^2 GmbH“, Vokietija) [50]. Nuotraukoje dešinėje – Valkos kogeneracinės jėgainės variklių skyrius (nuotraukos autorius U. Kask).

8.4.4. Biomasę deginantys mikrokogeneraciniai blokai

Remiantis ES energijos efektyvumo ir kogeneracijos direktyva [82], kogeneraciniai blokai pagal pagaminamą energiją skirstomi į tris galios grupes:

- mikrokogeneraciniai blokai, kurių elektros galia $P_{el.} < 50$ kW;
- maži kogeneraciniai blokai – $50 \text{ kW} < P_{el.} < 1$ MW;
- dideli kogeneraciniai blokai – $P_{el.} > 1$ MW.

Šios klasifikacijos tikslas yra pritaikyti skirtingus efektyvumo ir pirminės energijos taupymo reikalavimus skirtingų galių grupių įrenginiams (žr. 11.1 skyrių).

Mikrokogeneraciniai blokai aptariami keliuose literatūros šaltiniuose (pvz., [83]). Jų galia neviršija 15 $kW_{el.}$, o tai yra gerokai mažiau nei bendra direktyvoje [82] nurodyta mikroįrenginių galios riba, todėl direktyvos reikalavimai šiems įrenginiams netaikomi.

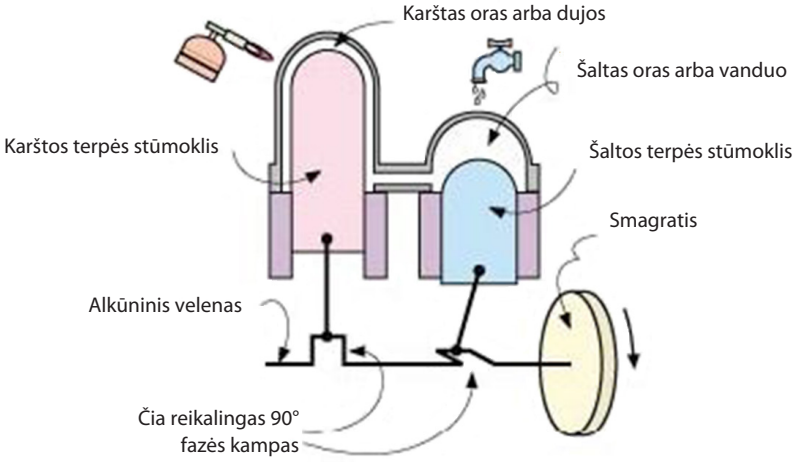
Yra sukurta įvairių technologinių sprendimų, susijusių su mikrokogeneracinėmis sistemomis. Iš jų šiame vadove trumpai aptariamos sistemos su išorinio degimo varikliu ir karšto oro turbinos.

Mikrokogeneracijos sistema su išorinio degimo varikliu

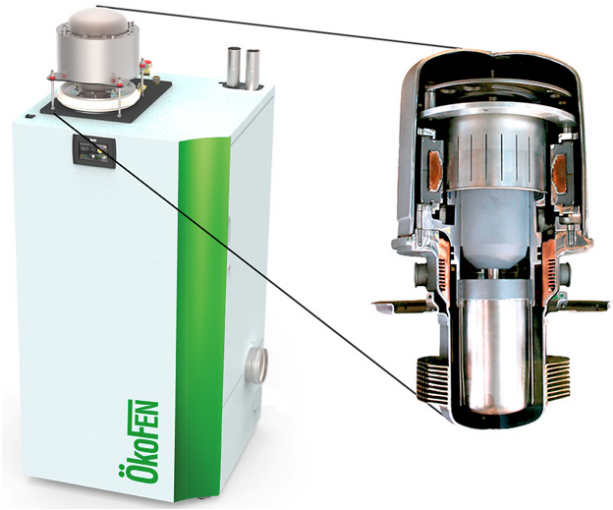
Kogeneracijai naudojamas Stirlingo variklis yra vadinamasis išorinio degimo variklis (8.32–8.34 pav.). Kitas išorinio degimo variklio tipas yra cikloninis variklis. Stirlingo variklis nuo vidaus degimo variklio skiriasi tuo, kad jo cilindrai uždari, o degimo procesas vyksta jų išorėje. Stūmoklius aktyvuoja cilindre esančių dujų slėgio skirtumas, susidarantis dėl pakaitomis vykstančio išorinio cilindro paviršiaus įkaitimo ir atvėsimo. Šilumnešis gali būti oras, tačiau efektyviau naudoti vandenilį ar helį. Variklis paprastai įjungia sinchroninį generatorių.

Stirlingo kogeneracinių blokų elektrinis efektyvumas svyruoja nuo 12 iki 30 %, bendras efektyvumas – nuo 80 iki 90 %, elektros ir šilumos santykis – nuo 0,2 iki 0,5 [84], [85]. 8.33 pav. pavaizduoto 1,05 kW galios „Pellematic Condens_e“ kogeneracinės sistemos su Stirlingo varikliu, varomu deginant medžio granules, elektrinis efektyvumas yra 26 % [86].

Stirlingo variklio kogeneracinių jėgainių technologiniai sprendimai dar nebaigti kurti, duomenų apie jų eksploatacinį patikimumą nėra. Tikimasi, kad patikimumas bus panašus į dyzelinių variklių, metinis prieinamumas bus 85–90 % eksploatacijos laiko.



8.32 pav. Stirlingo variklio veikimo schema



8.33 pav. 1,05 $kW_{el.}$ elektros galios „Pellematic Condens“ kogeneracinė sistema, varoma deginant medžio granules ir veikianti su Stirlingo varikliu [86]

8.34 pav. Kogeneracinė jėgainė su gazifikatoriaus koeficientu, dujiniu katilu ir 35 kW galios Stirlingo varikliu (nuotraukų autorius Ü. Kask)

Kaip nurodo Danijos energetikos agentūra [87], biomasę deginančių kogeneracinių blokų su Stirlingo varikliais ekonominės savybės yra vidutinės. Pasak šio šaltinio, investicijų kaštai į 40 $kW_{el.}$ ir 120 $kW_{šil.}$ biomasės gazifikaciją siekia 3,8 mln. EUR, o eksploatacinės išlaidos – 32,000 EUR/$MW_{el.}$ (fiksuotas komponentas) ir 21 EUR/$MWh_{el.}$ (kintamas komponentas)

Kogeneracinė sistema su karšto oro turbina

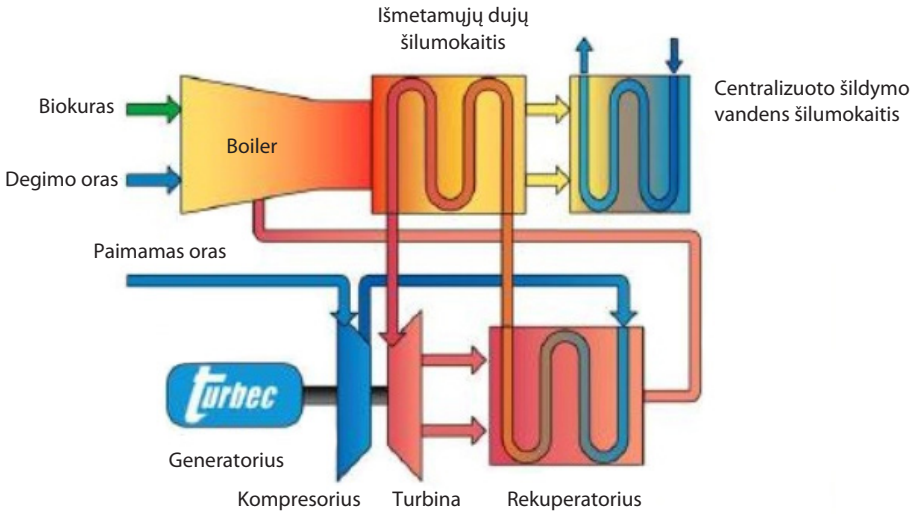
Elektros ir šilumos kogeneracija suteikia galimybę kartu naudoti, pavyzdžiui, medžio skiedromis (įskaitant drėgnas) kūrenamą karšto oro katilą ir karšto oro turbiną. Tokios eksperimentinės kogeneracinės sistemos sukurtos Suomijoje ir Airijoje. Pavyzdžiui, Suomijoje suprojektuota ir pastatyta 100 $kW_{el.}$ ir 300 $kW_{šil.}$ galios kogeneracinė jėgainė su karšto oro turbina. Per metus ji pagamina 800 $MWh_{el.}$ elektros energijos ir 2500 $MWh_{šil.}$ šilumos (8.35 pav.).

„HLT-100 Compact“ kogeneraciniame bloke su karšto oro turbina yra karšto oro turbina, medžio kurą deginantis katilas, kompresorius ir šilumokaičiai (8.36 pav.). Šio

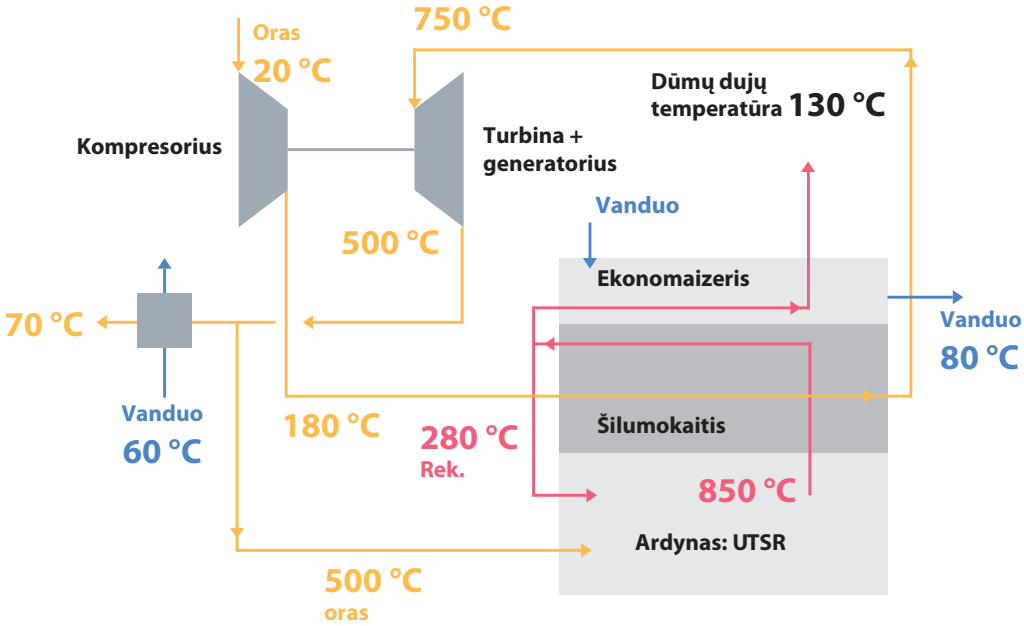
įrenginio šiluminė galia – 465 $kW_{šil.}$, elektros galia siekia 80–105 $kW_{el.}$. Dėl kompleksiškumo ir techninės priežiūros reikalavimų kogeneraciniai blokai su ORC ir garo turbinomis kainuoja daugiau nei 2 $MW_{šil.}$ įrenginiai tik esant šiluminei apkrovai. Daugeliu atvejų visus metus tokios tolygios šiluminės apkrovos užtikrinti neįmanoma, tad kogeneracinė jėgainė su karšto oro turbina yra itin tinkama naudoti, kai taikytinas bendras jėgainių be ORC ir įprastų garo blokų galingumo diapazonas.

Kogeneracinėse technologijose su karšto oro turbina elektra generuojama per Braytono ciklą, kai šilumos šaltinis yra medžiu kūrenami karšto oro katilai. Procese generuojamas atmosferos oras suspaudžiamas, naudojant karštas degimo proceso dūmų dujas katilo šilumokaityje pakaitinamas iki 680 °C, nukreipiamas į turbiną ir joje išsiplečia. Iš turbinos išeinantis dar sąlyginai karštas oras naudojamas kaip degimo oras katilo kūrykloje. Dalis šio oro šilumos gali būti naudojama vandeniui šildymo sistemoje kaitinti. Iš katilo išmetamos dūmų dujos taip pat šildo į šildymo sistemą patenkantį vandenį (8.35 pav.).

Karštas dūmų dujas už šilumokaičio galima iš dalies panaudoti degimo procesui valdyti. Likusios dūmų dujos atvėsinamos, pavyzdžiui, centralizuoto šildymo šilumokaityje, ir filtruojamos multicikloniniuose ar elektriniuose filtruose (8.36 pav.), tuomet nukreipiamos į kaminą. Panaudojant iš turbinos išmetamą orą ir dūmų dujų šilumą šildymo sistemoje užtikrinamas bendras 74–77 % kogeneracinės jėgainės efektyvumas.



8.35 pav. Medžio skiedromis kūrenamos kogeneracinės jėgainės su karšto oro turbina schema ir katilinės išorės vaizdas (Suomija)



8.36 pav. Kogeneracinė jėgainė su karšto oro turbina „HLT-100 Compact“ (viršuje) ir schema (apačioje, „Schmid Energy Solutions“. Elektros gamybos efektyvumas 13 %, šiluminis efektyvumas 63 % [89]

9. Šildymo įrangos išlakos į aplinką

9.1. Šildymo įrangos poveikis aplinkai

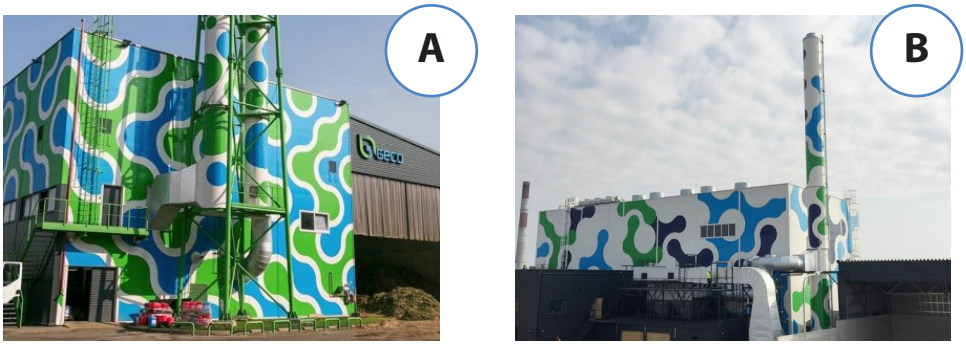
Su šildymo įranga ir jėgainėmis, didelėmis katilinėmis ir pramonės įmonėmis, medžio ir kitokio kuro deginimu kvartalinėje ir vietinio šildymo įrangoje (krosnyse, židiniuose, katiluose ir t. t.) tiesiogiai siejami antropogeniniai taršos šaltiniai.

Katilinės, kuriose naudojamos kuro deginimo technologijos, pvz., energijos keitimo objektai ir įranga, apimanti bet kokią technologiją, gali daugiau ar mažiau paveikti gamtą ar aplink gyvenančių gyventojų aplinką, net ir vizualiai ar pakeisdamos nekilnojamojo turto kainą.

Laikoma, kad medžio ar kito biokuro kūrenimas yra ekologiškesnis nei iškastinio kuro deginimas. Vis dėlto ir deginant medžio kurą į aplinką išskiriamos kietosios, dujinės ir kai kuriais atvejais skystosios išlakos. Medžio kuru kūrenamų katilinių tiesioginį poveikį aplinkai galima apibendrinti taip:

- dujinės ir kietųjų dalelių išlakos į orą (įskaitant dulkes iš sandėliavimo vietų);
- sausi ir šlapi pelenai, kuriuos reikia utilizuoti;
- triukšmas, vibracija;
- kuro gabenimas sunkiosiomis transporto priemonėmis (gali trikdyti įprastam eismui);
- vizualiniai trikdžiai;
- galimas tiesiogiai šalia katilinių esančio nekilnojamojo turto vertės sumažėjimas (netiesioginis poveikis).

Tinkamai planuojant, pasirenkant tinkamą architektūrinį sprendimą ir katilinės pastatą vizualinį poveikį ir galimą triukšmą, vibraciją ir nepageidautiną sunkiųjų transporto priemonių eismo poveikį galima sumažinti (9.1 pav., A ir B dalys). O kovojant su kietųjų dalelių ir dujų išlakomis daug daugiau dėmesio reikia skirti deginimo ir dujų valymo technologijų tobulinimui, tad katilinė turėtų tenkinti vis griežtėjančius aplinkosaugos reikalavimus.



9.1 pav. A) Architektūriniu požiūriu išskirtinė medžio skiedromis kūrenama katilinė Kaune (2012, GECO); B) „Danpower Baltic“ kogeneracinė medžio kuru kūrenama katilinė Kaune (2017, galia 20 $MW_{šil.}$ ir 5 $MW_{el.}$) [90]

9.2. Kietųjų dalelių ir dujų išlakos

Deginant medžio kurą susidaro kietosios dalelės – pelenai. Dalis jų nekrenta ant kūryklos dugno, o kita dalis kartu su dūmų dujomis ir dujų išlakomis pašalinama iš kūryklos ir, jei nesurenkama, per dūmtraukius patenka į atmosferą.

9.2.1. Kietųjų dalelių išlakos

Mineralinė kuro dalis ir pelenai išsamiai aptarti 3.5 skyriuje. Nuosėdinius ir lakiuosius pelenus svarbu sugaudyti, surinkti, laikinai sandėliuoti, o vėliau pašalinti iš katilinės. Kaip aprašyta pirmiau, didelėse katilinėse ir kogeneracinėse jėgainėse nuosėdinius pelenus ir lakiuosius pelenus prasmingiau surinkti atskirai, nes po medžio kuro deginimo likę nuosėdiniai pelenai tinka kompostuoti ar tiesiogiai paskleisti laukuose, o lakiųjų pelenų žemės ūkyje naudoti nerekomenduojama dėl sudėtyje esančių sunkiųjų metalų. Jie paprastai išmetami į sąvartynus.

Tiesą sakant, nors medžio pelenų tikroji vertė dar nėra plačiai pripažinta, jie pagal seną įprotį naudojami kaip kalkinės trąšos žemės ūkyje ir laikomi naudingais tik dėl pH neutralizavimo savybių. Iš tikrųjų medžio pelenuose taip pat yra daugybė mikroelementų ir makroelementų, tad juos išties geriausia naudoti žemės ūkyje ar miškininkystėje. Visgi pelenus galima naudoti ir kelių statyboje mažo pH dirvai gerinti (stabilizuoti). Šiaurės šalių medžio pelenų naudojimo geroji praktika yra perdirbimas į medžio pelenų granules ir naudojimas miško dirvožemiui gerinti ir biomasei auginti (laikantis principo, kad tai, kas paimta iš miško, turi į jį sugrįžti). Tai yra tvaraus miškų tvarkymo ir medienos biomasės auginimo pagrindas. Pavyzdžiui, Šiaurės šalių žemės ūkio sektoriuje medžio pelenų naudojimas ribojamas dėl dirvos sudėties ypatybių ir kitų veiksnių, o degimo procese susidarančiuose lakiuosiuose pelenuose yra santykinai didelė sunkiųjų metalų koncentracija (gerokai didesnė nei Estijoje) [91].

Sandėliuojant ar utilizuojant reikia atsižvelgti ne tik į pelenų kiekius, bet ir į sudėtį, pelenų šalinimo iš kūryklos būdą (ar šalinant naudota šlapioji technologija ir įranga, ar pelenai šalinti sausi). Labai smulkūs lakieji pelenai gali prasiskverbti pro filtrus, jau nekalbant apie taršą iš daugiausia kvartalinių katilinių ir vietinio šildymo sistemų, kuriose pelenų filtrai nemontuojami.

Šiuo metu didesnis dėmesys skiriamas kietųjų dalelių (PM5 ir PM10) išlakoms, t. y. toms dalelėms, kurios susidaro kūrenant katilą. Smulkių dalelių dydis yra atvirkščiai proporcingas jų sukeliamam poveikiui sveikatai. Mažesnės nei 10 μm (PM10) paprastai prasiskverbia pro nosies ertmę, gerklę ir pasiekia plaučius. Didesnių nei PM10 dalelių daugiausia yra dirvožemyje, šaligatvio ir pramoninėse dulkėse – jos kaupiasi nosiaryklėje ir trachėjoje. Itin smulkios dalelės (2,5 μm (PM2.5) ir smulkesnės) daugiausia susidaro išmetamosiose dujose (transporto), įvairiuose degimo procesuose (katilinėse, vietinio šildymo, gamyklų įrenginiuose) ir atmosferos cheminėse reakcijose. Tokios dalelės yra pakankamai smulkios, kad pasiektų plaučių alveoles [92].

9.2.2. Dujų išlakos

Pagrindiniai dujiniai teršalai deginant medžio kurą yra sieros oksidai (SO_x), susidarantys deginant kurą, kuriame yra sieros; azoto oksidai (NO_x), susidarantys kurui degant aukštoje temperatūroje dėl to, kad kure ir ore yra azoto (verdančiojo sluoksnio katile jo mažiau nei dulkių katile); anglies monoksidas (CO), kuris susidaro nevisiško sudegimo metu; LOJ (lakieji organiniai junginiai), paprastai esantys kure ir susidarantys garuojant tirpikliams; kietosios dalelės (PM), kurios gali būti tiek pirminės, tiek antrinės (pirminės dalelės yra itin smulkios degimo metu susidarančios dalelės); toksiški metalai, pvz., švinas, kadmis ir varis, paprastai liekantys po kuro degimo (įskai-

tant mažų namų ūkių krosnis); policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, arba poliaromatiniai angliavandeniliai – PAH), susidarantys daugiausia dėl nevisiško sudegimo.

Svarbus taršos šaltinis yra tiek pramonės įmonės, tiek vietinio šildymo įrenginiais šildomi gyvenamieji ir mediniai namai [92]. Be to, dėl nevisiško sudegimo, ypač kai deginamos buitinės atliekos (įskaitant plastiką) naudojant medžio kurą vietinio šildymo kūryklose, susidaro itin toksiški (ir kancerogeniniai) dioksinai bei furanai.

CO_2 kiekis dūmų dujose priklauso nuo kuro sudėties ir jo kaloringumo. Jei medžio kuras deginamas kondensacinėje jėgainėje, kurios bendras efektyvumas 42 % (verdančiojo sluoksnio technologija), savitosios CO_2 išlakos būtų 346 g/kWh_{kuras} ir 824 $g/kWh_{el.}$, tačiau, kaip paaiškinta pirmiau, neatsižvelgiama į CO_2 šiltnamio efektą sukeliančias dujas (ŠESD) deginant medžio kurą.

Anglies monoksido ir nesudegusių angliavandenilių išlakų koncentracija dūmų dujose priklauso praktiškai tik nuo degimo sąlygų ir tolygaus degimo oro pasiskirstymo kūrykloje (ant ardyno ir antrinio degimo zonoje).

Planuojant ir statant naujas jėgaines, taip pat rekonstruojant senas būtina identifikuoti galimus aplinką paveiksiančius reiškinius, kad būtų galima imtis priemonių mažinti šių reiškinių sukeliamą poveikį ir užkirsti jam kelią.

9.3. Išlakų prevencijos galimybės

Teršalų (degimo atliekų) susidaro visuomet, kai deginamas koks nors kuras, o jų išlakų kiekis priklauso nuo deginimo technologijos, deginimo įrangos, eksploatacinių sąlygų ir kuro. To paties kuro, deginamo naudojant skirtingas technologijas, išlakos gali gerokai skirtis. Suodžių dalelių ir anglies monoksido išlakos iš mažų senų centrinių katilinių (krosnių) gali neigiamai paveikti netoliese gyvenančių asmenų kvėpavimo takus ir kelti pavojų sveikatai.
Šiuolaikinių medžiu kūrenamų šildytuvų su sandėliavimo talpyklomis efektyvumas gali siekti 85 %, o jų išlakos gali būti iki 90 % mažesnės nei senųjų įrenginių.

Išlakos iš daugybės mažų šildymo įrenginių (retai apgyvendintose vietovėse) gali sukelti didelę teršalų koncentraciją apylinkėje. Yra keturi pagrindiniai būdai to išvengti – modernizuoti visus nedidelius šildymo įrenginius, mažuose įrenginiuose įrengti išlakų filtrus, pereiti prie centralizuoto šildymo arba šilumos tiekimo nenaudojant kuro technologijų (pvz., šilumos siurblių). Anksčiau nebuvo siūloma pereiti prie mažiau taršaus kuro, nes jau buvo numatytas medžio kuro naudojimas. 8 skyriuje taip pat sužinojome, kad centralizuoto šildymo deginimo įrenginiai, siekiant tiekti šilumą vartotojams, gali būti derinami su kuro naudojimo neapimančiomis technologijomis. Teršalai iš aukštų centralizuoto šildymo katilinių kaminų pasklinda didelėje teritorijoje, koncentracijos prie paviršiaus mažėja. Ekonomiškai pigiau ir socialiai priimtiniau šimtus nedidelių šildymo įrenginių pakeisti viena centralizuoto šildymo katiline, užuot įrengus filtrus. Be to, tai padidintų aplinkos švarą.

Pačių svarbiausių deginant medį susidarančių teršalų pavyzdžiai yra lakieji pelenai, lakieji organiniai junginiai (LOJ), sieros dioksidas, azoto oksidai ir anglies dioksidas. Kad būtų galima geriau palyginti šildymo sistemas, jų išlakos buvo sumažintos iki 25 MWh per metus atitikmens, o tai daugiau ar mažiau atitinka seno individualaus namo ar vidutinio dydžio buto šilumos poreikį (9.1 lentelė). Lentelėje pateiktos vertės yra senokos, tačiau šildymo būdų santykiai išliko nepakitę.

9.1 lentelė. Vidutinės taršių išlakų matavimų vertės [93]

Šildymo būdas, šildymo įrenginys	Kuras, technologija	Lakieji pelenai, kg/m.	LOJ, kg/m.	SO_2, kg/m.	NO_X, kg/m.	CO_2, t/m.
Centralizuotas šildymas	90 % – medžio skiedros, 10 % – skystojo kuro deginimas piko metu (80 %)*	1	3	5	8	1
Vietinis šildymas, medžio kuru kūrenami katilai	Esama technologija be sandėliavimo talpyklos (50 %)*	200	700	5	9	0
	Nauja technologija su sandėliavimo talpykla (80 %)*	2	30	3	14	0
Vietinis šildymas, granulėmis kūrenamas katilas	Naujas įrenginys, medžio granulės (75 %)*	2	6	4	6	0
Kogeneracija	Biokuras, priešslėgio turbina (75–80 %)*	1	3	4	6	0

* Skliausteliuose esanti vertė nurodo vidutinį metinį technologijos ir įrangos naudojimo efektyvumą.

9.4. Teršalų išlakų ribinės vertės

Statant ir rekonstruojant jėgaines būtina laikytis trijų svarbiausių direktyvų. Dvi pirmosios – 2001 m. spalio 23 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2001/80/EB dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą iš didelių kurą deginančių įrenginių, kiekio apribojimo [94] ir 2015 m. lapkričio 25 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2015/2193 dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą iš vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kiekio apribojimo [95]. Pastarojoje raginama imtis veiksmingesnių priemonių siekiant visiškai atitikti ES oro kokybės reikalavimus ir nustatyti strateginius tikslus bei priemones laikotarpiui po 2020 m.

Pastaroji direktyva taikoma deginimo įrenginiams, įskaitant dviejų ar daugiau naujų vidutinio dydžio įrenginių derinį, kurio bendra nominali šiluminė galia yra ne mažesnė nei 1 MW ir ne didesnė nei 50 MW. Skaičiuojant bendrą nominalią šiluminę deginimo įrenginių grupės įvestį neatsižvelgiama į individualius deginimo įrenginius, kurių nominali šiluminė galia mažesnė nei 1 MW. Siekiant išvengti galimų teisinių spragų, direktyva taip pat taikoma naujų vidutinio dydžio deginimo įrenginių deriniui, kurio nominali šiluminė galia ne mažesnė nei 50 MW, nepažeidžiant ES direktyvos 2010/75/ES III skyriaus (specialiosios nuostatos dėl deginimo įrenginių). Trečioji direktyva yra 2010 m. lapkričio 24 d. 2010/75/ES direktyva dėl pramoninių išmetamų teršalų (taršos integruotos prevencijos ir kontrolės) [95].

Visos išlakų ribinės vertės turi būti skaičiuojamos esant 273,15 K temperatūrai ir 101,3 kPa slėgiui, pritaikant vandens kiekio išmetamosiose dujose korekciją ir kaip standartinį O_2 kiekį kietajame kure naudojant 6 % vertę.

Į visus leidimus įrenginiams, kuriuose yra kurą deginantys įrenginiai ir kuriems leidimas išduotas ar kurių ūkio subjektai pateikė išsamų prašymą išduoti leidimą anksčiau nei 2013 m. sausio 7 d., jei tokie įrenginiai pradėti eksploatuoti ne vėliau kaip 2014 m. sausio 7 d., įrašomos sąlygos, užtikrinančios, kad iš tų kurą deginančių įrenginių į orą išmetamų teršalų kiekis neviršytų V priedo 1 dalyje nustatytų išmetamųjų teršalų ribinių verčių (30 straipsnio 2 dalis).

Jei bendra nominali deginimo įrenginio (pvz., kogeneracinės jėgainės) galia ne mažesnė nei 50 MW, SO_2 išlakos deginant biomasę (įskaitant medžio kurą) negali viršyti 200 mg/Nm³. NOx išlakų ribinės vertės priklauso nuo deginimo jėgainės dydžio: jei nominali šiluminė galia yra nuo 50 iki 100 MW, ribinė vertė yra 300 mg/Nm³, jei nominali vertė – nuo 100 iki 300 MW, ribinė vertė yra 250 mg/Nm³, o jei nominali šiluminė galia viršija 300 MW, ribinė vertė yra 200 mg/Nm³.

Kietųjų dalelių (dulkių) išlakų ribinės vertės taip pat priklauso nuo biomasės deginimo įrenginio galios klasės: jei nominali šiluminė galia – nuo 50 iki 100 MW, ribinė vertė yra 30 mg/Nm³, jei nominali vertė – nuo 100 iki 300 MW, ribinė vertė yra 20 mg/Nm³, o jei nominali šiluminė galia viršija 300 MW, ribinė vertė yra 20 mg/Nm³ [96].

Pagal tos pačios direktyvos 30 straipsnio 3 dalį (įrenginiui suteiktas leidimas po 2013 m. sausio 7 d.) ribinės vertės yra kiek griežtesnės už nurodytąsias pirmiau. Jei nominali šiluminė galia yra nuo 50 iki 300 MW, SO2 išlakos turi būti mažesnės nei 200 mg/Nm³, o jei nominali šiluminė galia viršija 300 MW, išlakos turi nesiekti 150 mg/Nm³. NOx išlakų ribinė vertė, kai nominali deginimo įrenginio šiluminė galia – nuo 50 iki 100 MW, yra 250 mg/Nm³, jei nominali vertė – nuo 100 iki 300 MW, ribinė vertė yra 200 mg/Nm³, o jei nominali šiluminė galia viršija 300 MW, ribinė vertė yra 150 mg/Nm³. Visų tipų medžio kuro išmetamų kietųjų dalelių (dulkių) išlakų ribinė vertė, kai nominali galia viršija 50 MW, yra 20 mg/Nm³.

Pagal Vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių direktyvos 6 straipsnio 2 dalį, nuo 2025 m. sausio 1 d. iš esamų vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kurių nominali šiluminė galia didesnė kaip 5 MW, į orą išmetamo SO2, NOx ir dulkių kiekis turi neviršyti II priedo 1 dalies 2 ir 3 lentelėse nustatytų išmetamųjų teršalų ribinių verčių. Nuo 2030 m. sausio 1 d. SO_2, NO_x ir dulkių išlakos į orą iš vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kurių nominali šiluminė galia ne didesnė nei 5 MW, turi neviršyti II priedo 1 dalies 1 ir 3 lentelėse nurodytų ribinių verčių. Rekomenduojama, kad kiekviena suinteresuotoji šalis šią direktyvą perskaitytų atskirai [95].

Deginant medžio kurą dulkių išlakų vertė gali būti nustatoma taip: esamiems vidutinio dydžio kurą deginantiems įrenginiams, kurių nominali šilumos galia ne mažesnė nei 1 MW ir ne didesnė nei 5 MW, taikoma 50 mg/Nm³ ribinė vertė, o didesnės nei 5 MW nominalios galios įrenginiams – 30 mg/Nm³. Visiems naujiems įrenginiams, kurių nominali šiluminė galia – nuo 1 iki 50 MW, taikoma 20 mg/Nm³ ribinė vertė [96], [97].

9.5. Pelenų šalinimo ir dujų filtravimo įranga

Būtina filtruoti iš katilo kūryklos ir kitų deginimo įrenginių išmetamas dūmų dujas, siekiant sumažinti kietųjų dalelių kiekį dūmų dujose ir neviršyti nustatytų jų koncentracijos ribų. Pelenų kiekis dūmų dujose nustatomas per eksploatacinius bandymus. Kaip žinome iš ankstesnių skyrių, jų išlakoms nustatytos ribos.

Yra įvairių rūšių prietaisų ir metodų lakiesiems pelenams išskirti iš dūmų dujų: multiciklonai, rankoviniai filtrai, elektro-

statiniai nusodintuvai, skruberiai. Nauja tendencija lakiųjų pelenų šalinimo iš dūmų dujų ir biokuru kūrenamų katilų energinio efektyvumo gerinimo srityje – dūmų dujų aušinimas, apimantis vandens garų kondensavimą ir kietųjų dalelių sugaudymą.

Visi išvardyti įrenginiai turi ir trūkumų, ir privalumų, todėl jų naudojimas konkretaus katilo dūmų dujoms valyti priklauso nuo kelių aplinkybių, tarp jų – ir katilo dydžio (galios). Norint pasiekti didelį valymo įrangos efektyvumą, įrenginį reikia tinkamai pasirinkti atliekant skaičiavimus. Ciklono ir elektrostatinio nusodintuvo skaičiavimuose dujų srautas per įrenginį nustatomas pagal pelenų dalelių dydį. Koks dūmų dujų švarumas pasiekiamas naudojant įvairių tipų įrenginius ir kokios yra jų naudojimo sąlygos, nurodyta 9.2 lentelėje.

9.2 lentelė. Tam tikros eksploatacinės dujų filtravimo įrangos savybės [14]

Įrenginio pavadinimas	Pelenų kiekis dujose, mg/Nm³	Darbinė tempe-_ratūra, °C
Multiciklonas	150–500	<500
Rankovinis filtras	10–50	<150
Elektrinis nusodintuvas	99,9 %*	<300
Skruberis	50–100	<70–80

* Elektrinio filtro eksploatavimas nurodomas filtravimo efektyvumo rodikliais.

Multiciklonai

Ciklonas – tai įrenginys, kuriame kietosios dalelės atskiriamos nuo dujų vertikaliame vamzdyje veikiant iščentrinei jėgai Multicikloną (žr. 9.2 pav. A dalį) sudaro keletas įprastinių arba pasrovinių ciklonų, kolektoriumi ir bunkeriu sujungtų į bendrą sistemą. Naudojant multicikloną, gaunamas mažesnių matmenų įrenginys, be to, sumažėja pasipriešinimas dujotakyje. Lakiųjų pelenų dalelės yra santykinai didelės, todėl jas galima lengvai atskirti multiciklonuose pasitelkiant iščentrinę jėgą. Šiuose įrenginiuose dūmų dujų pelenų kiekis gali būti sumažinamas iki ~150 mg/Nm³. Multiciklonas yra palyginti nebrangus, paprastos konstrukcijos, jam nereikia ypatingos techninės priežiūros, be to, nėra labai jautrus temperatūrai, todėl multiciklonų naudojimas katilinėse gan paplitęs.

Rankoviniai filtrai

Rankoviniuose filtruose (žr. 9.2 pav. B dalį) kietosios dalelės iš degimo produktų srauto išgaudomos pasitelkiant tankų audeklą arba poringą keramiką. Rankoviniai filtrai yra daug efektyvesni dūmų dujų valymo įrenginiai negu multiciklonai, jais dūmų dujose pasiekiamas 10–50 mg/Nm³ pelenų kiekis. Paprastai rankovinių filtrų darbinė temperatūra neviršija ~180 °C. Dažniausiai šiems filtrams naudojamas poliesterio audinys.

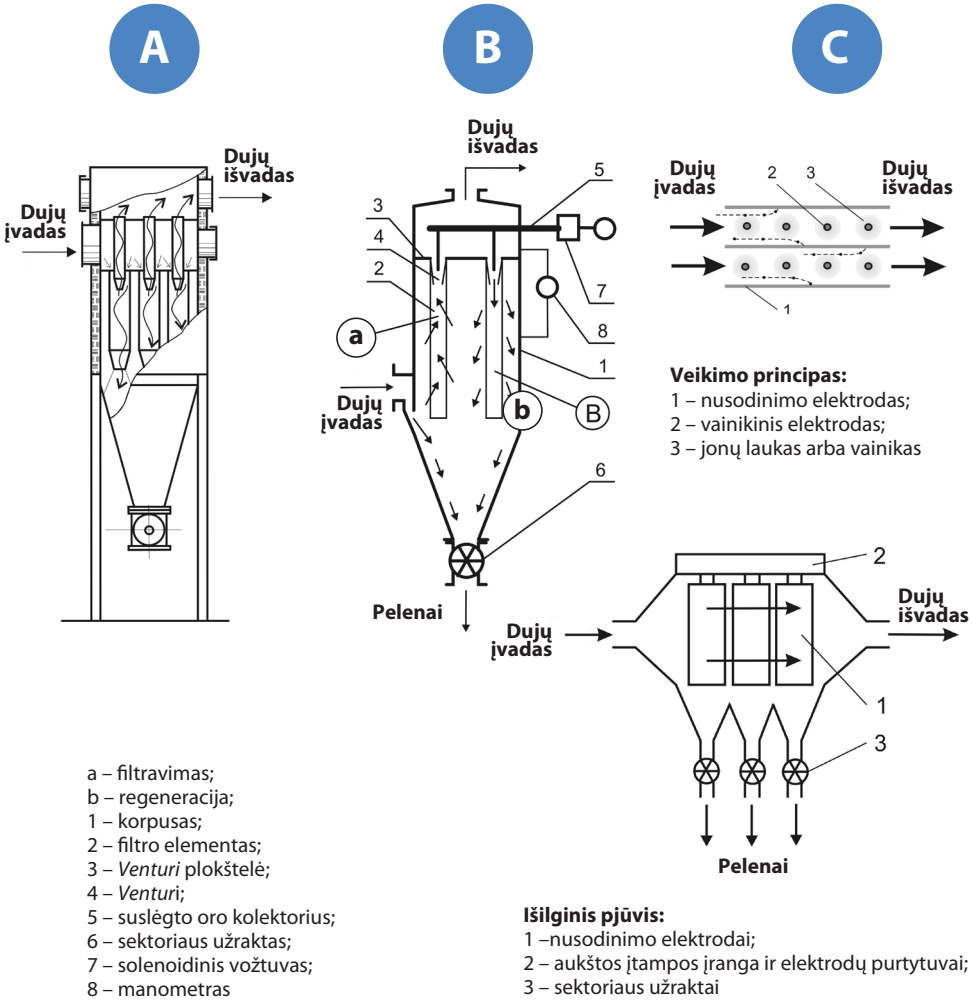
Siekiant apsaugoti nuo žiežirbų patekimo į filtrą, prieš filtrą įrengiamas ciklonas arba nusodinimo kamera. Kad būtų galima užtikrinti didelį rankovinio filtro efektyvumą ir sumažinti paties filtro aerodinaminį pasipriešinimą, būtina reguliariai atlikti jo regeneraciją – valymą. Labiausiai paplitę rankovinio filtro valymo metodai yra mechaninis purtymas, valymas priešingu dujų srautu ir impulsinis valymas. Taip pat naudojama keletas kombinuotų valymo metodų, pvz., mechaninis purtymas po priešingo dujų srauto. Dėl užsiliepsnojimo pavojaus rankovinis filtras turi būti apsaugotas nuo aukštos temperatūros ir didelio deguonies kiekio dūmų dujose. Paprastai naudojama automatinė apsaugos sistema, nukreipianti dujas šalia filtro. Biokuru kūrenamuose įrenginiuose rankoviniai filtrai naudojami rečiau negu multiciklonai.

Elektrostatiniai nusodintuvai

Elektrostatiniuose nusodintuvuose (žr. 9.2 pav.) valomos dujos teka per elektrinį lauką ir kietosios dalelės nusėda ant elektrodų. Nusodintuvo elektrodams tiekiama pastovi aukštos įtampos srovė, be to, vainikinis elektrodas paprastai būna neigiamas. Aukšta įtampa tarp elektrodų sukuria vaini-

kinį išlydį ir didžioji dalis dujų tarp elektrodų įgauna neigiamą krūvį. Neigiami jonai veikiant elektros laukui juda prie nusodinimo elektrodų. Judėdami jonai susiduria su dujose esančiomis kietosiomis dalelėmis ir jų paviršiuje yra absorbuojami. Taip dulkių dalelės įgauna neigiamą krūvį ir pradeda judėti nusodinimo elektrodų link. Nusėdusios medžiagos nuo elektrodų pašalinamos, juos periodiškai papurtant.

Elektrostatinis nusodintuvas yra efektyvus, bet palyginti brangus dujų valymo įrenginys. Dėl šios priežasties jis kol kas naudojamas tik smulkiose medžiu kūrenamose katilinėse, tačiau įsigaliojus griežtesniems aplinkosaugos reikalavimams turės būti įrengiamas ir 1 MW ar didesnio galingumo medžio kurą deginančiose katilinėse (žr. 9.4 skyrių).



9.2 pav. Multiciklonų (A), impulsinio srauto rankovinio filtro (B) ir elektrostatinio nusodintuvo (C) schemos [14]

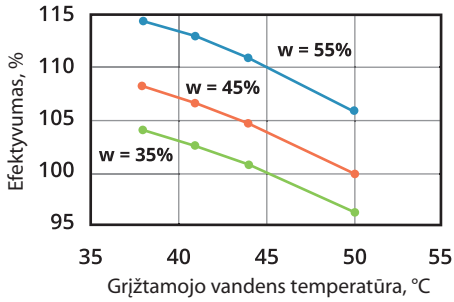
Dūmų dujų kondensacija

Dėl vandens garų iš dūmų dujų kondensacijos galima pasiekti du tikslus: pirma, pelenų dalelių kiekis dūmų dujose sumažėja iki tokio lygio, koks pasiekiamas valant rankoviniu filtru, antra, dėl kondensacijos procese išsiskyrusios šilumos padidėja energinis efektyvumas.

Medžio kuru kūrenamų katilų dūmų dujose vandens garų būna dėl dviejų priežasčių: vandens garai susidaro dėl kure esančio vandenilio reakcijos su oro deguonimi degimo procese; kuro drėgmė (įprastas skiedrų drėgnis 35–55 %) taip pat paverčiama vandens garais.

Vandens garai, esantys dūmų dujose, pirmiausia kelia susidomėjimą todėl, kad tai yra nepanaudojama energija, išsiskirianti kondensacijos metu (taip pat žr. 6.5 skyrių). Išsiskirianti kondensacijos energija teoriškai yra lygi vandens garavimo šilumos ir aušimo metu gautos šilumos sumai. Kai dūmų dujų temperatūra nukrenta žemiau rasos taško, vandens garai dūmų dujose ima kondensuotis. Kuo labiau atvėsta dūmų dujos, tuo daugiau vandens garų kondensuojasi ir tuo daugiau šilumos gaunama. Dūmų dujoms aušinti naudojamas grįžtamasis centralizuoto šildymo sistemos vanduo (9.3 pav.) [98].

Kietosiose dalelėse yra sunkiųjų metalų, pirmiausia kadmio. Šie metalai netirpsta vandenyje. Todėl prieš išleidžiant į aplinką kondensatą būtina atitinkamai apdoroti. Paprastai tai daroma išfiltruojant kietąsias daleles ir neutralizuojant vandenį iki atitinkamus aplinkosaugos reikalavimus tenkinančio lygio. Kad vandens lašų nepakliūtų į dūmtakį ir kaminą, po dūmų dujų aušintuvu montuojamas efektyvus purslų gaudiklis. Mažose katilinėse, kur taikoma dūmų dujų kondensacija, siekiant sumažinti korozijos pavojų dūmtakyje ir kamine tikslinga naudoti korozijai atsparias medžiagas. Dūmų dujų kondensacija Estijoje pastaraisiais metais naudojama gan plačiai, nes deginamas medžio kuras yra tinkamos drėgmės, o papildomai išgautas šilumos kiekis leidžia tenkinti papildomų vartotojų poreikius nedidinant pajėgumo (katilų). Taip tenkinami ir Energijos efektyvumo direktyvos reikalavimai maksimaliai išnaudoti likutinę šilumą ir gerinti esamų deginimo įrenginių efektyvumą [82].



9.3 pav. Dūmų dujų kondensacijos poveikis medžio skiedromis kūrenamos katilinės efektyvumui

Dūmų dujų aušintuvas yra pirmas įrenginys, per kurį katilinėje prateka grįžtantis vanduo. Dūmų dujų kondensacijos likučiai – tai kondensatas, kuriame yra vandens su nedideliu kiekiu dulkių ir organinių dalelių, likusių po nevisiško kuro sudegimo. Kondensate taip pat yra šiek tiek sunkiųjų metalų, chloro ir sieros. Kondensato pH priklauso nuo sistemos, tačiau paprastai svyruoja nuo 6 iki 7.

10. Kietojo biokuro naudojimo centralizuoto ir vietinio šildymo sistemose planavimas ir įgyvendinimas

Biokuras centralizuoto ir vietinio šildymo reikmėms naudojamas siekiant dviejų pagrindinių tikslų:

- sumažinti šiltnamio dujų išlakas tiekiant šilumą;
- naudojant pigesnį kurą, palyginti su vietiniu ir iškastiniu kuru, sumažinti šildymo kainą.

Naudojant biokurą aplinkos apsaugos ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išlakų mažinimo tikslai paprastai pasiekiami, tačiau norint pasiekti ekonominius tikslus reikia gerai ekonomiškai suplanuoti visą projektą ir atsižvelgti į susijusį poveikį dėl santykinai didelių investicijų poreikio.

10.1. Būtinieji pradiniai duomenys projektuojant šilumos tiekimo sistemą

Prieš planuojant biokuru pagrįstą šilumos tiekimo sistemą reikia gerai apsvarstyti kuro gavimo galimybes. Siekiant užtikrinti tiekimo patikimumą, rekomenduojama su kuro tiekėjais sudaryti išankstines sutartis nurodant reikiamas kuro savybes, kiekius, pristatymo terminus ir kainodaros principus. Jei nėra biokuro tiekimo kliūčių, galima nurodyti pagrindinius duomenis ir pradėti rengti šilumos tiekimo sistemos, kurioje deginamas biokuras, projektą.

Analizuojant iki šiol įgyvendintus centralizuoto šildymo projektus paaiškėjo, kad didžiausios klaidos rengiant projektus buvo per didelių sąnaudų numatymas ir pernelyg galingų katilų pasirinkimas. Daugeliu atvejų tai lėmė nepagrįstai dideles investicijas ir sąlyginai dideles šildymo kainas, be to, dažnai katilai turėjo būti eksploatuojami netinkamai maža apkrova.

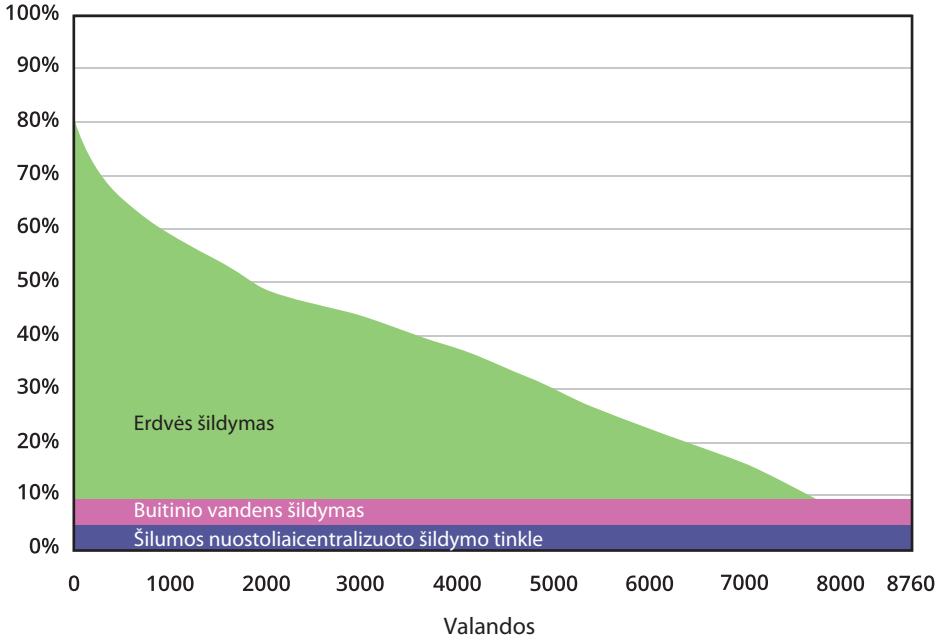
Reikia surinkti šią informaciją apie šilumos vartotojus:

- apskaičiuotas metinis šilumos suvartojimas;
- reikiama jungties galia;
- šildomo paviršiaus dydis;
- pastato techninės sąlygos, energijos taupymo potencialas, rekomendacinis energijos taupymo priemonių įgyvendinimo planas.

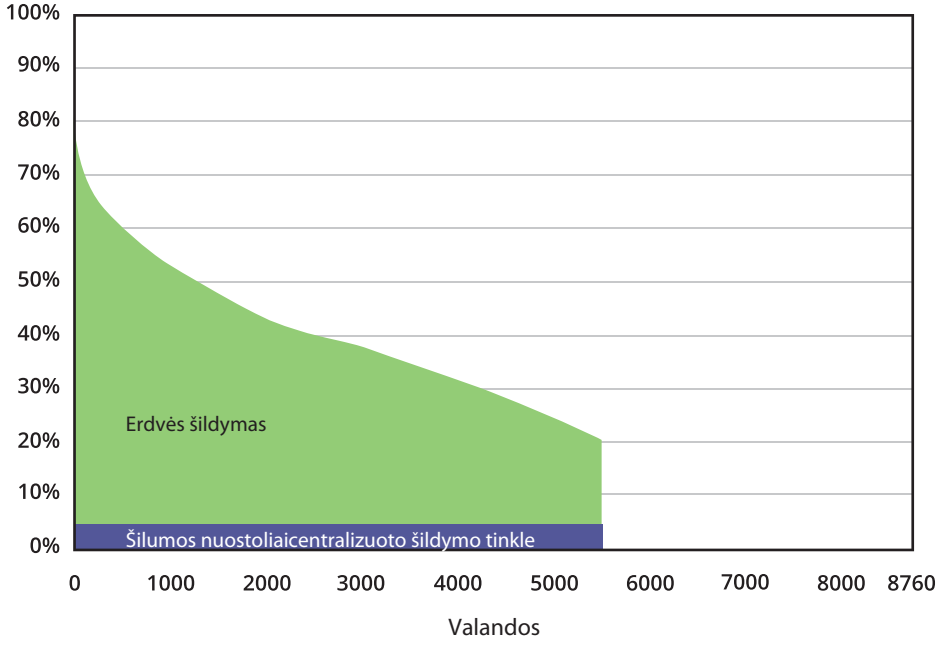
Paprastai pastatuose šiluma reikalinga norint kompensuoti šilumos nuostolius į išorinę aplinką, t. y. šildymo ir ventiliacinio oro šildymo reikmėms. Centralizuoto šildymo sistemoje gali būti ruošiamas ir buitinis karštas vanduo.

10.2. Apkrovos trukmės grafikas

Kaip jau minėta, šiluminė apkrova svyruoja – ir metų, ir dienos laikotarpiu. Todėl šildymo poreikio kitimo grafikas per laiką kiekvienais metais šiek tiek skiriasi, o siekiant supaprastinti skaičiavimus naudojama speciali apkrovos etapų pokyčio schema (dar vadinama apkrovos trukmės kreive; žr. 10.1 pav.), kurioje atspindima valandinė apkrovų seka per visus metus. Horizontalioji ašis nurodo valandų skaičių per metus (8760), o vertikalioji – apkrovą (galios vienetais). Taip gausime reikiamą grafiką, kuris parodys apkrovos trukmę per metus. Grafiko plotas po kreive rodo per laikotarpį pagamintą energijos kiekį (energijos vienetais). Apkrovos grafiko forma gali labai skirtis, priklausomai nuo vietos klimato sąlygų, šilumos poreikio charakteristikų ir kai kurių kitų veiksnių.



10.1 pav. Centralizuoto šildymo sistemos apkrovos trukmės schema, kai šilumos reikia ir erdvei, ir buitiniam vandeniui šildyti



10.2 pav. Centralizuotos šildymo sistemos apkrovos trukmės schema, jei buitinis karštas vanduo centralizuotoje sistemoje neruošiamas ir nėra vasaros laikotarpio šilumos apkrovos

10.3. Šilumos apkrovos analizė ir šilumos šaltinių pasirinkimas

10.3.1. Šilumos apkrovų savybės

Šilumos apkrovų trukmės grafikai (10.1 ir 10.2 pav.) rodo, kad centralizuoto šildymo sistemos šiluminė apkrova per metus gan smarkiai svyruoja. Taip nutinka daugiausia dėl to, kad erdvės šildymo apkrova labai priklauso nuo klimato sąlygų. Apkrovos svyravimus būtina išanalizuoti siekiant efektyviai pasirinkti šilumos šaltinius.

Apkrovos svyravimai apibūdinami galios koeficientu μ ir (arba) įrangos naudojimo laiku [99, 100]. Galios koeficientas nurodo vidutinio metinio galios poreikio ir didžiausio įrangos galios poreikio santykį. Panaudojimo laikas (dažniausiai paprastai vadinamas veikimo trukme) rodo, kiek valandų per metus įranga galėtų gaminti metinę šiluminę galią esant nominaliai apkrovai.

$$\mu = \frac{\text{vidutinis galios poreikis, MW}}{\text{didžiausias galios poreikis, MW}} \tag{10.1}$$

$$\tau_{ut} = \frac{\text{metinė šiluminė galia,MWh/m.}}{\text{didžiausias galios poreikis, MW}} \tag{10.2}$$

$$\tau_{ut} = 8760 \cdot \mu, \tag{10.3}$$

čia: μ – galios koeficientas;
τ_{ut} – naudojimo laikas, val./m.

Visos centralizuoto šildymo sistemos galios koeficientą galima apskaičiuoti pagal erdvės šiluminę apkrovą, buitinio karšto vandens gamybos apkrovą ir centralizuoto šildymo tinklo nuostolių koeficientą:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{f_{sh}}{\mu_{sh}} + \frac{f_{dhw}}{\mu_{dhw}} + \frac{f_{hl}}{\mu_{hl}}, \tag{10.4}$$

čia: μ – visos sistemos galios koeficientas;
μ_{sh} – vien erdvės šildymo galios koeficientas;
μ_{dhw} – vien buitinio karšto vandens šildymo galios koeficientas;
μ_{hl} – vien šilumos paskirstymo nuostolių koeficientas;
f_{sh} – metinis šilumos tiekimo erdvės šildymo reikmėms santykis;
f_{dhw} – metinis šilumos tiekimo buitinio karšto vandens šildymo reikmėms santykis;
f_{hl} – metinis šilumos skirstymo nuostolių santykis.

Erdvės šildymo apkrovos galios koeficientas tiesiogiai priklauso nuo klimato sąlygų ir šildomo pastato faktinės vidaus temperatūros[6]:

$$\mu_{sh} = \frac{G/365}{t_{i,e} - t_{o,min}}, \tag{10.5}$$

čia: G – laipsnių dienų skaičius per metus;
$t_{i,e}$ – faktinė vidaus temperatūra, t. y. °C;
$t_{o,min}$ – ekstremali (minimali) lauko temperatūra, °C.

Jei nėra išsamesnių faktinės vidaus temperatūros duomenų, jos vertė Estijoje laikoma 17 °C, t. y. nuo šios temperatūros iki vidinės pastato temperatūros (21 °C) oras šildomas naudojant vadinamą laisvąją šilumą. Neseniai renovuoto ir naujo būsto pusiausvyros temperatūra gali būti keliais laipsniais žemesnė, tad planuojant šilumos tiekimą į naujas gyvenamąsias zonas reikia atsižvelgti į faktinę pusiausvyros temperatūrą ir atitinkamą laipsnių dienų skaičių.

Apskaičiuotoji minimali lauko temperatūra Estijoje, priklausomai nuo vietovės, yra nuo –19 °C (Kuresarė, Kerdla) iki –25 °C (Tartu, Veru, Jegeva), įskaitant –21 °C Taline.

---

6 Faktinė vidaus temperatūra nustatoma pagal pastato vidaus oro temperatūrą (°C). Pastato erdvė naudojant šildymo sistemą turi būti šildoma iki šios temperatūros atsižvelgiant į tai, kad patalpos oro šildymas nuo faktinės temperatūros iki reikiamos vidaus temperatūros vyksta spinduliuojant šilumą (šiluma sklinda iš asmenų, elektros prietaisų, saulės šviesos ir t. t.).

Buitinio karšto vandens apkrovos koeficiento vertės nustatomos pagal dienos verčių vidurkius. Estijos centralizuoto šildymo sistemose tokia analizė atlikta nebuvo, bet pagal Švedijos patirtį galima apytiksliai nustatyti 0,58 vertę (Švedijos vidurkis – nuo 0,54 ir 0,62) [99].

Nustatant centralizuoto šildymo tinklo nuostolių koeficientą reikia atsižvelgti į metinius tinklo vamzdynuose esančio vandens ir aplinkos temperatūros svyravimus. Šilumos nuostolių koeficientas priklauso nuo centralizuoto šildymo sistemos temperatūros grafiko ir grunto temperatūros. Remiantis Švedijos patirtimi [99], vidutine μ_{hl} verte gali būti laikoma 0,71.

Naudojant įprastus metinius Talino klimato duomenis[7], 12 % santykinius centralizuoto šildymo tinklo šilumos nuostolius, 85 % ir 15 % šilumos sąnaudų komponentų (šildymas ir karštas vanduo) santykį, apskaičiuotoji centralizuoto šildymo sistemos galios koeficiento vertė yra 0,35, t. y. vidutinė metinė apkrova tokioje centralizuoto šildymo sistemoje yra 35 % nuo maksimalios, o šilumos šaltinių naudojimo laikas yra 3066 val.

10.3.2. Optimalios biokuro katilo galios nustatymas pagal apkrovos trukmės kreivę

Vienas iš praktinio šilumos šaltinio pasirinkimo aspektų yra atitinkamam šilumos šaltiniui reikalingų investicijų ir kaštų dydis. Investicijų lygis paprastai išreiškiamas kaip savitosios investicijos vienam galios vienetui, pvz., EUR/MW arba EUR/kW.

$$I_{sp} = \frac{\text{investicijos, €}}{\text{įrenginio galia, MW}}, \qquad (10.6)$$

čia: I_{sp} – savitoji investicija, EUR/MW.

Svarbu atkreipti dėmesį, kad savitųjų investicijų lygis labai priklauso nuo įrenginio galios. Kuo mažesnė įrenginio galia, tuo didesnės jo savitosios investicijos. Šią priklausomybę galima išreikšti tokiu santykiu [101]:

$$I_{sp,\,2} = I_{sp,\,1} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^n, \qquad (10.7)$$

čia: Q_1 – 1 įrenginio galia, MW;

Q_2 – 2 įrenginio galia, MW;

$I_{sp,1}$ – 1 įrenginio savitosios investicijos, EUR/MW;

$I_{sp,2}$ – 2 įrenginio savitosios investicijos, EUR/MW;

n – eksponentė, kurios vertė yra nuo 0,5 iki 0,8.

Jei žinome investicijų į 6 MW biokuro katilinės sumą mln. EUR (atitinkamai savitoji investicija 500 000 EUR/MW), tuomet naudodami eksponentės vertę n = 0,6 galime apskaičiuoti investicijas į tokio pat tipo 3 MW galios katilinę. Remiantis šiais duomenimis apskaičiuota savitųjų investicijų vertė yra 758 000 EUR/MW, bendra investicijų suma siektų 2,28 mln. EUR.

Nors biokuro katilas su susijusia įranga santykinai brangus, naudojamas kuras (pvz., medžio skiedros) yra gerokai pigesnis nei gamtinės dujos ar skystasis kuras (žr. 10.1 lentelę).

[7] Įprasti metai Estijoje yra 1975–2004 metų laikotarpio vidurkis.

Brangaus biomasės katilo ar katilinės, kūrenamų santykinai pigiu kuru, ekonominis gyvybingumas gali būti pasiekiamas tik maksimalia naudojimo apkrova.

Priklausomai nuo šilumos šaltinio savitųjų investicijų, naudojamo kuro kainos, eksploatacinių parametrų, šilumos šaltiniai šilumos tiekimo sistemoje yra skirstomi į bazinės ir piko apkrovos šilumos šaltinius. Bazinės apkrovos šilumos šaltiniai turi padengti didžiąją metinio šilumos poreikio dalį, o brangesni piko apkrovos šaltiniai turi būti naudojami trumpesniu laikotarpiu, apkrovai pasiekus piką. Toliau pateiktoje lentelėje nurodomi bazinei ir piko apkrovoms tenkinti tinkami technologiniai sprendimai bei jų savybės (žr. 10.2 lentelę).

10.1 lentelė. Tipinės kai kurių šilumos šaltinių savitųjų investicijų vertės ir kuro kainos

Šilumos šaltinio deginimo sistema	Vidutinis savitųjų investicijų lygis, EUR/MW	Kuro kaina, EUR/MWh$_{kuras}$
Medžio skiedromis kūrenamas katilas	300 000–800 000	15–20
Granulėmis kūrenamas katilas	100 000–130 000	40–45
Skystojo kuro katilas	50 000–100 000	60–110
Dujinis katilas		40–50

10.2 lentelė. Bazinės ir piko apkrovos šilumos šaltiniai ir tipinės jų savybės

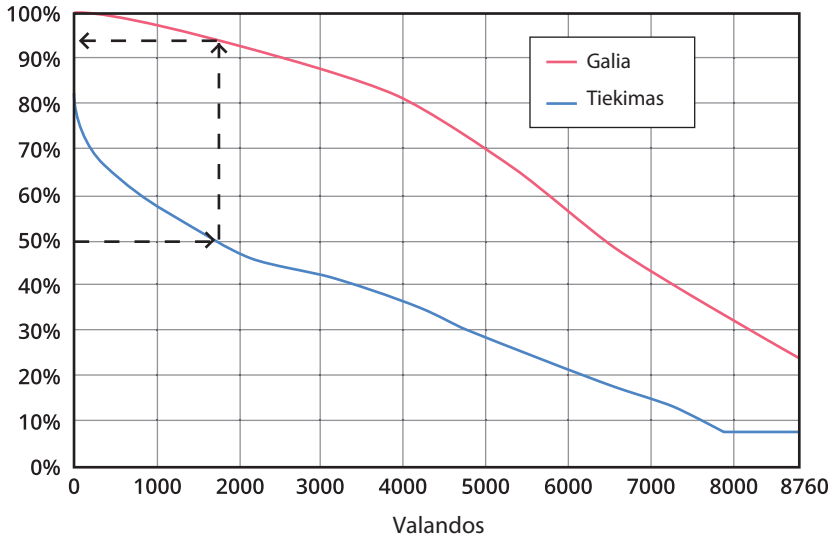
	Bazinės apkrovos šilumos šaltiniai	Piko apkrovos šilumos šaltiniai
Šilumos šaltinių tipai	Atliekų deginimo įrenginiai Kogeneracinės jėgainės Biomasės katilai Šilumos siurbliai Pramoninių atliekų šiluma	Dujiniai katilai Skystojo kuro katilai Elektriniai katilai ar šildytuvai
Savybės	Privalo naudoti pigų kurą Dideli fiksuotieji kaštai (kapitalo sąnaudos) Lėta pradžia Ribotas manevringumas	Maži fiksuotieji kaštai (kapitalo sąnaudos) Galima naudoti brangų kurą Greita pradžia Geras manevringumas

Įprastoje Estijos centralizuoto šildymo sistemoje (žr. 10.3 ir 10.4 pav.) laikotarpis, kai apkrova siekia beveik maksimalią, yra santykinai trumpas. Įprastai per metus didesnės nei 50 % apkrovos laikotarpis sudaro iki 1700 val., tačiau piko apkrovos šilumos šaltiniuose turėtų būti gaminama tik 6 % metinių šilumos sąnaudų. Jei pasirenkama, kad biokuro katilo galia bus pusė maksimalios apkrovos (50 %) ir katilas dirbs visus metus, jis galėtų patenkinti apie 94 % metinio šilumos poreikio.

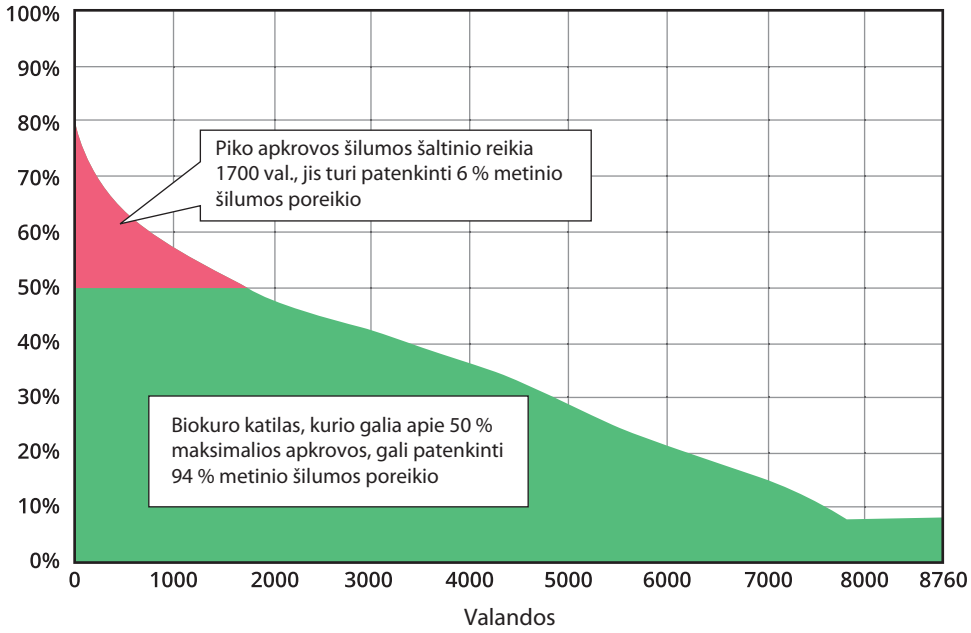
Remiantis šiuo pavyzdžiu, investicijos į biokuro įrenginius bus pelningos, jei biokurą deginančios įrangos veikimo laikas bus ilgesnis nei 4000–4500 val. per metus, o galios koeficientas bus beveik 0,5 ir didesnis.

Renkantis biokuro katilo galią būtina atsižvelgti į tai, kad pagal standartus stabilus jo veikimo intervalas yra 30–100 % nominalios galios. Vis dėlto daugelis šiuolaikinių katilų gali veikti ir esant mažesnei apkrovai (apie 20 %) arba 20 % perkrovai, jei ši trunka neilgai. Norint patenkinti mažą šiluminę biokuro katilo apkrovą vasaros laikotarpiu, vidutinė vasaros šiluminė apkrova turėtų būti bent jau 20 % nominalios biokuro katilo galios.

Ši diskusija ir rekomendacijos galioja centralizuoto šildymo sistemoms, kuriose šiluma vartotojams tiekiama ištisus metus, t. y. buitinis karštas vanduo ruošiamas centralizuoto šildymo sistemoje. Estijos sąlygomis istoriškai dažnai susiklosto situacija, kai mažesnėse centralizuoto šildymo sistemose buitinis karštas vanduo neruošiamas centralizuotai, tam tikslui vartotojai naudoja elektrinius katilus (žr. 10.2 pav.). Atsižvelgiant į tai, kad klimatas pastaraisiais metais, palyginti su vadinamais įprastais klimatiniais metais, tampa švelnesnis, pastatų šildymas naudojant tokias centralizuotas šildymo sistemas paprastai trunka apie 7,5 mėn. ar net trumpiau.



10.3 pav. Trukmės grafikas su biokuro katilo apkrovos ir išvesties duomenimis Estijos klimato sąlygomis



10.4 pav. Apkrovos tenkinimas tipinėje centralizuotoje šildymo sistemoje su biokuro katilu

10.4. Katilinės infrastruktūra

Biokuro katilinės infrastruktūra gerokai skiriasi nuo iškastinio kuro katilinių. Planuojant reikia atsižvelgti į reikalavimus, kylančius iš vietovės, teritorijos poreikio, privažiavimo kelių, aplinkos apsaugos, triukšmo ir kitų veiksnių.

Biokuro katilinėje gali būti keletas įrenginių, sistemų ir blokų:

- biokuro sandėlis (ilgalaikiam, trumpalaikiam ar kasdieniam sandėliavimui);
- kuro padavimo ir krovimo sistema;
- biomasės deginimo kūrykla;
- biokuro katilas (karšto vandens, garų ar šiluminės alyvos katilas);
- piko apkrovos katilas (dujinis ar skystojo kuro katilas);
- dūmų dujų filtravimo įrenginys (multiciklonas, elektrostatinis nusodintuvas);
- dūmų dujų vandens garų kondensatorius;
- pelenų surinkimo ir tvarkymo sistema;
- kaminas;
- valdymo ir stebėsenos sistema;
- maitinimo sistema;
- šilumos kaupykla;
- kogeneracinė jėgainė, pvz., Rankino garų ciklo, ORC jėgainė ar biokuro gazifikacijos reaktorius su vidinio degimo varikliu ar dujų turbina.

Teritorijos poreikį paprastai lemia techninis kuro sandėliavimo sprendimas (žr. 5.3 skyrių) ir reikiami sandėliavimo pajėgumai. Dažniausiai laikoma, kad minimalus sandėliavimo kiekis yra dviejų dienų kuro atsargos, tačiau ir tokiu atveju reikia atsižvelgti į sunkvežimių skaičių ir kuro tiekėjų poreikius.

10.5. Investicijų į šilumos tiekimą ekonominio pagrįstumo vertinimas

10.5.1. Metinių fiksuotųjų kaštų skaičiavimas

Kapitalo kaštų, kaip pagrindinių fiksuotųjų kaštų, skaičiavimas grindžiamas pradine įrangos kaina ir numatytu naudojimo laikotarpiu (metais), per kuriuos ta įranga nusidėvės. Be to, reikia atsižvelgti į kapitalo vertės pokytį bėgant laikui (diskonto norma). Metiniai kapitalo kaštai gali būti apskaičiuojami pagal šias formules:

$$A = I_0 \cdot \frac{r \cdot (1 + r)^n}{r \cdot (1 + r)^n - 1}, \qquad (10.8)$$

čia: A – kapitalo išlaidos per metus, EUR/m.;

I_0 – pradinė investicija, EUR;

r – diskonto norma;

n – apskaičiuotasis įrangos naudojimo laikas metais.

Nors metinius kapitalo kaštus galima apskaičiuoti pagal pateiktas formules, pasitelkiant kompiuterines technologijas, patogiau naudoti PMT finansinių skaičiavimų funkciją skaičiuoklių programose (EXCEL, „Open Office Spreadsheet“, „Numbers“)[8].

Analizuodama maksimalią šilumos kainą, Estijos konkurencijos tarnyba metinius kapitalo kaštus aiškina gan siaurai ir juos nustato visą investicijų apimtį padalydama iš numatomų naudojimo metų. Tai darydama Konkurencijos tarnyba atsižvelgia į papildomus fiksuotuosius kaštus, kurie laikomi pagrindžiamu pelningumu.

Jei diskonto norma r metinių kapitalo kaštų formulėje arba finansinėje funkcijoje PMT yra lygi vidutiniams kapitalo kaštams WACC, taikomiems centralizuoto šildymo įmonėms, gauname fiksuotųjų metinių kaštų vertę, kurią Estijos konkurencijos tarnyba laiko kapitalo kaštų ir pagrįsto pelningumo suma[9].

10.5.2. Atsipirkimo laikotarpio metodas

Pelningumo metodas grindžiamas laiko, per kurį investuotas kapitalas bus visiškai atgautas gaunamomis pajamomis, skaičiavimu. Išskiriamas paprastas ir diskontuotas atsipirkimo laikotarpiai.

Atsipirkimo laikotarpio metodas tinka tuomet, kai investicijos grąža yra vienoda kiekvienais naudojimo metais. Nekoreguotas atsipirkimo laikotarpis apskaičiuojamas pagal šį paprastą santykį:

$$\tau = \frac{I_0}{a}, \qquad (10.9)$$

čia: I_0 – pradinė investicija, EUR;

a – metinė investicijų grąža, EUR/m.

Metinę investicijų grąžą reikia suprasti kaip kintamųjų kaštų sumažėjimą, įskaitant kuro kaštų sumažėjimą.

Nors apskaičiuojant atsipirkimo laikotarpį neatsižvelgiama į kapitalo vertės pokytį per laiką ir banko paskolos palūkanas, nekoreguotas atsipirkimo laikotarpis yra tinkamas naudoti kaip pradinio apytikslio projekto grąžos apskaičiavimo metodas. Diskontuotas atsipirkimo laikotarpis yra ilgesnis nei nekoreguotas atsipirkimo laikotarpis, nes jame atsižvelgiama į palūkanų mokėjimą.

---

8 Svarbu atkreipti dėmesį, kad skaičiuoklių programų funkcijų pavadinimai priklauso nuo programinės įrangos kalbos versijos. Šios PMT funkcijos pavadinimas paimtas iš programinės įrangos versijos anglų kalba ir naudojamas Estijos skaičiuoklės programinėje įrangoje.

9 Estijos konkurencijos tarnyba laikosi nuomonės, kad jei įmonės pagrįstas pelningumas arba veiklos pelnas neviršija svertinės vidutinės kapitalo kaštų (WACC) vertės, tuomet įmonė uždirba pagrįstą pelną. WACC yra Konkurencijos tarnybos leistina pajamų norma, kuria remiantis šis pagrįstas pelningumas turi būti įtraukiamas į skaičiuojamą centralizuoto šildymo kainą.

Diskontuotą atsipirkimo laikotarpį geriausia nustatyti naudojant skaičiuoklės programų skaičiavimo funkciją NPER, kurioje, be pradinių investicijų I_0 ir metinės investicijų grąžos a, atsižvelgiama į diskonto normą r.

Yra keletas svarbių atsipirkimo laikotarpio metodo naudojimo trūkumų, įskaitant šiuos:

- neatsižvelgiama į pajamas, gautas po investicijos grąžos iki investicijos laiko pabaigos;
- metodo negalima taikyti, jei investicijos grąžos vertė kiekvienais metais kinta, pvz., dėl kuro kainų pokyčio.

10.5.3. Dabartinės grynosios vertės metodas

Naudojant dabartinės grynosios vertės metodą[10] atsižvelgiama į visas investicijos laikotarpio pajamas ir išlaidas – pinigų srautus:

$$NPV = \Sigma_{i=1}^{n} = \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I_0, \qquad (10.10)$$

čia: NPV – dabartinė grynoji investicijos vertė, EUR;

CF_i – pinigų srautai per i metus, EUR/m.;

n – projektinis įrenginio tarnavimo laikas per metus;

r – diskonto norma;

I_0 – pradinė investicija, EUR.

Formulėje (10.10) metinis pinigų srautas yra skirtumas tarp pajamų ir išlaidų, kurių vertės pritaikytos investicijos metams. Bendrų metinių pinigų srautų ir pradinių investicijų suma nusako ekonominį investicijos pagrindimą, t. y. teigiama NPV rodo projekto laikotarpiu gaunamas pajamas. Jei NPV neigiama, investicija yra nepelninga.

Daugeliu atvejų dabartinei grynajai vertei apskaičiuoti naudojama skaičiuoklės programos NPV funkcija. Šis metodas pranašesnis už atsipirkimo laikotarpio metodą tuo, kad jame atsižvelgiama į pinigų srautus visos investicijos laikotarpiu. Vis dėlto dėl reikšmingų energijos ir kuro kainų pokyčių tuos srautus prognozuoti visam investicijos laikotarpiui gana sudėtinga.

10.5.4. Vidinės grąžos normos (IRR) metodas

Taikant vidinės grąžos normos (angl. *internal rate of return* – IRR) metodą apskaičiuojama diskonto norma, kuriai esant dabartinė pajamų vertė būtų nulis, t. y. NPV = 0 (žr. 10.10 formulę). Investicija laikoma ekonomiškai pagrįsta, jei apskaičiuotoji IRR vertė yra didesnė nei faktinė diskonto norma (jei gauta banko paskola – paskolos palūkanos).

Norint apskaičiuoti vidinės grąžos normos vertę reikia naudoti atitinkamą skaičiuoklės funkciją IRR, kuri yra skaitinis toliau nurodytos lygties sprendimas IRR atžvilgiu:

$$\Sigma_{i=1}^{n} = \frac{CF_i}{(1+IRR)^i} - I_0, \qquad (10.11)$$

čia: CF_i – pinigų srautai per i metus, EUR/m.;

n – projektinis įrenginio tarnavimo laikas per metus;

IRR – vidinė grąžos norma;

I_0 – pradinė investicija, EUR.

Naudinga žinoti, kad vidinė grąžos norma IRR, dabartinė grynoji vertė NPV ir diskontuoto atsipirkimo laikotarpis NPER yra susiję, tačiau apibūdina ekonominę investicijos grąžą iš skirtingų perspektyvų.

---

10 NPV – termino „dabartinė grynoji vertė“ (angl. *Net Present Value*) trumpinys.

Pavyzdžiui, jei IRR yra lygi dabartinei diskonto normai r (banko paskolos palūkanos), tuomet dabartinė grynoji vertė yra nulis, o diskontuotas atsipirkimo laikotarpis NPER yra lygus investicijos laikotarpiui n.

Jei IRR > r, tuomet NPV > 0, o NPER < n, t. y. investicijų projektas yra pelningas. Tačiau jei IRR < r, tuomet NPV < 0, NPER > n, ir projektas yra nepelningas.

10.6. Šilumos gamybos kaštų analizė

Bendrieji šilumos tiekimo įmonės kaštai dalijami į fiksuotuosius kaštus, kurie yra proporcingi nustatytai šildymo galiai (EUR/MW), ir kintamuosius kaštus, kurie yra proporcingi šilumos gamybai (EUR/MWh). Į ekonominę analizę ir šildymo kainos skaičiavimus įtraukiami abeji.

Fiksuotieji kaštai yra kapitalo kaštai, prie kurių galima priskirti tam tikrus eksploatacinių kaštų komponentus, priklausančius tik nuo įrengtosios galios. Nuo galios priklausantys eksploataciniai kaštai gali būti, pavyzdžiui, avarinės įrangos techninės priežiūros kaštai ir pagrindinių darbuotojų kaštai.

Didžioji kintamųjų kaštų dalis yra kuro kaštai. Be to, prie kintamųjų kaštų priskiriami elektros, taršos mokesčių, eksploatacinių medžiagų, remonto išlaidų ir kt. kaštai.

10.6.1. Kuro kaštų skaičiavimas

Kuro kaštai sudaro didžiąją kintamųjų kaštų dalį, tad naudinga žinoti juos lemiančius veiksnius – kuro kainą ir šilumos šaltinio efektyvumą.

Biokuro kaina daugiausia priklauso nuo jo kokybės, tačiau kasmet ir kas sezoną, taip pat priklausomai nuo situacijos rinkoje, šiek tiek svyruoja. Nors drėgmės kiekis kure yra svarbus medžio skiedrų kokybės indikatorius (žr. 3.1 ir 4 skyrius), kuro pasirinkimas daugiausia turi priklausyti nuo deginimo įrenginio. Biokuru kūrenamoje centralizuoto šildymo sistemoje dažniausiai naudojama įranga, skirta drėgnoms (35–55 %) medžio skiedroms deginti.

Estijoje medžio skiedros paprastai matuojamos m³, tad į katilinę atvežamo kuro energiją galima lengvai apskaičiuoti išreiškiant kuro kiekį m³, o kuro energijos kiekį E_{ar}.

Žinant kuro kainą, kuro energijos kiekį ir šilumos šaltinio (katilo) efektyvumą, galima nustatyti su kuru susijusį kintamųjų kaštų komponentą gamybos kainoje pagal šį santykį:

$$Q_f = V_{bulk} \cdot E_{ar}, \qquad (10.12)$$

čia: Q_f – kuro energijos kiekis, MWh;

V_{bulk} – kuro tūris, l m³;

E_{ar} – gauto kuro energijos kiekis, MWh/l m³.

Kuro ir šilumos gamybos energijos kiekį ir kainą galima naudoti nustatant kuro kaštų komponentą šilumos gamybos kainoje.

$$h_f = \frac{Q_f \cdot h_f}{Q_b}, \qquad (10.13)$$

čia: Q_f – kuro energijos kiekis, MWh_f;

h_f – kuro kaina, EUR/MWh_f;

Q_b – katilinės arba katilo pagaminama šiluma, MWh.

11.12 ir 11.13 lygtys gali būti naudojamos su katilinės ar katilo eksploatavimo duomenimis, tačiau planuojant katilinę ir nustatant kuro sąnaudas reikia atsižvelgti į katilo efektyvumą η:

$$Q_f = \frac{Q_b}{\eta_b}, \qquad (10.14)$$

čia: Q_f – kuro sąnaudos pagal energijos kiekį, MWh_f;

Q_b – katilinės arba katilo šilumos gamyba, MWh;

η_b – katilinės arba katilo efektyvumas.

Kalbant apie biokuro katilo efektyvumą, reikia atsižvelgti į tai, kad jis priklauso nuo katilo apkrovos. Daugeliu atvejų katilų gamintojai nurodo tik efektyvumo vertę esant nominaliai šiluminei galiai. Paprastai biokuro katilo efektyvumas, kai apkrova maža, yra mažesnis, tad vidutinis metinis katilo efektyvumas priklauso nuo jo veikimo režimo. Jei katilas turi ilgą laiką veikti esant neįprastai mažai apkrovai (mažiau nei 30 %), tai gali gerokai sumažinti vidutinį metinį įrenginio efektyvumą.

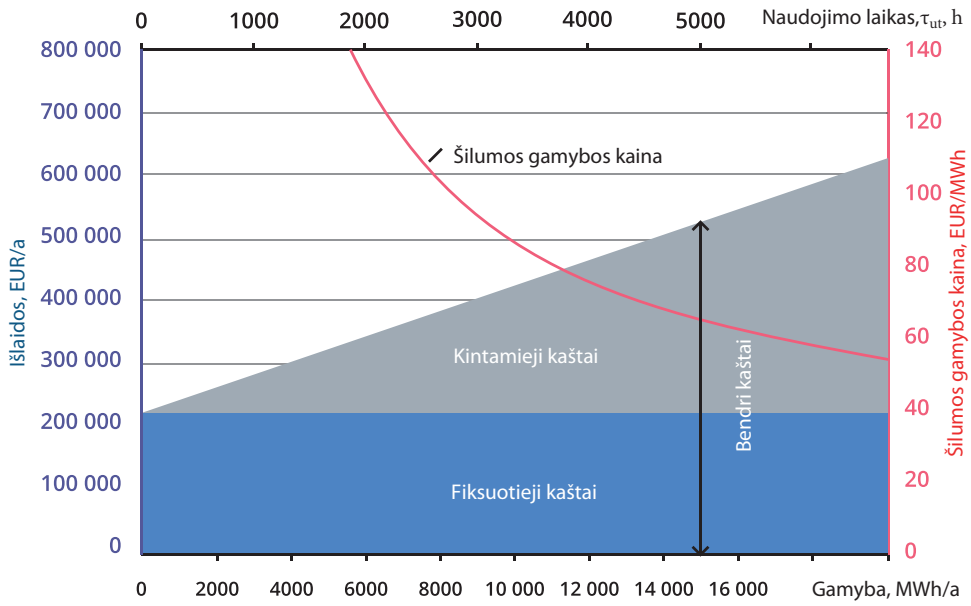
Daugelis biokuro katilų gamintojų užtikrina normalų katilų veikimą esant 30–100 % apkrovai – į tai reikėtų atsižvelgti planuojant katilinę.

10.6.2. Šilumos kainos priklausomybė nuo fiksuotųjų ir kintamųjų kaštų

Toliau pateiktame paveiksle (žr. 10.5 pav.) nurodomas galimas kaštų pasiskirstymas ir gamybos kainos priklausomybė nuo metinės gamybos tipinėje maždaug 3 MW galios biokuro katilinėje.

Vienas iš centralizuoto šildymo sistemos indikatorių, prastėjantis mažėjant vartojimo apimčiai, yra santykiniai centralizuoto šildymo tinklo šilumos nuostoliai. Absoliutiniai tinklo šilumos nuostoliai priklauso nuo vamzdynų izoliacijos kokybės ir vamzdžiais tekančio šilumnešio ir vamzdžius supančios aplinkos (grunto) temperatūros skirtumo. Absoliutiniai šilumos nuostoliai nepriklauso nuo vamzdynu perduodamo šilumos kiekio.

Jei, pavyzdžiui, santykiniai centralizuotos šildymo sistemos nuostoliai iš pradžių buvo 14 %, tai 15 % sumažėjus suvartojimui santykiniai nuostoliai padidėja iki maždaug 16 % (dviem procentais). Tai savo ruožtu padidina šilumos kainą. Suvartojamo kiekio sumažėjimas taip pat paveikia fiksuotųjų ir kintamųjų centralizuoto šildymo sistemos



10.5 pav. Fiksuotieji ir kintamieji šilumos gamybos kaštai ir šilumos gamybos kainos priklausomybė nuo gaminamo kiekio

kaštų santykį. Mažėjant suvartojimui kintamieji centralizuotos šildymo sistemos kaštai mažėja, nes reikia mažiau kuro. Fiksuotųjų kaštų absoliutinė vertė nesikeičia, tačiau fiksuotųjų kaštų dedamoji šilumos kainoje didėja. Tai parodyta 10.5 pav.

Suvartojamo kiekio sumažėjimas ypač paveikia centralizuoto šildymo sistemas, kuriose šilumos šaltiniai (katilai) veikia per maža apkrova. 10.5 pav. pateiktame pavyzdyje šilumos šaltinio (medžio skiedromis kūrenamo katilo) galia buvo 3 MW. Jo naudojimo nominalia galia laikas τ_{ut} turėjo būti daugiau nei 4000 val. (galios koeficientas $\mu \cong 0{,}46$ ar didesnis), t. y. norint užtikrinti ekonominį gyvybingumą metinė šilumos gamyba turėjo būti bent 12 000 $MWh_{šil.}$. Šiuo šilumos gamybos atveju gamybos kaina būtų apie 38,58 $EUR/MWh_{šil.}$. Suvartojimui sumažėjus 15 % iki 10 200 $MWh_{šil.}$ per metus, naujoji gamybos kaina būtų 41,86 $EUR/MWh_{šil.}$, t. y. 3,28 $EUR/MWh_{šil.}$ didesnė. Jei šilumos šaltinio eksploatavimo nominalia galia laikas yra dar mažesnis, šilumos gamybos kainos kreivė tampa dar statesnė ir apkrovai dar labiau mažėjant kaina didės dar greičiau.

Apibendrinant galima pasakyti, kad mažėjant suvartojamam kiekiui didėja tiek gamybos, tiek perdavimo kaina, tad šilumos pardavimo kaina auga.

10.7. Skirtingų atsinaujinančiųjų šilumos šaltinių derinimas centralizuoto šildymo sistemoje

Centralizuoto šildymo sistemoje pagrindinis šilumos šaltinis (biokuras) gali būti derinamas su kitais atsinaujinančiaisiais energijos šaltiniais, pvz., saulės kolektoriais, šilumos siurbliais ir t. t. Kadangi fiksuotieji atsinaujinančiosios energijos šaltinių kaštai yra santykinai dideli, toks derinys turi būti išanalizuojamas iš anksto ir įvertinamas kaip ekonomiškai apsimokantis arba ne.

Kaip parodyta 10.5 pav., mažėjant biokuro katile pagaminamam šilumos kiekiui gaminamos šilumos kaina didėja, tad, pavyzdžiui, saulės kolektorių įrengimas centralizuoto šildymo sistemoje su biokuro katilu neišvengiamai padidins šilumos gamybos biokuro katile kainą. Šį poveikį galima gerokai sumažinti, jei [102] saulės energijos kolektoriai galėtų visiškai tenkinti šilumos poreikį visą vasaros sezoną (žr. 10.6 pav.). Šiuo atveju išvengiama biokuro katilo eksploatavimo neįprastai maža apkrova vasaros laikotarpiu [57] arba piko apkrovos katilo, kūrenamo iškastiniu kuru, naudojimo vasaros laikotarpiu.

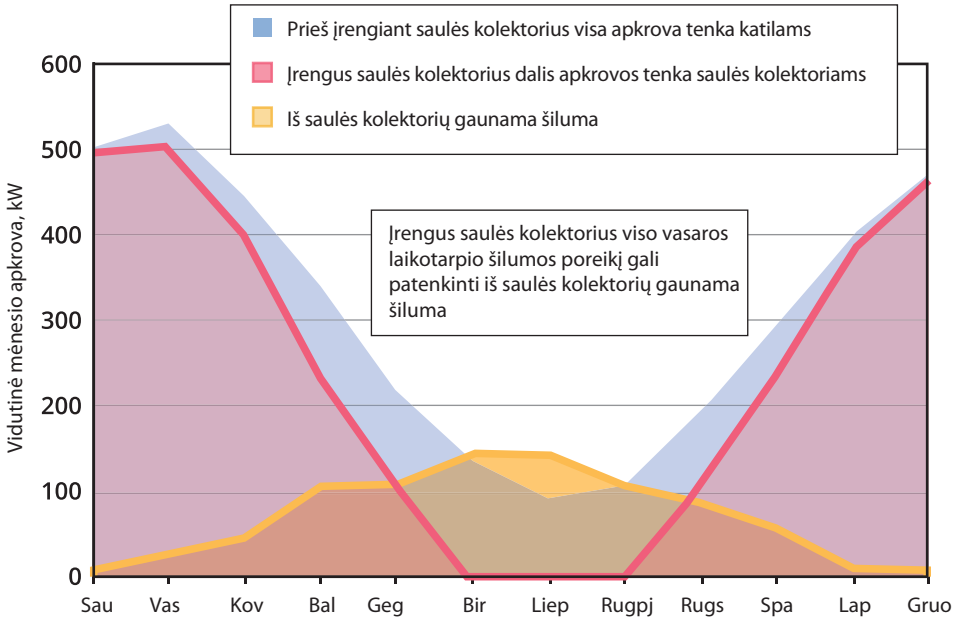
Pagal Estijos centralizuoto šildymo įstatymą [57] centralizuoto šildymo vartotojas gali papildomai naudoti šilumą iš kuro nedeginančių atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, įskaitant šilumą iš įstatymuose nurodytų saulės energijos kolektorių ar šilumos siurblių, jei šie šilumos siurbliai varomi atsinaujinančiųjų šaltinių elektra („žaliąja elektra“).

Jei pagal įstatymus suteikta teise greta šilumos iš centralizuoto šildymo sistemos vartoti šilumą iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių pasinaudoja tik dalis vartotojų[11], centralizuoto šildymo sistemoje gali susidaryti situacija, kai šie vartotojai nenaudoja centralizuotos šilumos vasarą ir dalį pavasario ir rudens laikotarpio ir šiluma iš centralizuotos sistemos jiems tampa iš esmės piko meto šiluma.

Šis lygiagretus vartojimas lemia didelę koliziją su biokurą deginančios centralizuoto šildymo sistemos ekonominio pagrįstumo principais.

Lygiagretaus vartojimo problemas centralizuoto šildymo sistemose galima sumažinti įdiegiant kelių komponentų šilumos tarifų sistemą [102].

[11] Kartu su šiluma iš centralizuoto šildymo tinklo vartojama iš vietinių atsinaujinančiųjų energijos šaltinių gauta šiluma laikoma „lygiagrečiu vartojimu“.



10.6 pav. Šilumos gamyba centralizuoto šildymo sistemoje su biokuro katilu iki ir po saulės energijos kolektorių įrengimo

10.8. Kiekiai, nusakantys centralizuoto šildymo sistemų eksploatavimą

Analizuojant centralizuoto šildymo sistemos eksploataciją naudojami visą centralizuoto šildymo sistemą, katilinę ir šilumos šaltinį, šilumos perdavimą ir nuostolius centralizuoto šildymo sistemoje ir vartotojų vietovėje apibūdinantys parametrai. Daugeliu atvejų naudojamos šios centralizuotos šildymo sistemos charakteristikos:

- šilumos šaltinių (pvz., katilų) galia, MW;
- bendras pirminės energijos (kuro) suvartojimas energijos vienetais, $MWh_{šil.}$;
- biokuro sąnaudos energijos vienetais ir santykinis bendras pirminės energijos suvartojimas, $MWh_{šil.}$ ir %;
- centralizuotos šildymo sistemos šiluminė galia, $MWh_{šil.}$;
- vartotojams faktiškai parduota šiluma, $MWh_{šil}$;
- šiluma, parduodama esant įprastoms metinėms klimatinėms sąlygoms, $MWh_{šil.}$;
- centralizuoto šildymo tinklo ilgis (m), vandens kiekis (m^3) ir vidutinis vamzdžių skersmuo, mm;
- absoliutiniai šilumos nuostoliai centralizuoto šildymo
- tinkle, $MWh_{šil.}$/m.;
- santykiniai šilumos nuostoliai centralizuoto šildymo tinkle, %;
- savitieji centralizuoto šildymo tinklo nuostoliai, W/m;

- bendras metinio suvartojimo tankumas vamzdyno metrui, $kWh_{šil.}$/(metai * m);
- centralizuoto šildymo tinklo savitosios apkrovos charakteristika K, rodanti metinį suvartojamą kiekį pagal vidutinį vamzdyno skersmenį ir ilgį, $kWh_{šil.}$/(metai * mm * m);
- šilumos tiekimo galia, t. y. įrengtų šilumos šaltinių galia vienam tinklo ilgio metrui, $kW_{šil.}$/m;
- šilumos gamybos efektyvumas, %;
- centralizuoto šildymo sistemos efektyvumas, %.

Be nurodytų parametrų, centralizuoto šildymo sistemos techninę būklę apibūdina ir vandens pakeitimo santykis per metus m^3/m^3. Ekonominiu požiūriu svarbus rodiklis yra savitasis elektros suvartojimas $kWh_{el.}$ parduodamos šilumos $MWh_{šil.}$.

Nurodyti indikatoriai leidžia palyginti analizuojamą centralizuoto šildymo sistemą su kitomis centralizuoto šildymo sistemoms pagal ekonominius ir techninius indikatorius, ją įvertinti ir, jei reikia, parengti tobulinimo priemones.

Kadangi šildomi pastatai nuolat renovuojami, kiekvienais metais šilumos sąnaudos mažėja, o tai gali smarkiai paveikti keletą centralizuotos šildymo sistemos parametrų ir parduodamos šilumos kainą.

11. Ekonominis kogeneracinių sistemų vertinimas

Naudojant biokurą iš principo įmanoma pritaikyti įvairias šilumos ir elektros energijos kogeneracines technologijas, iš kurių svarbiausios yra šios:

- Rankino garo ciklo kogeneracijos blokas su biokuro katilu ir priešslėgio turbina;
- biokuro organinio šilumnešio (ORC) kogeneracinis blokas, veikiantis pagal Rankino ciklą;
- kogeneracinis blokas su biokuro šiluminės gazifikacijos įrenginiu ir dujiniu varikliu ar dujų turbina.

Naujausių kogeneracijos sprendimų Estijoje dar nėra įgyvendinta, tačiau jau veikia Rankino garo ciklo kogeneraciniai blokai su priešslėgio turbina ir keletas ORC kogeneracinių blokų.

11.1. Kogeneracijos efektyvumas tiekiant šilumą

Šilumos ir elektros energijos kogeneracijos naudojimas centralizuotai tiekiant šilumą pradedamas taikyti vis mažesnėse centralizuoto šildymo sistemose. Kogeneraciniai sprendimai išsiskiria tuo, kad technologiškai tai – vientisas procesas, kurio metu pagaminamos šilumos ir elektros energijos santykis daugiausia priklauso nuo technologijos, o pati energija realizuojama dviejose santykinai nepriklausomose rinkose.

Kogeneracija pranašesnė už atskirą šilumos ir elektros energijos generavimą dėl galimybės taupyti pirminę energiją (kurą), mažinti CO_2 išlakas ir gerinti kitus aplinkos parametrus.

Bendras kogeneracinio įrenginio efektyvumas [103]:

$$\eta_{CHP} = \frac{P_{el} + Q_{th}}{Q_f} = \eta_{el} + \eta_{th}, \qquad (11.1)$$

čia: P_{el} – elektros apkrova, $MW_{el.}$;

Q_{th} – šiluminė apkrova, $MW_{šil.}$;

Q_f – energija iš kuro, MW_k;

η_{el} – kogeneracijos elektrinis efektyvumas;

η_{th} – kogeneracijos šiluminis efektyvumas.

Kiekvienos kogeneracijos technologijos ir veikimo režimo santykis tarp proceso elektros ir šiluminės apkrovos yra C:

$$C = \frac{P_{el}}{Q_{th}} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}}, \qquad (11.2)$$

čia: P_{el} – elektros apkrova, $MW_{el.}$;

Q_{th} – šiluminė apkrova, $MW_{šil.}$;

η_{el} – kogeneracijos elektrinis efektyvumas;

η_{th} – kogeneracijos šiluminis efektyvumas.

Garo jėgainėse su priešslėgio turbina elektros ir šilumos santykis C priklauso nuo į turbiną tiekiamų šviežių garų ir slėgio už turbinos santykio. Tiekiamų šviežių garų slėgis savo ruožtu priklauso nuo garų įrenginio galios – kuo didesnė jo galia, tuo prasmingiau naudoti aukštesnius garų parametrus.

Aukštų garų parametrų naudojimas mažos galios garo generatoriuje ir turbinoje reikalautų tokių technologinių sprendimų, kurie ekonominiu ir eksploataciniu požiūriu pasiteisintų tik esant didelei apkrovai. Dėl šios priežasties garų slėgis kelių megavatų neviršijančiuose elektros generavimo galios kogeneraciniuose blokuose paprastai yra 20 barų.

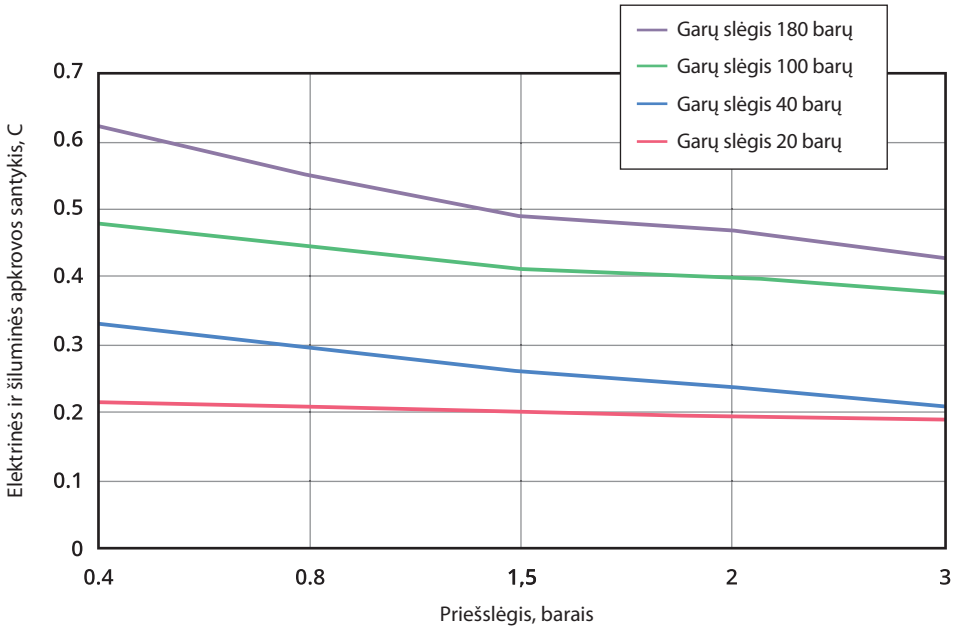
Jei 20 barų slėgio garų įrenginys naudojamas centralizuoto šildymo sistemoje, priešslėgis paprastai būna 1,5 baro, mat taip pasiekiama centralizuotai šildomam vandeniui reikalinga temperatūra ir leidžiama išlaikyti maždaug elektros ir šiluminės apkrovos santykį 0,2 (11.1 pav.).

Kuo aukštesnis šviežių garų slėgis, tuo didesnė elektros dalis bus kogeneracijos procese. Didesnėse kogeneracinėse jėgainėse, kurių elektros galia apie 10 MW, šviežių garų slėgis yra apie 40 barų, elektros ir šiluminės apkrovos santykis – apie 0,25 (pvz., Talino jėgainė Väo rajone).

Galingi kogeneraciniai blokai, kuriuose šviežių garų slėgis viršija 100 barų, gali pasiekti iki 0,5 C vertę, t. y. 1/3 visos pagamintos energijos sudarytų elektra, 2/3 – šiluma.

Kadangi kogeneracinis blokas yra technologinis procesas su dviem išvestimis (elektra ir šiluma), procesą galima valdyti atsižvelgiant į elektros arba šilumos suvartojimą.

Paprastai visi kogeneraciniai įrenginiai Estijoje valdomi atsižvelgiant į šilumos sąnaudas, tad kogeneracinių įrenginių projektavimas grindžiamas šilumine apkrova, tiksliau, šiluminės apkrovos trukmės grafiku.



11.1 pav. Kogeneracinės jėgainės su priešslėgio turbina elektrinės ir šiluminės apkrovos santykis C priklausomai nuo garų slėgio ir priešslėgio

11.2. Energijos gamybos kainų pasiskirstymas šilumos ir elektros energijos kogeneracijos sistemoje

Kogeneracijos tikslas yra sumažinti pirminės energijos (kuro) sąnaudas, palyginti su gamyba atskiruose įrenginiuose [82], [104]. Pirminės energijos sutaupymas[12] apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$PES = \left\{ \frac{1}{\frac{\eta_{th}^{CHP}}{\eta_{th}^{REF}} + \frac{\eta_{el}^{CHP}}{\eta_{el}^{REF}}} \right\} \cdot 100\% , \qquad (11.3)$$

čia: PES – pirminės energijos sutaupymas, %;

η_{th}^{CHP} – kogeneracijos šiluminis efektyvumas;

η_{el}^{REF} – kogeneracijos elektrinis efektyvumas;

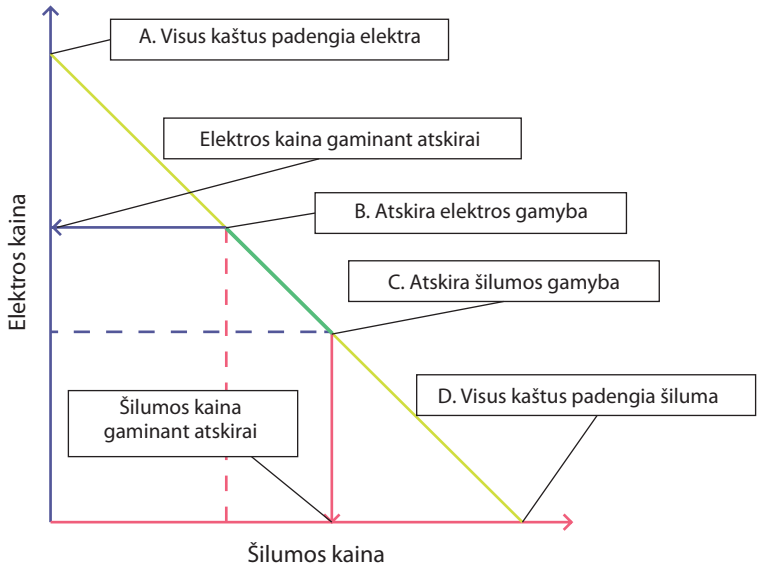
η_{th}^{CH} – atskaitinė šiluminio efektyvumo vertė;

η_{el}^{REF} – atskaitinė elektrinio efektyvumo vertė.

Remiantis Estijos konkurencijos tarnybos instrukcijomis [105], kogeneracijos šiluminis ir elektrinis efektyvumas nurodomas kaip ankstesnių 12 mėnesių vidurkiai. Gairėse [105] taip pat nurodomos atskaitinės atskiros gamybos efektyvumo vertės.

Jei pagal 12.3 formulę apskaičiuoti pirminės energijos sutaupymai daugiau nei 1 $MW_{el.}$ galios kogeneraciniuose blokuose yra bent 10 %, kogeneracija laikoma efektyvia. Mažuose įrenginiuose ir mikroįrenginiuose kogeneracija jau laikoma efektyvia, jei pirminės energijos sutaupymai yra apskritai pasiekiami, t. y. PES turi būti daugiau nei nulis procentų (teigiama vertė)[13].

Atskiros elektros ir šilumos gamybos kaštų padalijimas elektrai ir šilumai yra sąlyginis, nes tai yra vienas technologinis procesas, kurio rezultatas (elektra ir šiluma) parduodamas atskirose rinkose. Todėl iš principo visi kaštai gali būti dengiami arba parduodant tik elektrą, arba parduodant tik šilumą (atitinkamai taškas A ir taškas D, 11.2 pav.).



11.2 pav. Kaštų dalijimosi galimybės kogeneracijos sistemoje

12 PES – santrumpa, reiškianti „pirminės energijos sutaupymas“

13 Jei kogeneracija susijusi su iškastiniu kuru, Estijoje kai kuriais atvejais galima gauti paramą elektrai, gaminamai efektyvios kogeneracijos režimu. Jei kogeneracija susijusi su biokuru, parama skiriama į tinklą perduodamai elektrai, neatsižvelgiant į tai, ar jos gamyba buvo vykdoma efektyviu kogeneracijos režimu, ar ne.

Plote tarp B ir C konkurencinga tiek kogeneracijos metu gaminama šiluma, tiek elektra. Taškus B ir C galima nustatyti, pavyzdžiui, pagal vidutinę elektros gamybos kainą ir šilumos gamybos kainą, kai ji pagaminama vadinamojoje alternatyvioje katilinėje.

Kogeneracijos bloko kaštams padalyti dažnai naudojami šie metodai [103, 105]:

- alternatyvios katilinės metodas – laikoma, kad centralizuoto šildymo tinklui parduodama šiluma gaminama atskiroje šilumos gamybai skirtoje katilinėje;
- fizinis (kalorimetrinis) metodas – bendri kaštai paskirstomi proporcingai elektros ir šilumos gamybai.

11.3. Kogeneracija šilumos tiekimo sistemoje su technologine šilumos apkrova

Tipinis šilumos tiekimo su technologine šilumos apkrova pavyzdys gali būti lentpjūvė su medienos džiovyklėmis, kur mediena džiovinama beveik nuolat (apie 11 mėnesių per metus). Lentpjūvės gamybos atliekos (pjuvenos, skiedros) gali būti sėkmingai naudojamos kaip kuras, įmonė taip pat pakankamai tolygiai vartoja elektrą (žr. 11.3 pav.).

Naudojant kaip energijos šaltinį priešslėgio turbinos kogeneracinį bloką (11.3 pav.) galima padengti apie 91 % viso įrenginio šilumos poreikio, jei kogeneracinio bloko galia yra 1 $MW_{el.}$ ir 5 $MW_{šil.}$ (šilumos galios naudojimo valandų skaičius siekia beveik 8000 val.). Visą pagamintą elektrą suvartoja pati įmonė, o trūkstama jos dalis perkama iš skirstymo tinklo.

Apie 9 % įmonės šilumos sąnaudų padengia vandens šildymo katilas, kuriame deginamos lentpjūvės atliekos.

Didelė įrangos apkrova užtikrina vidutinius fiksuotuosius pagaminto energijos vieneto kaštus.

Į kogeneraciniame bloke pagaminamos ir įmonės suvartojamos elektros kainą neįtraukiami energijos perdavimo mokesčiai, tad tai bendruoju atveju turėtų užtikrinti ekonominį gyvybingumą.

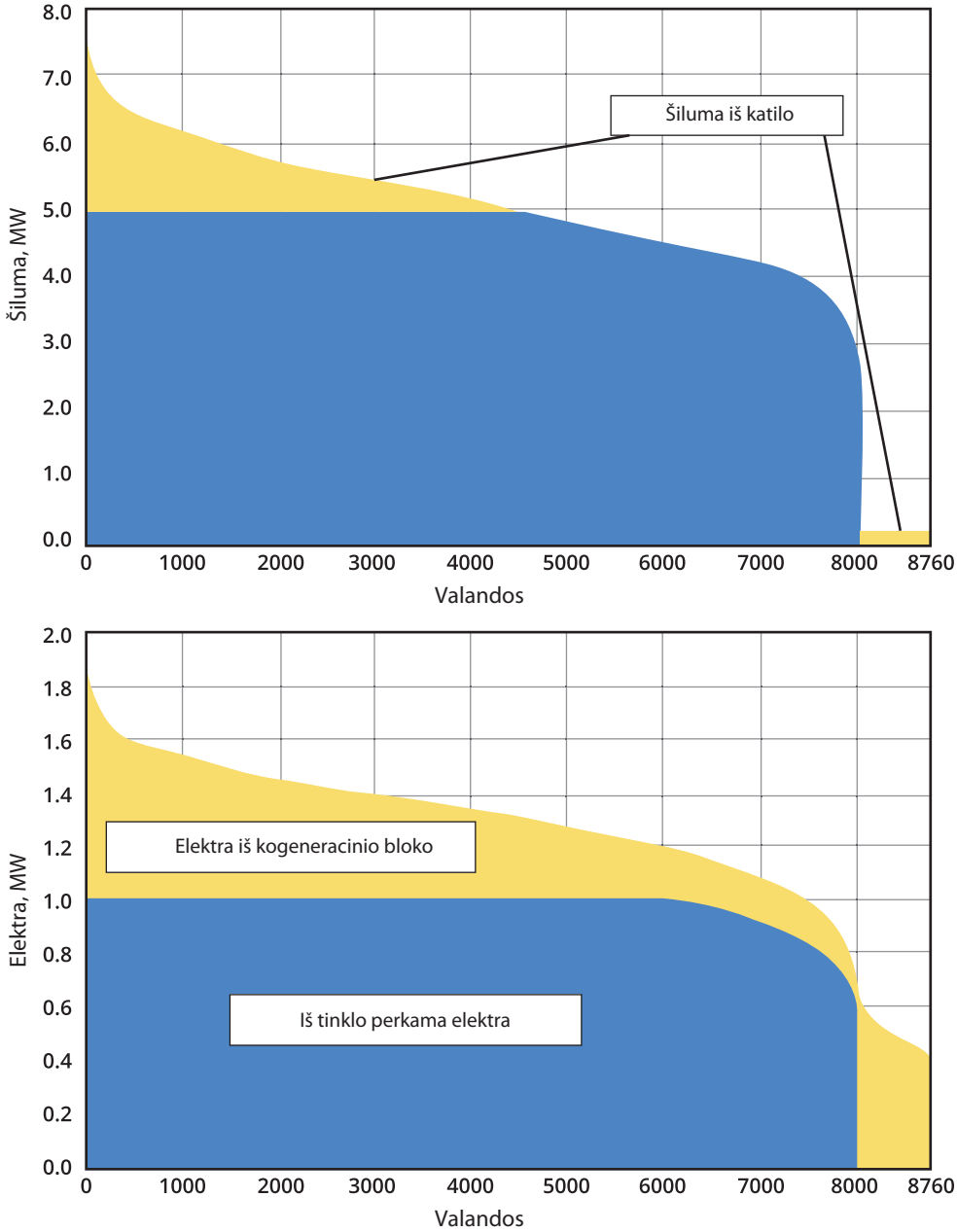
11.4. Kogeneracija centralizuoto šildymo sistemoje

Kitaip nei pirmiau aprašytoje daugiausia technologinę šilumą vartojančioje sistemoje, centralizuoto šildymo sistemoje šiluminę apkrovą labai veikia lauko temperatūra, tad vidutinė vasaros apkrova dažnai yra apie 10 % didžiausios momentinės apkrovos. Jei tokioje sistemoje kaip šilumos šaltinis naudojamas biokuro kogeneracinis blokas, tuomet, pvz., Arto Nuorkivi [106] nuomone, ekonomiškai pagrįsta riboti biokuro kogeneracijos bloko galią iki 10–20 % maksimalios apkrovos.

Šioje rekomendacijoje neatsižvelgiama į tai, kad už deginant biokurą gaminamą ir į skirstymo tinklą perduodamą elektrą Estijoje gaunama parama, kuri pagal Elektros rinkos įstatymą [107] (59 straipsnį) iki 125 MW galios gamybos įrenginiams yra 0,0537 $EUR/kWh_{el.}$.

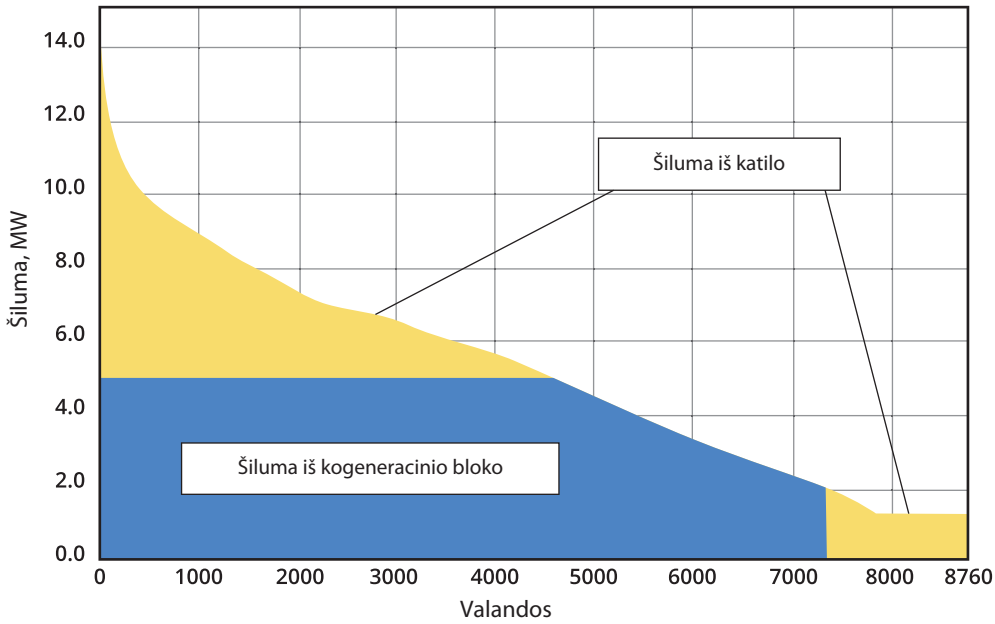
Už elektrą iš atsinaujinančiųjų šaltinių mokama parama leidžia įrengti biokuro kogeneracines jėgaines, kurių galia daugiau nei 20 % didesnė nei maksimali centralizuoto šildymo sistemos apkrova.

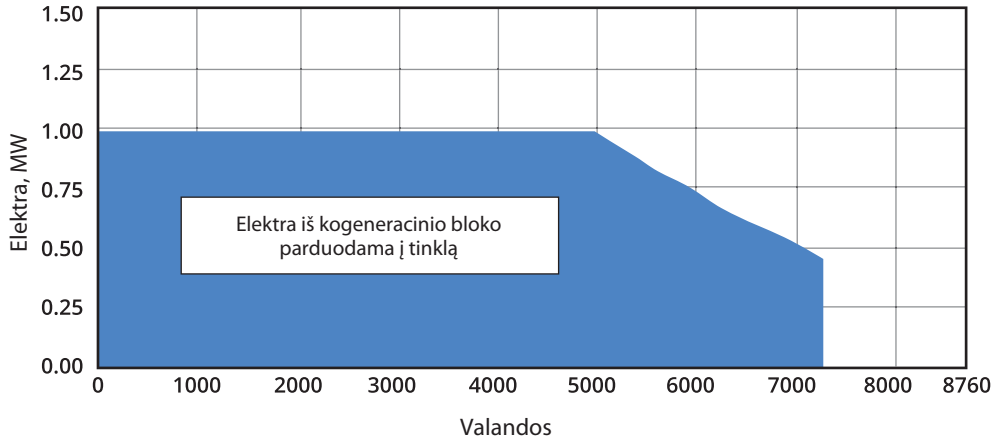
Toliau pateiktame pavyzdyje (žr. 11.4 pav.) biokuro kogeneracinės jėgainės galia yra 33 % maksimalios apkrovos. Planuojant kogeneracinį bloką būtina atlikti kruopščią ekonominę analizę, kad būtų galima įvertinti tokio įrengimo ekonominį pagrįstumą.



11.3 pav. Lentpjūvės su medžio džiovyklėmis, kurioje įrengta priešslėgio turbinos kogeneracinė jėgainė, šilumos ir elektros sąnaudos*

* Kogeneracinio bloko nominali elektros galia 1 $MW_{el.}$, nominali šiluminė galia 5 $MW_{šil.}$. Nominali šiluminė galia patenkina apie 62 % įmonės maksimalios šiluminės apkrovos, o nominalios šiluminės galios veikimo valandų skaičius per metus yra apie 8000.
Kogeneraciniame bloke pagamintą elektrą suvartoja pati gamykla, o trūkstama jos dalis perkama iš skirstymo tinklo.





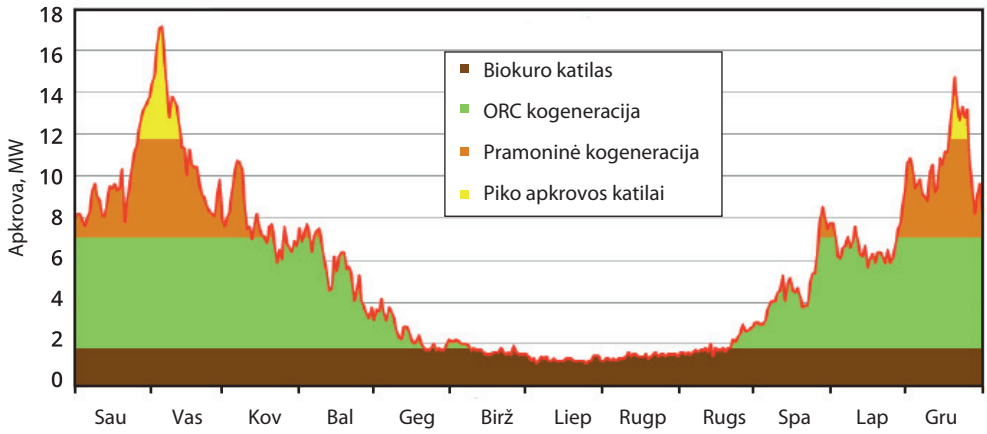
11.4 pav. Kogeneracinio bloko įrengimas centralizuoto šildymo sistemoje*

* Elektrinė kogeneracinio bloko galia yra 1 $MW_{el.}$, šiluminė galia 5 $MW_{šil.}$. Kogeneracijai tenka apie 33 % įmonės maksimalios šiluminės apkrovos. Kogeneracinio bloko šiluminės galios veikimo valandų skaičius per metus yra 6200.
Visa gaminama elektra parduodama į elektros tinklą.

Rankino ciklas (ORC) gali būti ekonomiškai pagrįstas net jei jis neveikia mažos šiluminės apkrovos laikotarpiais (žr. 11.5 pav., [108, 109]). Vis dėlto reikia atkreipti dėmesį, kad, be paramos, gaunamos už elektrą iš atsinaujinančiųjų šaltinių, projektu buvo suteikta 1,4 mln. EUR parama (bendros investicijos siekė 4 mln. EUR), o tai padidino jo pelningumą.

Kadangi naudojant biokuro kogeneracinį įrenginį galima gauti investicinę paramą ir paramą už elektrą iš atsinaujinančiųjų šaltinių, kiekvienam konkrečiam projektui būtina atlikti preliminarią ekonominę analizę.

Šiame pavyzdyje, be ORC bloko, centralizuoto šildymo sistemai buvo naudojamas kitas biokuro šilumos šaltinis. Sistemos prioritetai leido jį įgyvendinti tik po to, kai biokuro katilas ir katilas bei OCR blokas negalėjo padengti visos apkrovos, t. y. jis buvo naudojamas iš esmės piko apkrovai padengti, tad įrengimas pasirodė esąs ekonomiškai nepagrįstas.



11.5 pav. Apkrovų tarp skirtingų šilumos šaltinių per vienus metus pasiskirstymas vienoje Estijos centralizuoto šildymo sistemoje

12. Literatūra

[1] Cost-effective and sustainable harvest methods (WP2). Natural Resources Institute Finland Luke. Interreg Baltic Sea Region program, project Baltic ForBio, 2020.

[2] Agriculture, forestry and fisheries – forestry section. European Statistical Office. European Commission.

[3] Solid Biomass Barometer. EurObserv'ER. 2019.

[4] The State of Renewable Energies in Europe. 2019 edition. EurObserv'ER.

[5] European Commission. Statistical Pocketbook 2019 – EU energy in figures. Drukarnia INTERAK SP ZOO, 2019.

[6] Parviainen, J., Västilä, S. State of Finland´s Forests 2011. Ministry of Agriculture and Forestry & Finnish Forest Research Institute.

[7] Tree species distribution in Germany. German Forestry Council.

[8] BALTI Group. Latvia's Forest During 20 Years of Independence. Forest Development Fund.

[9] Turs, A. A review on biomass: importance, chemistry, classification and conversion. Review Paper. *Biofuel Research Journal, 22,* 2019.

[10] *Solid Biofuels – Fuel Specification and Classes CEN/TS 14961:2005(E),* 2005.

[11] Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H., Obersteiner, M. Woody biomass energy potential in 2050. *Energy Policy. Volume 66,* 03 2014.

[12] Fowler, P. Wood Combustion for Heating (Demirbas A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion, 30(2),* 2004.

[13] Tillman, D.A., Rossi, A.J., Kitto, W.D. Wood combustion – Principles, Processes and Economics. Washington, Bellevue: Academic Press, 1981.

[14] Vares, V., Kask, Ü., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S. Manual for Biofuel Users, Tallinn: TUT Press, 2005.

[15] Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. *Technology Programme Report 6/2004,* Helsinki: 2004.

[16] Alakangas, E., Hursakainen, M., Lantikainen-Luutama, J., Korhonen, J. *Properties of indigenous fuels in Finland,* Jyväskylä: VTT Technology 272, 2016.

[17] Chidumayo, E.N. Above-ground woody biomass structure and productivity in a Zambezion Woodland. *Forest Ecology and Management, 36,* 1990.

[18] Ma, Z., Xiao, L., Zhu, S. Primary Productivity and Energy Flow of Hardwood Forests. – *Proceedings of XII World Forestry Congress,* Quebec City, Canada, 2003.

[19] Alakangas, E. Suomessa käytettävien poltoaineiden ominaisuuksia, Espoo: VTT, 2000. (in Finnish)

[20] *Eesti standard: Tahked biokütused. Kütuste spetsifikatsioon ja klassid. Osa 1: üldised nõuded (EN ISO 17225-1:2014).* Tallinn: 2014. (in Estonian)

[21] Francescato, V. Wood Fuels Handbook, Italy: AEIL, 2008.

[22] Paist, A., Plamus, K. Lokaalkatlamajad. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013. (in Estonian)

[23] Olenius, H. Pilkkeen laadun vaikutus palamiseen ja päästöihin tulisijassa. Pilkeseminaari, 2.9.2005. (in Finnsih)

[24] Krajnc, N. Wood Fuels Handbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Pristina: 2015.

[25] Röser, D., Erkkilä, A., Mola-Yudego, B. et al. Natural drying methods to promote fuel quality enhancement of small energywood stems. *In Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 186,* 2010.

[26] Hillebrand, K., Nurmi, J. Puupolttoaineiden laadunhallinta. [Quality control of wood fuels]. Wood Energy Technology Programme Yearbook, Espoo: VTT Symposium 205, 2000. (in Finnish)

[27] Ots, A. Soojustehnika aluskursus, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2011.

[28] Kask, Ü., Muiste, P., Vares, V. Puitkütus. Tallinn: Erametsakeskus SA ja EBÜ, 2014. (in Estonian)

[29] *Wood chips for energy production.* Technology-Environment.Economy. The Centre of Biomass Technology, 1993.

[30] *A guide to small-scale wood fuel (biomass) heating systems.* Wood Fuel South West Advice Service. Forestry Commision England, 2009.

[31] Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel. Volume 89, Issue 5,* 05 2010.

[32] BISYPLAN web-based handbook, 2012, http://www.bioenergyprof.eu/handbooks/bisyplan/html-files-en/handbook-intro.html

[33] Alakangas, E. Properties of Fuels Used in Finland, Espoo, Finland: VTT, 2000.

[34] Pesonen, J., Kuokkanen, T., Kaupiainen, E. et al. Chemical and physical properties of short rotation tree species. *European Journal of Wood and Wood Products, 72,* 2014.

[35] *Wood for Energy Production Technology – Environment – Economy.* Coford: National Council for Forest Research & Development. The Danish Center For Biomass Technology, 2005.

[36] Yin, C., Lasse, L.A., Rosendahl, A., Kær, S.K. Grate-firing of biomass for heat and power production. *Progress in Energy and Combustion Science, 34,* 2008.

[37] Ots, A. Tahkekütuse keevkihtpõletustehnika. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2016. (in Estonian)

[38] Irak, A., Veide, H. Aurukatlad. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1952. (in Estonian)

[39] Jääskeläinen, J., Alakangas, E. Bioenergy Utilisation and Potentials in the Baltic and other CEE Countries. Altener Programme. VTT Energy, Jyväskylä, 1999.

[40] Moving Grate Principle. Core Biomass Ltd. http://corebiomass.co.uk/moving_grate_principle

[41] Wood chip boiler HACK VR 250 to 500 kW. ETA. https://www.eta.co.at/en/products/product-overview/wood-chips/eta-hack-vr-333-500-kw/.

[42] Kortela, J., Jämsä-Jounela, S.-L. Modelling and model predictive cintrol of the BioPower combined heat and power (CHP) plant. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 65, 2015.

[43] Flake type chain grate. Jinma Boiler Equipment Co. http://www.jinmaboiler.com/product_02.html.

[44] Travelling Grate Boiler. Supertherm Engineering Private Limited. https://www.indiamart.com/proddetail/travelling-grate-boiler-12955157655.htm.

[45] Boiler in thermal power plant. Coal Handling Plants. https://www.coalhandlingplants.com/boiler-in-thermal-power-plant.

[46] Cyclone combustor. National Energy Technology Laboratory. https://www.netl.doe.gov/.

[47] Fluidized Bed Combustion FBC Boiler. Boilers Info. https://boilersinfo.com/fluidized-bed-combustion-fbc-boiler.

[48] Thermal conversion of biomass into secondary products – the case of gasification and pyrolyses. *The 12th European conference on Biomass and Waste,* Amsterdam, 2002.

[49] Biomass Gasification. Rauha Energy. http://ruahaenergy.com/wp-content/uploads/2016/06/energy-biomass.jpg.

[50] Medium-scale wood gasifier from Spanner Re. Spanner Re Gmbh. https://www.holz-kraft.com/en/products/hka-35-45-49.html.

[51] Compact pellet boilers. Atmos Energy Corporation. https://www.atmos.eu/en/compact-pellet-boilers.

[52] Ariterm OY. Biopolttimet. https://www.ariterm.fi/lammitysratkaisut/jarjestelmakomponentit/biopolttimet/hakejet/.

[53] Vento Bio Roto. Moderator Sp. https://moderator.com.pl/en/products.

[54] Easyfire 1. Artechpro. https://atechpro.nl/producten/easyfire-i.

[55] *Audit Procedures for Solid-Fuel-Fired Heating Plants.* MOTIVA, Ekono Energy, VTT Energy, Helsinki, 1997.

[56] Majandus- ja taristuministri määrus nr 36 30.04.2015: Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. RT I, 06.05.2015. 2. (in Estonian)

[57] Kaugkütteseadus. RT I, 03.03.2017, 12. (in Estonian)

[58] Kask, Ü. Kaugküte, mugav, tõhus ja soodne. Tallinn: EJKÜ, 2013. (in Estonian)

[59] District Heating. Veolia. https://vesr.sk/en/district-heating.

[60] Generations of district heating systems. https://en.wikipedia.org/wiki/District_heating#/media/File:Generations_of_district_heating_systems_EN.svg.

[61] Salaženkov, M. Energia kokkuhoid soojusvarustussüsteemides. https://invest-monitoring.ru/et/komplektuyuschie/centralizovannye-sistemy-teplosnabzheniya-centralnoe.html. (in Estonian)

[62] Moland District Heating. Energos Contract AS. https://energoscontract.com/portfolio_page/moland-district-heating.

[63] Illison, M. *Soojuspumpade konkurentsivõime uurimine kaugküttesüsteemis Eesti tingimustes. Magistritöö.* Tallinn: TTÜ, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut., 2019. (in Estonian)

[64] Silkeborg gets the world largest solar thermal plant. SDH. https://www.solar-district-heating.eu/silkeborg-gets-the-world-largest-solar-thermal-plant.

[65] Tian, Z., Zhang, S., Deng, J., et al. Large-scale solar district heating plants in Danish smart thermal grid: Developments and recent trends. *Energy Conversion and Management. Volume 189,* 1 June 2019.

[66] Understand and apply domestic central heating system installation and maintenance techniques – Level 2 Diploma In plumbling Foundation. BPEC. https://bpec.org.uk/wp-content/uploads/2018/10/Section-8-%E2%80%93-Y6022888.pdf/.

[67] Bioenergy Plants. Rapla Metall OÜ. https://www.raplametall.ee/bioenergy-plants/biofuel-container-boiler-houses/container-boiler-houses.

[68] Gasification boiler firestar 18-40. Herz Energietechnik GmbH. https://www.herz-energie.at/en/products/boiler-for-log-wood/herz-firestar-gasification-boiler-18-40.

[69] Pros And Cons Of Wood Pellet Boilers. Greenmatch. https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/02/pros-and-cons-of-wood-pellet-boiler.

[70] Woodchip boilers. ESPE Group. http://www.espegroup.com/en/biomass/biomass-boilers/woodchip-boilers/.

[71] Hannula, I., Hakkarainen, E. *Integrated Bioenergy Hybrids. Flexible renewable energy solution.* IEA Bioenergy, 2017.

[72] Solar Integration – Solamander Hydronic Energy Hub. Devex Systems. https://www.devexsystems.com.au

[73] Bulder ahju lühitutvustus. Avena Projekt OÜ. http://www.avena-projekt.ee. (in Estonian)

[74] Õhksoojuspump – soodne lahendus küttekulude kokkuhoiuks. Kütteseade OÜ. (in Estonian) https://kytteseade.ee/blog/ohksoojuspump-ja-kuttekulud.

[75] Wolfram, J. *Decentralised Power Generation in the Liberalised EU Energy Markets: Results from the DECENT Research Project,* Springer, 2003.

[76] *Combined Heat and Power – an effekctive and clean solution for energy production.* Helsinki: Finnish District Heating Association, Ministry of Trade and Industry and Tekes, 2004.

[77] OÜ Utilitas Tallinna Elektrijaam. Utilitas Energy Group. https://www.utilitas.ee/en/company/ou-utilitas-tallinna-elektrijaam/.

[78] Combined Cycles. Turboden S.p.a. https://www.turboden.com/solutions/.

[79] Kuressaare soojuse ja elektri koostootmisjaam. AS Kuressaare Soojus. http://www.kuressaaresoojus.ee

[80] Gussing Power Plant. Gussing Renewable Energy International. https://gussingrenewable.com

[81] The NOTAR Gasification Solution. XYLOWATT S.A. https://www.xylowatt.com.

[82] Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2012/27/EL. Euroopa Liidu Teataja, 2012. (in Estonian)

[83] Simader, G.R., Krawinkler, R., Trnka, G. *Micro CHP systems: state-of-the-art. Deliverable 8 (D8) of Green Lodges Project (EIE/04/252/S07.38608),* Austrian Energy Agency, 2006.

[84] Islas, J., Manzini, F., Mateo, O., Vargas, V. Solid Biomass to Heat and Power. *The Role of Bioenergy in the Emerging Bioeconomy,* Academic Press, 2019, pp. 145-177.

[85] Small-scale Combined Heat and Power. Climate Tecnology Centre & Network. https://www.ctc-n.org/technologies/small-scale-combined-heat-and-power, 2020.

[86] Pellematic Condens_e. ÖkoFEN Forschungs- und Entwicklungs Ges.m.b.H. https://www.oekofen.com/en-gb/pellematic-condens_e/.

[87] Technology Data. Generation of Electricity and District Heating, Copenhagen: Danish Energy Agency, 2019, p. 414.

[88] Ekogen CHP. Ekogen Oy. http://www.ekogen.fi

[89] Hot-air turbine HLT-100. Schmid Energy Solutions. https://www.schmid-energy.ch/en/hot-air-turbine.

[90] Study on a sustainable district heating system in Kaunas. Lithuanian Energy Institute. https://www.balticenergyareas.eu/regional-pilot-projects/kaunas-county

[91] Pitk, P., Raave, H., Ots, K. *Puidutuha väärindamise võimalused ja perspektiiv granuleeritud kompleksväetisena põllumajanduses ja metsanduses aruanne. KIK-i projekt nr 10053,* Tartu: EMÜ, 2016. (in Estonian)

[92] Orru, H. *Välisõhu kvaliteedi mõju inimeste tervisele – peentest osakestest tuleneva mõju hindamine kogu Eesti lõikes.* Tartu: Tartu Ülikool, 2011. (in Estonian)

[93] *Keskkonnasõbralikud piirkondlikud energiasüsteemid.* Tallinn: FEMOPET Eesti, Eesti Energeetika Instituut, Tallinn , 1998. (in Estonian)

[94] EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2001/80/EÜ, 23. oktoober 2001. Teatavate suurtest põletusseadmetest õhku eralduvate saasteainete piiramise kohta. (in Estonian)

[95] EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV (EL) 2015/2193, 25. november 2015. Keskmise võimsusega põletusseadmetest õhku eralduvate teatavate saasteainete heite piiramise kohta. (in Estonian)

[96] Keskkonnaministri 05.11.2017 määrus nr 44: *Väljaspool tööstusheite seaduse reguleerimisala olevatest põletusseadmetest väljutatavate saasteainete heite piirväärtused, saasteainete heite seirenõuded ja heite piirväärtuste järgimise kriteeriumid.* Tallinn: Riigiteataja, 2017. (in Estonian)

[97] Keskkonnaministri 28. juuni 2013. a määruse nr 48: *Suurte põletusseadmete saasteainete heite piirväärtused, nende kohaldamine mitme kütuse põletusseadme korral ja väävliärastuse astme nõuded muutmine.* Tallinn: Riigiteataja, 10.09.2018. (in Estonian)

[98] Aagard Jensen, J.-O., Jakobsen, L. *DH production based on bio fuels.* News from DBDH, 02.2005.

[99] Frederiksen, S., Werner, S. District Heating and Cooling, Lund: Studentlitteratur AB, 2013.

[100] Narbel, P.A., Hansen, J.P., Lien, J.R. Energy Technologies and Economics, London: Springer, 2014.

[101] Hohle H.E. Bioenergi: Miljø, Teknikk og Marked, Brandbu: Energigården, 2001.

[102] Soojuse paralleeltarbimise mõju kaugküttesüsteemile. TTÜ, Tallinn: 2016. (in Estonian)

[103] Kruus, R., Vares, V. Perspektiivsetest elektri ja soojuse koostootmise tehnoloogiatest Eestis, Tallinn: OPET Eesti, 2002. (in Estonian)

[104] Tõhusa koostootmise nõuded. Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus RTL 2007, 41, 696, Tallinn, 2007. (in Estonian)

[105] Koostootmisjaama kulude jagamise põhimõtted soojuse ja elektri koostootmisel. Konkurentsiamet, Tallinn: 2013. (in Estonian)

[106] Nuorkivi, A. Institutional Handbook for Combined Heat and Power with District Heating, BASREC, 2002.

[107] Elektrituruseadu., Riigi teataja, 2019. (in Estonian)

[108] Tiit, P. Adven Eesti koostootmisjaama roll Rakvere kaugküttes. *Rakvere Targa maja Teabekonverents,* Rakvere: 2014. (in Estonian)

[109] Kimme, J. Rakvere koostootmisjaama töötsükli analüüs ja optimeerimine, Tallinn: TTÜ, 2014. (in Estonian)

[110] Levald, H. Tehnoökoloogia. Tallinn: Euroülikool, 2009. (in Estonian)

[111] Wood Fuels Basic Information Pack. Jyväskylä: 2000.

[112] Kõiv, T.A., Rant, A. Hoonete küte. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2013. (in Estonian)

[113] Guidelines for Calculating Energy Generation in Combined Heat and Power Plants. Suomen Kaukolämpö ry, 1999.

[114] The Expanding Bio-energy Market in the Nordic Countries – Possibilities and Consequences. Copenhage:, 2007.

[115] Kask, Ü. *Puitkütus ja selle osakaal Eesti energiabilansis. TTÜ Magistritöö.* Tallinn: 2001. (in Estonian)

13. Priedai

13.1. Vienetai ir jų konvertavimas

13.1 lentelė. Šilumos vienetų konvertavimas

Vienetas	kJ	kcal	kWh	toe*
1 kJ	1	0.239	0.278×10^{-3}	23.88×10^{-9}
1 kcal	4.1868	1	1.163×10^{-3}	0.1×10^{-6}
1 kWh	3600	860	1	86×10^{-6}
1 toe*	41.87×10^{6}	10×10^{6}	11.63×10^{3}	1

* tonos naftos ekvivalentas

13.2 lentelė. Dažnai naudojami dešimtainiai vienetai

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
E	= exa	= 10^{18}	= 1,000,000,000,000,000,000

13.2. Kietųjų kurų kokybės, pavyzdžių paruošimo ir klasifikacijos standartai

- EN 15234-1:2011, Solid biofuels. Fuel quality assurance. Part 1: General requirements
- EN 15234-4:2012, Solid biofuels. Fuel quality assurance. Part 4: Wood chips for non-industrial use
- EN 14778:2011 / EN ISO 18135, Solid biofuels. Sampling
- EN 14780:2011 / EN ISO 14780, Solid biofuels. Sample preparation
- EN ISO 17225-1:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 1: General requirements
- EN ISO 17225-2:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 2: Graded wood pellets
- EN ISO 17225-3:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 3: Graded wood briquettes
- EN ISO 17225-3:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 4: Graded wood chips
- EN ISO 17225-5:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 5: Graded firewood
- EN ISO 17225-6:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 6: Graded non-woody pellets
- EN ISO 17225-7:2014, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 7: Graded non-woody briquettes
- ISO/TS 17225-8:2016, Solid biofuels. Fuel specifications and classes. Part 8: Graded thermally treated and densified biomass fuels

Šioje knygoje aptariama, kas yra miško kuras, kokiomis savybėmis jis pasižymi, į kokias klases ir standartuss jis skirstomas, kaip reikia jį laikyti ir paruošti deginimui, kokios yra miško kuro deginimo technologijos ir įranga ir kokį poveikį aplinkai visa tai sukelia. Atskirai aprašomi šilumos tiekimo metodai, ypatingą dėmesį skiriant kogeneracinėms ir hibridinėms jėgainėms. Paskutiniai šio leidinio skyriai yra skirti šilumos gavybos sistemų planavimui, projektavimui ir ekonominio naudingumo įvertinimui.

9 789955 887393

Interreg Baltic Sea Region

EUROPEAN UNION

EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND

Tartu Regiooni Energiaagentuur
Tartu Regional Energy Agency