Linnæus University
Björn Zethræus

04-00: Biomass energia tootmiseks – Energia muundamine

Nagu selgitatud tekstiosas 01-00-02a, muundati päikese energia fotosünteesi käigus bioenergiaks ja see salvestus energiarikastes keemilise ühendites.

Fotosünteesi käigus muunduvad lihtsamad ühendid keerulisemateks
Vesi + Süsinikdioksiid + Päikeseenergia ⇒ Energiarikas materjal + hapnik
Järgnevat (põlemist) võib käsitleda seotud energia tagasi saamisena kui fotosünteesile vastupidist protsessi:
Kütus + Hapnik ⇒ Veeaur + Süsinikdioksiid + Soojusenergia

See on muidugi üldine protsess, kuid selle protsessi tõhusaks käivitamiseks nii, et saaks kokku hoida loodusvarasid ja mitte toota liigseid heitkoguseid kogu protsessi jooksul, tuleb veel arvesse võtta mitmeid asju.

Esimene asi on see, et põlemisprotsessis vabanev soojus iseenesest ja enamus juhtudel pole soovitav. Energia muundamise eesmärk ei ole tavaliselt ainult soojade suitsugaaside tootmine, vaid kas energiakandja, nagu näiteks elektri, kaugkütte soojuse võib-olla transpordikütuse tootmine või mingit liiki tegeliku energiateenuse osutamine.

Seega on võib-olla asjakohane veelkord tutvustada mõningaid põhitermineid (EN 14588):
Biomass võib olla erineva päritoluga,
Biokütus võib olla tahke, vedel või gaasiline ja see on lihtsalt otse või kaudselt biomassist toodetud kütus,
Bioenergia on biomassist toodetud energia. Seega võib sellist energiakandjat nagu elekter, mis toodetakse biometanooli põletamisega elektrijaamas, nimetada bioelektriks.
Energiakandjad on kaubanduslikud tooted, nagu näiteks biokütus, elekter, aur, kaugküttevesi või muud sarnased tooted, mida kasutatakse energia ülekandmiseks tootjalt lõpptarbijale
Energiateenused on see, mida klient-lõpptarbija kõige rohkem vajab. Energiateenuseid võib pakkuda väga mitmel erineval viisil, nagu näiteks mehaaniline töö (s.t auto liikuma panemine või õhukompressori töö), soojusenergia (s.t soojus, mis on vajalik toiduvalmistamiseks, kliimaseadmetele ja kõrgtemperatuuridega protsessides nagu klaasisulatamine), valgus (valgustuseks või laserlõikusteks). Soovitud energiateenus seab nõuded energia kütusest energiakandjaks muundamisele ja võib lõppude lõpuks seada nõudeid kütusele kui sellisele.

Käesolevas peatükis tutvustatakse protsesside ahelat biomassist energiakandjani.

04-00-01 Protsesside lühitutvustus

Peatüki 02-00 sissejuhatus tegi selgeks, et biomass pole lõputu ressurss, vaid seda tuleb alati käidelda maksimaalse tõhususega kogu protsessi jooksul. Seetõttu on mistahes energiamuundamise protsessi lõppeesmärk toimetada lõpptarbijani tema nõuetele kõige enam vastav energiakandja, kusjuures minimaalsete kadudega kogu varustusahela ulatuses alates lähteainest (s.t biomassist) kuni energiakandjani.

Protsess, mis vabastab 100 % energiat on alati põlemine.

Põlemine on definitsiooni järgi kütuses sisalduva süsiniku ja vesiniku täielik oksüdeerumine süsinikdioksiidiks (CO_2) ja veeauruks (H_2O (g). Põlemisprotsessi ajal oksüdeeruvad rohkem või vähem ka paljud kütuselisandid ja mõned neist nagu lämmastik ja väävel, mis tekitavad kahjulikke heitmeid (NO_x ja SO_x).

Peamised soojust vabastavad reaktsioonid on need, mis kirjeldavad süsiniku oksüdeerumist süsinikdioksiidiks ja vesiniku oksüdeerumist veeauruks ja selle veeauru kondenseerumist vedelaks veeks:

$C\ (s) + O_2\ (g) \rightarrow CO_2\ (g)$	q_{reakt} = 393.5 kJ/mol at 25 °C and 101 325 Pa (*atm. rõhk*)
$C\ (s) + 1/2\ O_2\ (g) \rightarrow CO\ (g)$	q_{reakt} = 110.5 kJ/mol at 25 °C and 101 325 Pa (*atm. rõhk*)
$CO\ (g) + 1/2\ O_2\ (g) \rightarrow CO_2\ (g)$	q_{reakt} = 283.0 kJ/mol at 25 °C and 101 325 Pa (*atm. rõhk*)
$H_2\ (g) + 1/2\ O_2\ (g) \rightarrow H_2O\ (g)$	q_{reakt} = 241.8 kJ/mol at 25 °C and 101 325 Pa (*atm. rõhk*)
$H_2O\ (g) \rightarrow H_2O\ (l)$	q_{reakt} = 44.0 kJ/mol at 25 °C and 101 325 Pa (*atm. rõhk*)

Keemiaalases kirjanduses võite leida, et nende reaktsioonide entalpiad tähistatakse miinusmärgiga, mis näitab soojuse vabanemist, kuid antud kontekstis on see endastmõistetav ja need antakse positiivse märgiga. Eespool nimetatud reaktsioonide soojused põhinevad eeldusel, et kõik elemendid (süsinik, C, hapnik, O_2, ja vesinik, $H_{2\ mis}$), mis siin esinevad puhaste ainetena on grafiidi ja puhta gaasi vormid. Kuna tahkete kütuste puhul see nii pole, tuleb piirduda kütuses sisalduva tegeliku soojuse eksperimentaalsete väärtuste kasutamisega, nagu seda kirjeldatakse allpool tekstilõigus 04-00-01a.

Praktilisel eemärgil koosneb märg tahke kütus kahest suuremast komponendist, nimelt:
- vesi
- kuivaine.

Nagu järgmises osas selgitatakse, on vee koostis üks peamisi tegureid, mis määrab kütuse kvaliteedi energiasisalduse seisukohalt lähtudes.

Kütuse <u>veesisaldus</u> määratakse vastavalt standardile EN 14774, kuid seda võib väljendada kahte moodi:

• *Suhteline veesisaldus* või *suhteline niiskusesisaldus* tähendab veesisaldust, mis on määratud kuivaine hulga alusel. Seega kui teatud kogus m_{fuel} koosneb ühest kg veest m_w ja ühest kg kuivainest m_{ds} kg, on veesisaldus

$$X_W = \frac{m_w}{m_{ds}} \text{ või } X_W = 100 \cdot \frac{m_w}{m_{ds}} \ \%$$

• *Veesisaldus* või *niiskusesisaldus* on vastupidi märgaine hulga alusel määratud veesisaldus. Seega, samas näites nagu eespool antud, on veesisaldus

$$f_W = \frac{m_w}{m_{fuel}} \text{ või } f_W = 100 \cdot \frac{m_w}{m_{fuel}} \%$$

Ülalantud definitsioonide alusel on selge, et suhteline veesisaldus võib omandada väärtusi, mis ületavad 1 või ületavad 100 %, kusjuures veesisaldus seda ei ületa.

Lihtsustatud põlemise vaatenurgast võib kuivainet vaadelda koosnevana kolmest erinevast ainest:
- tuhk; see on täieliku põlemise jääk
- koks; see on pürolüüsi karbonaatne jääk
- lendained; see on kuivaine kaaluosa, mis pürolüüsis kaduma läheb.

Tuha kogus kütuses antakse tavaliselt kuivaine massiprotsendina ja see tuleks määrata vastavalt standardis EN 14775 ettenähtud meetodile.

Lendainete sisaldus määratakse tavaliselt kuivaine massiprotsendina ja seda tuleks määrata vastavalt standardile EN 15148.

Eespool viidatud standardid on need, mis kehtivad tahkete biokütuste kohta – taaskasutatavate kütuste kohta vaat. selle asemel EN 15403 ja EN 15402. Taaskasutatavate kütuste fraktsioonide kohta võib huvi pakkuda ka kogu materjalis sisalduva biomassi koostise määramine, EN 15440.

Kuna tahked kütused satuvad kuuma põlemiskeskkonda, kus on piisavalt hapnikku, toimub protsess laias laastus järgmiste astmetega:
1 kuivamine; see tähendab kütuses sisalduva niiskuse vabanemist auruna ja kujutab endast endotermilist ehk soojust tarbivat protsessi,
2 pürolüüs; see kujutab endast osalt põlevate lendainete vabanemist ja on jällegi endotermiline protsess,
3 gaasi põlemine; see tähendab lendaine põlevate komponentide põlemist; see on eksotermiline protsess, mis tähendab et toimub soojuse vabanemine,
4 söe põlemine; see on tahke jäägi lõplik ärapõlemine ning jällegi on tegemist eksotermilise protsessiga.

Need neli astet, mis kulgevad sageli osaliselt või täielikult paralleelselt, kujutavad endast kütuse täielikku põlemist.

Kõige otsustavamad parameetrid kütuse täieliku ärapõlemise kindlustamiseks on õhu ja kütuseosakeste vaheline kontakt, õhu segunemine põlevate gaasidega, viibeaeg ja temperatuur. Tähtsad pole ainult keskmised väärtused, vaid ka homogeensus selliselt, et ühesuguse suurusega osakesed ja samasugused omadused ning temperatuuri homogeensus aitavad kaasa minimaalsete heitkogustega täielikule ärapõlemisele. See tähendab, et väikestes kolletes on kütuse kvaliteedil palju suurem tähtsus kui suurtes. Palun vaadake ka allpeatükke 04-00-08c ja 04-00-10.

Mõningatel kasutusjuhtudel võib olla soovitav lahutada põlemisprotsess mitmeks astmeks. Neil juhtudel muundatakse biomass või tahke kütus enne lõplikku põlemist keemiliselt uueks kütuseks, nagu näiteks vedelkütus või gaas.
Muundamisprotsessid võivad olla termokeemilised, madalal temperatuuril toimuvad keemilised või biokeemilised protsessid.

Termokeemilisel muundamisel kasutakse tahke aine muundamiseks kõrgemaid temperatuure ja mõnel kõrgendatud rõhku. Enamus protsessides genereeritakse vajaliku temperatuurini jõudmiseks vajaminev soojus lähteaine osalise põletamise teel. Sõltuvalt tegelikust temperatuurist ja protsessi tehnoloogilisest skeemist, täpsemalt taaskasutussüsteemist, toob see osaline oksüdeerumine alates lähteainest kuni tooteni endaga kaasa energiakadusid. Ka toodetud kütuse temperatuur on protsessi temperatuur. Kui kasutatavat soojust taaskasutusse ei võeta ja protsessis ära ei kasutata, on see veel üks kadu. Siin tutvustatud termokeemilised protsessid on pürolüüs madalal temperatuuril, pürolüüs kõrgel temperatuuril ja termiline gaasistamine.

Madalatemperatuurilist keemilist muundamist kasutatakse peamiselt rasvhapetest diislikütuse asendajate (biodiislikütus) tootmiseks. Tooraineks võib olla põllumajandustootmisest ülejäänud taimeõli, rapsiõli, sojaõli ja nii edasi, kuid ka näiteks restoranides või toiduainete tootmises ülejäänud toiduõlide jäägid. Protsess kujutab endast põhiliselt rasva molekulidele alkoholi OH-gruppide lisamist ja selles kasutatakse põhiosana kemikaalide massi, nagu etanool ja metanool. Protsess kulgeb madalal temperatuuril ja täieliku muundamise tulem võib olla 100 %, nii et kaod kui sellised on väikesed.
Energia kogubilanss sõltub tugevasti alkoholi lisamisest ja tavaliselt ulatub alkoholist saadud energia umbes 10 – 20 %-ni lõpp-produktis sisalduvast energiast. Peamine kõrvaltoode on glütserool, mis vajab eraldi käitlemist.
Toote kasutamisvõimalusi on mitu ja seda saab kasutada diislikütuse asendajana, aga ka kerge kütteõli asendamiseks mistahes protsessis. Ainuke siin tutvustatav protsess on üldine fame.

Biokeemiline muundamine tähendab mikroorganismide ärakasutamist tahke materjali muundamiseks nagu näidatud tekstilõigus 03-00-03. Mikro-organismid arenevad erinevatel temperatuuridel: psührofiilsetel (-15 – 15 °C), mesofiilsetel (5 – 50 °C) ja termofiilsetel (50 – 100 °C). Peamiselt toimuvad protsessid mesofiilsetel (keskmistel) temperatuuridel umbes 30 – 45 °C juures ja energiakaod kasutatavast soojusest on piiratud. Sellegipoolest on mikroorganismide aktiivsuse põhjus siin see, et nad saavad oma energia protsessist ja see energia võetakse lähteainest. Jällegi toob muundamisprotsess kaasa energiakaod.
Siin tutvustatavad biokeemilised protsessid on käärimine ja anaeroobne lagunemine.

Kütuse muundamist kasutatakse ainult sellistel juhtudel, kui lõpliku põlemisprotsessi kasuteguri kasv on piisavalt suur, et „tasuda“ muundamisprotsessis kaotatud energia eest
<u>või</u>
juhul, kui tahket algmaterjali ei saa teatud protsessides kasutada, nii et muundamist on vaja lõpp-protsessi nõudmiste tõttu
<u>või</u>
juhul, kui muundamisprotsess annab oma panuse keskkonnaolude parandamiseks, nagu näiteks võimaluse puhastada lähteaine tegelikest ja juhuslikest lisanditest ja sellega seoses toota puhast kütust.

Tähtis on meeles pidada, et biomassist kütuseid kasutati kuni 1800-date aastate alguseni igasugustes tootmisprotsessides – teras, klaas, tsement, tellised.
Seega on kütuse muundamine vaevalt vajalik rangelt termodünaamilisest seisukohast lähtudes.

Kerge pürolüüs ehk pürolüüs madalal temperatuuril. Kuigi täielikuks pürolüüsiks on vaja temperatuure skaalal 700 – 900 °C, algab protsess juba tunduvalt madalamatel temperatuuridel, umbes 100 °C juures. Kui biomassi kuumutatakse hapnikuta ruumis temperatuurideni 300 °C ümbruses, tekib osaline pürolüüs ja materjal kuivatatakse. Pürolüüsil, sellise madala temperatuuri juures, raskemad tekkinud süsivesinikud ei aurustu täielikult, vaid jäävad kuiva jäägi sisse, mis annab materjalile mõningad hügroskoopilised omadused. Samal ajal muutub saadud materjal rabedaks, tema kütteväärtus suureneb ja tihedus väheneb. Enamus tuhast jääb saadud tahkesse materjali ja seetõttu tuhasisaldus suureneb. Mõned kütuses olevad lisandid, nagu näiteks väävel ja kloor, vabanevad koos pürolüüsi gaasiga, kusjuures teised jäävad tahkesse materjali.
Protsessi jaoks vajalik soojus on iseenesest energiakadu, kuid seda saab tagasi gaasiliste ja vedelate pürolüüsisaaduste põletamisest ning on võimalik hoida sõltuvalt lähteaine niiskusesisalduses tublisti allpool 10% algses kütuses sisalduvast koguenergiast.
Sel moel toodetud tahket kütust saab kasutada erinevates protsessides.
Veel tahke aine tahkeks muutmisest.

Pürolüüs kõrgel temperatuuril või söestamine. Mida enam tõuseb pürolüüsi temperatuur, seda suurem on protsessis vabanevate lendainete osa ja seda väiksem on tahke jäägi fraktsioon. Kõige lõpuks võib vabaneda umbes 70-80 % kuivainest pürolüüsi gaasilise produktina ja ainult umbes 20-30 % kuivkaalust jääb alles tahke söena; seega on tiheduse vähenemine märkimisväärne. Kuna selles protsessi antakse ära praktiliselt kõik süsivesinikud, pole saadud ainel hügroskoopilisi omadusi. Protsessi kõrge temperatuuri tõttu vabaneb peamine osa lenduvatest võõrainetest, nagu näiteks väävel ja kloor, mis jäävad siis pürolüüsi gaasi alles vesiniksulfiidina ja vesinikkloriidhappena.
Söe kütteväärtus, antud juhul peaaegu puhas süsinik, võib ulatuda kuni 30-35 MJ/kg aga suurem osa mineraalse tuha komponentidest on alles, Kogu pürolüüsiprotsessis kasutatud energia moodustab umbes 10-20 % lähtematerjalis sisalduvast koguenergiast - see sõltub jällegi algsest niiskusesisaldusest.

Pürolüüsi saab suunata ka vedelprodukti saamise eesmärgil, reguleerides temperatuuri umbes 500 °C juurde ja vähendades viibeaega. Lähteaine kuumutamiseks lühikese viibeaja jooksul (umbes 1 sekund), mis on vajalik maksimaalse koguse pürolüüsiõli saamiseks, tuleb materjal enne protsessi käivitamist jahvatada.
Kogu energiabilanss, kaasaarvatud pürolüüs ja tahke jääk, on samas suurusjärgus kui kõrgel temperatuuril pürolüüsimisel, s.t umbes 80-90 % protsessi sisestatud energiast jääb produktidesse alles.
Tootetud pürolüüsiõli koosneb süsivesinikest ja orgaanilistest hapetest, veest, kütuses sisalduvatest lenduvatest lisanditest ja teistest ühenditest ning vajab puhastamist ja järgnevat kvaliteedi parendamist, kui see just otsekohe põletamisele ei lähe.
Veel tahke aine vedelaks muutmisest .

Termiline vedeldamine. Kui biomassi kuumutatakse 10 baarise rõhu all keskmiste temperatuurideni – umbes 400 °C auru ja süsinikmonooksiidi juuresolekul, saadakse vedelat toodet maksimaalses koguses. Vedeltoote kvaliteeti on katalüsaatorite kasutamisega võimalik mõnevõrra reguleerida. Kuna niiviisi saab molekulaarkaalude vahemikku vedelates toodetes piirata, on produktil üldiselt tunduvalt kõrgem kvaliteet kui pürolüüsiõlil, kuigi ta sisaldab ikkagi suurel hulgal lenduvaid lisandeid.

Rõhu all töötamise nõue seab, vaatamata protsessi toimumise suhteliselt madalale temperatuurile, üldise efektiivsuse piiriks umbes 80-90 %.
Produkti saab järgnevalt rafineerida kõrge kvaliteediga kütuseks.
Veel tahke aine vedelaks muutmisest.

Termiline gaasistamine. Termilisel gaasistamisel on protsessi eesmärk muuta tahke kütus täielikult põlevaks gaasiseguks. Selle eesmärgi saavutamiseks on vaja töötlemisel kõrgeid temperatuure (vahemikus 700 – 1100°C) ja suurt osa lähteaine energiast läheb toodetud gaasi, mille põletamisel saame kasutada soojust. Lihtsaimate protsesside puhul (õhu läbipuhumisel), on suuremad energiat sisaldavad komponendid toodetud gaasis süsinikmonoksiid, vesinik ja metaan ning gaas on tugevasti lahjendatud lämmastikuga. Gaas võib olla sõltuvalt protsessi tehnoloogilisest skeemist ka tugevalt saastunud raskete süsivesinikega. Tehnoloogilised skeemid on: voolusuunaline, vastuvoolu- või segaskeem. Vastuvooluprotsesside käigus toodetud gaasil on tõrva sisaldus kõige väiksem. Keskkonna õhust hapnikukeskkonnaks või hapniku ja auru segu keskkonnaks vahetamine, pakub võimaluse muuta oluliselt põleva gaasi komponentide proportsioone. Protsessi kõrge temperatuur ja suunitlus muundada 100 % tahkest ainest gaasiks, sunnib ka suurema osa kütuse lisandeist lõpuks gaasiliseks muutuma.
Vaatamata gaasistusseadme keskkonnale, jääb kehtima tõsiasi, et suurem osa lähteaine energiast on kasutatav energia. Seega sõltub termilisel gaasistamisel kogu tõhusus tugevasti süsteemi ülesehitusest ja toodetud gaasi kasutatava soojuse taaskasutusest ja kasutusviisidest.
Gaasistusseadme keskkonna ja tehnoloogia valik on toodetud gaasi kasulikkuse seisukohast otsustava tähtsusega – otsepõletamine või järgnev keemiline süntees rafineeritud toodete saamiseks.
Veel tahke aine-gaas muundamine.

Rasvhapete metüülestreid kasutatakse peamiselt rasvhapetest diislikütuse asendajate (bio-diislikütus) saamiseks. Lähteaineks võivad olla põllumajanduses toodetud taimeõlijäägid: rapsiõli, sojaõli ja teised, aga ka taimeõlijäägid näiteks restoranidest või toiduainete tööstusest. Enne töötlemist tuleb lähteainet filtreerida ja vabastada tahketest lisanditest ning veest, sest kogumine ja käitlemine peavad tagama tootmiseks suhteliselt puhta lähteaine. Põhimõtteliselt kujutab protsess endast OH-rühmade lisamist rasvhappele ja sel moel estriteks muutumist. Seda saavutatakse töödeldes õlisid madalatel temperatuuridel alkoholi, tavaliselt etanooli või metanooli, lisamise teel ja katalüsaatori kasutamisega. Võrreldes taimsete toorõlidega, on estritel säilitamise seisukohast head omadused (nad on stabiilsemad). Saadud kütuse kvaliteet sõltub tsetaanarvu järgi mõõdetuna tugevasti toorõli ja alkoholi kombinatsioonist, kuid mõnes kombinatsioonis nagu kookosõli ja etanool, annab tavaliselt tsetaanarvu > 70. Selline kvaliteetkütus võib eeldusel, et see pole saastunud, olla diislikütuse asendajaks ilma mootoris muudatusi tegemata, samas kui teiste kütuste puhul (nagu rapsiõlist toodetud RME ja metanool tsetaanarvuga ≈ 50) võib osutuda vajalikuks mootoris muudatuste tegemine. Tähtis on ka meeles pidada seda, et lõpp-produkt vajab puhastamist kütuse rasvhapete jääkidest ja veest vabastamiseks, kuna need on väga korrosiivsed. Protsessis kasutatakse tavalisi pakendamata kemikaale, nagu etanool ja metanool, see toimub madalatel temperatuuridel ja muundumine võib toimuda peaaegu 100%-liselt. Energia kogubilanss sõltub tugevasti alkoholi lisamisest ja tavaliselt ulatub alkoholist saadud energia kuni umbes 10 – 20 % -ni lõpp-produktis sisalduvast energiast.
FAME – fatty acid methyl esters (rasvhappe metüülestreid), mis on selle kütuste rühma tavaline lühend, saab kasutada nii diislikütuse asendajatena kui ka lisaainena või kerge kütteõli asendajana mistahes protsessis.

Kääri(ta)mine. Biomassi kääritamist tavalise pärmiga piirab asjaolu, et pärmiseened suudavad kääritada ainult selliseid suhkruid, millel on 6 süsiniku aatomit (heksoosid). Sellegipoolest on paljud biomassis esinevad suhkrud pentoosid, s.t nad sisaldavad 5 süsiniku aatomit. Loodusliku pärmiga piirdub käärimine glükoosiga, kuid tärklist ja mõnda suhkru liiki saab muundada ensümaatiliselt glükoosiks ja seetõttu saab neid pidada kääritatavateks. Seega ainult mõned ained – need, milles kääritatavad suhkrud on ensüümidele ja pärmile kergesti kättesaadavad, sobivad alkoholi kääritamiseks, samal ajal enamus ei sobi. Siiski kaks peamist taime rakuseina koostisosa – tselluloos ja hemitselluloos – ehitatakse peamiselt üles kääritatavate suhkrutega. Probleem on selles, et nad on osaliselt kristallilised ja sisalduvad ligniinis ning seetõttu neid suhkruid kätte ei saa. Erinevad eeltöötlusvahendid, mille hulka kuuluvad lahustatud happed, kuum vesi või ammoniaak, võimaldavad seda struktuuri murda, dekristalliseerida tselluloosi ning muuta tselluloosis ja hemitselluloosis sisalduvate suhkrute järgnev käärimine võimalikuks. Need protsessid on ikka veel väljatöötamisel ja siiani on nende puuduseks suured kulud ja mõningad kõrvalproduktid, mis on käärimisprotsessi inhibiitorid. Käimas on ka uurimistöö, kuidas muundada mikroorganisme geneetiliselt nii, et eeltöötlemist poleks vajagi.
Käärimisprotsessi produkt on lahjendatud alkohol, mida tuleb kontsentratsiooni tõstmiseks destilleerida, selleks et saada kvaliteetset kütust.

Anaeroobne lagundamine. See on kääritamisest täiesti erinev protsess ja seda on võimalik teha suurema valiku substraatidega. Peamine eelis on see, et selles protsessis saab ära kasutada lähteainena läga ja muda/setteid, nagu näiteks reoveesetted, kiudaineid sisaldavad tööstuslikud reoveed, märg sõnnik, toidujäätmed ja muu sarnane materjal, mida energia tootmiseks mingil muul viisil kasutada ei saa. Kui pärmiseened on kääritamisel peamised tegijad, toimub lagunemine mitme järjestikuse omavahelise toime kaudu, kusjuures peamiselt bakterite abil. Lihtsustatult võib öelda, et anaeroobne lagunemine algab, kui substraat hüdrolüüsitakse lahustuvateks orgaanilisteks ühenditeks nagu rasvhapped, suhkrud ja amiinorühmad. Need ühendid lagunevad edasi alkoholideks ja äädikhappeks. Äädikhape jaguneb lõpuks kaheks: süsinikdioksiidiks ja metaaniks. Paralleelselt äädikhappe tekkega toimub ka otsene vesiniku ja süsinikdioksiidi moodustumine, mis mõlemad on osaliselt ühendatud metaaniga. Kuna seal on niisiis hulgaliselt vaheprodukte, mis tekivad lagunemisel ja kuna mikroorganismid on väga tundlikud oma elukeskkonna suhtes, on protsessi vaja hoolikalt juhtida, selleks et vältida protsessi inhibiitorite akumulatsiooni. Temperatuur, *pH*-väärtus, vesinikusisaldus jne tulevad kõik protsessi ladusaks kulgemiseks kontrolli all hoida. Protsess on ka väga tundlik lähteaine kvaliteedi muutuste suhtes.
Anaeroobse lagunemise saadus on gaaside segu, peamiselt metaani (umbes 50 – 70 %), süsinikdioksiidi (30 – 45 %), pluss vesiniksulfiid, ammoniaak, kloorvesinik ja teised lisandid. Seda gaasi saab põletada kateldes või sisepõlemismootorites rafineerimata, kuid veovahendite mootorites tuleks kasutada puhastatud biogaasi ehk biometaani. Kõige tavalisem puhastusmeetod on vahelduva rõhuga adsorptsioon või surve all märgpuhastus kus metaani sisaldus lõpp-produktis ületab 95 %.

04-00-01a Kütteväärtus

Praktiliselt võttes, koosneb tahke kütus kahest peamisest komponendist, täpsemalt:
- vesi
- kuivaine.

Kuivainet omakorda võib vaadelda kui kolmest ainest erinevast koosnevat ainet:
- tuhk. See on jääk, mis saadakse peale täielikku põlemist.
- koks (süsi). See on pürolüüsi süsinikusisaldusega jääk.
- lendained. See on pürolüüsi ajal kaotatud kuivaine hulk massiprotsendina.

Kütuse *Veesisaldus* määratakse vastavalt standardile EN 14774. *Tuha kogus kütuses* antakse tavaliselt kuivaine massiprotsendina ja tuleks määrata vastavalt standardis EN 14775 ettenähtud meetodile.
Lendainete sisaldus määratakse tavaliselt kuivaine massiprotsendina ja tuleks määrata vastavalt standardile EN 15148.

Kütuses sisalduv energia on varjatult ainult aine üksikutes osades ja väheneb vee ning anorgaaniliste ühendite juuresolekul. Kuna kogu energiasisaldus on kütuse kasutatavuse suhtes määrava tähtsusega, vaadeldakse siin kütteväärtust lähemalt.

Üldise kütteväärtuse või põlemisväärtuse määramise meetodit kirjeldatakse EL standardis EN 14918. Käesoleva standardi eesmärk on täpsustada tahke biokütuse ülemise kütteväärtuse määramise meetodit konstantse koguse ja baastemperatuuri 25 °C juures pommkalorimeetris, mis kalibreeritakse sertifitseeritud bensoehappe põletamise teel.

Saadud tulemus on analüüsitud proovi ülemine küttevääртus konstantse koguse juures, kusjuures kogu põlemisproduktides sisalduv vesi on kondenseerunud vedel vesi. Praktikas põletatakse biokütuseid konstantse (atmosfääri) rõhu all ja vesi on kondenseerumata (eraldub auruna koos suitsugaasidega) või kondenseerunult.

Igapäevaelus tähendab põlemisel eralduv soojus kütuse *alumist küttevääртust* konstantse rõhu all, mida vahel nimetataksegi otse *alumiseks küttevääртuseks või efektiivseks küttevääртuseks või neto küttevääртuseks*.

Pommkalorimeeter kujutab endast kindlat suletud anumat (pomm), mis on tervenisti uputatud hästisegatud ja teatud kogusega vette. Suure täpsuse saavutamiseks on vettsisaldav anum (ja seega ka pomm) soojuslikult hästi isoleeritud.

Mõõtmine toimub teoreetiliselt järgmiselt:
• Pommi pannakse määratud kogus kütust ja seejärel täidetakse pomm piisava koguse hapnikuga, et kütus täielikult ära põleks ning ka teatud koguse veega.
• Seejärel pomm suletakse, pannakse veevanni, siis lastakse jõuda stabiilse temperatuurini, mis on tasakaalus vee algtemperatuuriga t_i.
• Kütus süüdatakse kindla hulga energiat $q_{ign.}$ lisamisega.
• Kui kütus suletud anumas põleb, tõuseb temperatuur anumas ja ümbritsevas vees järk-järgult kõrgemale ning näidud registreeritakse.
• Kui temperatuur stabiliseerub lõpp-temperatuuri t_f juures, pannakse see temperatuur kirja ja temperatuuri muutust kasutatakse siis süsteemi kogu kasutatava energia muutuse hindamiseks. Tuleb silmas pidada seda, et temperatuurivahemikuks [t_i , t_f] jääb mõõtmise ajal 25 °C ja et see poleks liiga väike.

Peale süütamisenergia ja muude teadaolevate lisade mahaarvamist, kujutab saadud energiahulk proovi konstantse koguse juures ülemist küttevääртust. See suurus arvutatakse siis ümber nii, et lõpuks kujutab see tehtud tööd: nimelt proovi alumist küttevääртust konstantse rõhu all. Kalorimeeter kalibreeritakse enne iga mõõtmist, selleks et mõõteseadet justeerida.

Bruto küttevääртus või *ülemine küttevääртus* ei sisalda ainult põlevast ainest vabanenud keemilist energiat, vaid ka soojust, mis vabaneb veeauru kondenseerumisel pärast põlemist, s.t reaktsioonis $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$ 44,01 kJ/mol.

Põlemisgaasides sisalduva vee kogus kokku määratakse proovi niiskuse ja põlevas aines sisalduva vesiniku põlemisel tekkinud vee koguse järgi ning tulemust mõjutab ka väävli ja mõne muu elemendi sisaldus kütuses. Seega ümberarvutamiseks on vaja teada põlevaine lõplikku analüüsi. Vastavad standardid on EN 15104 ja EN 15289.

Neto küttevääртus q_{net} või *alumine küttevääртus* konstantse rõhu all on igapäevaelus kasutamiseks kõige asjakohasem. See suurus kujutab endast kogu energiat, mis võib vabaneda kütusest, kui kütus on täielikult ära põlenud ja kui põlemisproduktid, suitsugaasid koos veeauruga väljuvad koldest gaasilisel kujul. Kuna seetõttu ei sisalda alumine küttevääртus veeauru kondenseerumissoojust, jääb väärtus väiksemaks kui ülemine küttevääртus.

Tavaliselt pole laboratoorne alumise kütteväärtuse määramine alati representatiivne tegelikult saadud kütuse jaoks ja see väärtus tuleb ümber arvestada, selleks et näidata jõujaama tegelikku kütust. Sel juhul rakendatav Euroopa standard on EN 15296.

Nagu näha allpeatükis 03-00-02c, on alumine kütteväärtus kuiva tuhavaba biomassi puhul suurusjärgus 10–25 MJ/kg. Kui laboris tehtud kütuseproovi analüüsist on teada alumine kütteväärtus $q°_{NET}$ on (MJ/kg) konkreetse kütuseproovi jaoks, mille niiskusesisaldus on $f°_W$ ja tuhasisaldus $f°_{ASH}$ väljendatuna vastavalt märgaine massiprotsendina ($f°_W$) ja kuivaine massiprotsendina ($f°_{ASH}$), saab baasväärtuse $q_{NET,DAF}$ välja arvutada

$$q_{NET,DAF} = \frac{q^{O}_{NET} + 2.443 \cdot f^{O}_{W}}{\left(1 - f^{O}_{W}\right) \cdot \left(1 - f^{O}_{ASH}\right)} \text{ MJ/kg}_{DAF.}$$

Soovituslike väärtuste kohta vaadake palun tabelit 03-00, 1 käesoleva käsiraamatu allpeatükis 03-00-02c .

Kuni kohaletoimetatud kütust saab pidada samast kuivast ja tuhata ainest koosnevaks, s.t kuni kütuse lähteaine on pärit samadest bioloogilistest fraktsioonidest, saab alumist kütteväärtust mistahes niiskuse f_W või tuhasuse f_{ASH} juures, mida jälle väljendatakse märgaine massiprotsendina (f_W) või kuivaine massiprotsendina (f_{ASH}) (nagu neid tavaliselt mõõdetakse), välja arvutada baasväärtuse põhjal:

$$q_{NET} = q_{NET,DAF} \cdot \left(1 - f_W\right) \cdot \left(1 - f_{ASH}\right) - 2.443 \cdot f_W \text{ MJ/kg}$$

Sisestage labori protokolli andmed:

Saadud kütuse al. kütteväärtus (q^{o}_{NET}), MJ/kg: [ ]

Saadud kütuse veesisaldus, massi %: [ ]

Tuhasisaldus, kuivmassi %: [ ]

Kütte baasväärtus ($q_{NET,DAF}$), MJ/kg

Näide:

Oletame, et labori protokollis on kütuseproovi niiskusesisaldus (märgmass) 31.6 % ja tuhasisaldus (kuivmass) 4.3 %. Laboratooriumi saabunud proovi alumine kütteväärtus (s.t 31.6 % vett, 4.3 % tuhka) oli 12,47 MJ/kg.

Nende väärtustega saab nüüd välja arvutada selle biomassi baasväärtuse:

$$q_{NET,DAF} = \frac{q^{O}_{NET} + 2.443 \cdot f^{O}_{W}}{\left(1 - f^{O}_{W}\right) \cdot \left(1 - f^{O}_{ASH}\right)} = \frac{12.47 + 2.443 \cdot 0.316}{\left(1 - 0.316\right) \cdot \left(1 - 0.043\right)} \approx 20.23 \text{ MJ/kg}_{DAF}$$

Samast biomassist (s.t samast bioloogilisest liigist) tulevate saadetiste puhul on siis vaja kütteväärtuse arvutamiseks teada üksnes vee- ja tuhasisaldust.

Eeldame, et ülalnimetatud biomassi üks saadetis, mille $q_{NET,DAF}$=20.23 MJ/kg, tuhasisaldus (kuivmass) on 6.35 % ja veesisaldus 48.72 %.
Alumine küttevääртus selle saadetise korral on siis (MJ/kg tegelikult saadud kütus):

$$q_{NET} = q_{NET,DAF} \cdot (1 - f_W) \cdot (1 - f_{ASH}) - 2.443 \cdot f_W =$$
$$= 20.23 \cdot (1 - 0.4872) \cdot (1 - 0.0635) - 2.443 \cdot 0.4872 \approx$$
$$\approx 8.52 \text{ MJ/kg}$$

Jäätmete puhul on asi keerulisem, sest nad koosnevad erinevatest materjalidest ning ei saa eeldada, et nad on samasuguste omadustega kuiv ja tuhavaba aine. Seda vaadeldakse täpsemalt peatükis 04-04.

04-00-02 Tahke biomass ⇒ Tahke biokütus ⇒ Energia

Fotosünteesi teel moodustunud biomass on tahke. Seetõttu on kõige tõenäolisem biomassis oleva varjatud energia ärakasutamise viis otsesed põletusprotsessid. See on ka kõige lühem tee, millel on suurim potentsiaal vältida kadusid ja tõsta maksimaalselt efektiivsust. Biomassi eeltöötlemine biokütuse saamiseks on ka kõige lihtsam võimalus. Paljudel juhtudel hõlmab see vabas õhus kuivatamist (lõik 03-00-02c) ja peenestamist (03-00-02d).

Otsesel põletamisel vabaneb energia põlemisproduktidena või heitgaasidena ja selle soojuse ärakasutamisel tähendab soojusülekannet kuumadelt gaasidelt soovitud tootele.

Kõrge temperatuuridega tööstuslike protsesside korral, nagu näiteks klaasi puhumine, terase sulatamine, tsemendi tootmine ja muu sarnane, võivad lisandid või keemilised ühendid heitgaasides avaldada kahjulikku mõju kütuse kvaliteedile. Sellistel juhtudel tuleb olla ettevaatlik ja kaitsta toodet gaaside eest ning põletusseadmete tasuvuse saavutamine võib osutuda liiga keeruliseks. Kuid mõnel juhul pole see suur probleem ja tsemendi põletusahjudes ning klinkerahjudes kasutatakse põletamiseks täiendava kütusena sageli sorteeritud jäätmeid. Neil juhtudel peab kütus olema piisavalt kuiv, et soovitud temperatuurini jõuda. Ajaloos on eriti kõrgete temperatuurideni jõudmine olnud paljunõudev ettevõtmine.

Tehnoloogilise auru tootmise jaoks, nii keemiatööstuses kui ka elektritootmisel, on lisandid vähema tähtsusega, kui heitgaasid ei sisalda liiga palju korrosiivseid kemikaale. Varem kasutamata biomassi puhul pole see tavaliselt probleem, kuid erinevad sorteeritud ja puhtad jäätmed võivad osutuda problemaatiliseks. Jäätmefraktsioonide põletamisel tuleb ülekuumendite jaoks valida materjal hoolikalt, silmas pidades kütuse koostist. Auru tootmiseks vajalikud temperatuurid jäävad tavaliselt palju all 700 °C ja nõuded, et kütus oleks kuiv, pole seega otsustava tähtsusega.

Ruumide kütteks kuuma vee tootmiseks, nii üheperemajades kui ka kaugkütte rakenduste korral, on temperatuuri piirangud isegi väiksemad ja sama kehtib ka kütuse lisandite kohta.

Biomass	Eeltöötlus	Biokütus	Lõpp-protsess/-kasutus
Puidu biomass *raiejäätmed* *oksaraod, jne.*	Peenestamine & kuivatamine	Puuhalud suured tükid hakkpuit	Otsepõletamine: Soojuse tootmine auru saamine
Puidujäätmed *saepuru* *laastud jne.*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine & pressimine	Puitbrikett, puitpelletid *hea kvaliteet*	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Puidujäätmed *saepuru* *laastud jne.*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine & pressimine	Puitbrikett, puitpelletid *halb kvaliteet*	Jahvatamine & pulberkütuse põletamine: Soojuse või auru tootmine, võibolla koospõletamine
Põllujäätmed, *kaasarvatud* *energiakultuurid*	Peenestamine, kuivatamine	Hake ja kiud	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Põllujäätmed, *kaasarvatud* *energiakultuurid*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine, sideainega segamine (ligniin?) & pressimine	Põllumaj.briketid Põllumaj. pelletid *hea kvaliteet*	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Põllujäätmed, *kaasarvatud* *energiakultuurid*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine, & pressimine	Põllumaj.briketid Põllumaj. pelletid *hea kvaliteet*	Jahvatamine & kütuse pulberpõletamine: Soojuse või auru tootmine, võibolla koospõletamine
Tahked olmejäätmed, *ainult puhas fraktsioon*	Peenestamine	Hake ja kiud	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Tahked olmejäätmed, *ainult puhas fraktsioon*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine, sideainega segamine (ligniin?) & pressimine	MSW-briketid MSW-pelletid *hea kvaliteet*	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Tahked olmejäätmed, *ainult puhas fraktsioon*	Peenestamine, kuivatamine, jahvatamine, & pressimine	MSW-briquettes MSW-pellets *halb kvaliteet*	Jahvatamine & pulberkütuse põletamine: Soojuse või auru tootmine, võibolla koospõletamine

Tööstus- & olmejäätmed, *lammutuspuit jne*	Peenestamine	Suured tükid ja hakkpuit	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Mitmesugust	Söepõletamine ehk kerge pürolüüs	Süsi	Jahvatamine & kütuse pulberpõletamine: Soojuse või auru tootmine, võibolla koospõletamine

Tabel 04-00 1: Tavalised tahke biomassi muundamisteed ⇒ tahke kütus ⇒ energia

Üheteistkümnest tabelis loetletud tootmisahelast on neljas tegemist peenestatud kütuse põletamisega, millele eelneb tahke kütuse jahvatamine, kusjuures ülejäänud seitset peetakse kõige paremini sobivateks muutmatul kujul kütuse otsepõletamiseks.

Mehaaniliselt purunemiskindlad pelletid või briketid, s.t. hea kvaliteediga tooted, sobivad hästi kasutamiseks ühepere majades, mille omadusi on kirjeldatud allpeatükis 04-00-08. Pelletite ja briketi kvaliteedinormid on vastavalt EN 15210-1 ja 15210-2, kuid ka EN 14961-1 kuni 14961-3 võivad mõnel juhul osutuda asjakohaseks.

Puidujäätmete, hakke, tükeldatud materjali ja puru ning laastude kasutamisel ei tohiks mastaap olla liiga väike, kui selle all ei kannata põlemisprotsess ja keskkonnamõju ning kaugküte võiks olla kõige sobivam (lõigus 04-00-08e). Asjakohased põlemisprotsessi ja keskkonnamõju reguleerivad standardid on EN14961-4 ja -5. Küttepuid ja puidujäätmeid võib ühepereelamutes samuti kasutada ja nende kasutamise kohta saate lugeda tekstilõikudes 04-00-08a kuni 04-00-08d.

Kütuse pulberpõletamist toimub tavaliselt suurtes kivisöel töötavates jaamades ning tahket biokütust, mida on võimalik jahvatada, nagu näiteks kergestimurenevad pelletid ja brikett, saab hästi põletada sellistes seadmetes täiendava kütusena. Seda kirjeldatakse tekstilõigus 04-00-08m.

04-00-03 Tahke biomass ⇒ Vedel biokütus ⇒ Energia

Mõnel juhul võib osutuda vajalikuks tahket biokütust mitte kasutada, vaid seda muundada. Üks majandusharu, kus muundatud kütust vaja on, on transpordisektor. Peamine põhjus on see, et juba väljakujunenud infrastruktuur transpordisektoris on üles ehitatud suure energiatihedusega vedelkütuste kasutamisele, s.t. bensiinile ja diislikütusele. Suure energiatihedusega vedelkütuseid on kasulik kasutada ka paljudes töötleva tööstuse valdkondades, sest neid on lihtne käidelda ja nende efektiivsus on märkimisväärne.

Seega võib tahke kütuse muundamiseks olla erinevaid põhjuseid; eelkõige kokkuhoid käitlemisel või protsessi ökonoomsus ja tõhusus. Kolmas aspekt on keskkonnaalases tegevuses saavutatud tulemuslikkuse potentsiaalne kasv: Kütuse muundamine võib mõnikord hõlmata ka kütuse lisandite eemaldamist. Niisiis saab saastatud lähteaine muuta puhtaks kütuseks ehk põlemistingimusi saab parandada nii, et heitkoguste hulk lõpp-põlemisel, kus kütust tegelikult kasutatakse, väheneb oluliselt.

Vedeldamise protsessi lõplik eesmärk on säilitada lähteaines kogu energia, kuid muundada energiakandja täielikult vedelikuks. Sõltuvalt protsessi temperatuurist võib kogu energiasisaldus vedeldatud tootes olla osaliselt kasutatav soojus ja osaliselt keemiliselt seotud energia.

Kuna igasuguse muundamisega kaasnevad energiakaod, on tähtis see, et nende kadude eest on „tasutud“, kas kokkuhoiuga käitlemisel, keskkonnaalase tulemuslikkusega või kütuse lõpp-tarbimise tõhususe kasvuga.

Kütuse muundamiseks vajalik energiasisend peaks niipalju olema kui võimalik tarnitud jäätmetest toodetud kütuse baasil. Kuid vahel, nagu näiteks termilise vedeldamise korral , on vaja, et kütus oleks peenestatud väikesteks osakesteks ja see protsess peab toimuma rõhu all. Sel juhul tuleb kaasata energiat, tavaliselt elektrit, väljapoolt ja see mõjutab vastavalt kogu energiabilanssi.

Biokeemilised protsessid, nagu näiteks kääritamine ja lagunemine, mis toimuvad madalatel temperatuuridel, võivad kokku anda parema energiabilansi kui termilised protsessid, kuid sellejuures on kaod vältimatud. Biokeemilistes protsessides ei tohi lähteaine olla liiga kuiv, kuid praegu tehtav teadustöö on suunatud veesisalduse nõuete vähendamisele. Neid protsesse on siin nimetatud, kuid täpsemalt käsitletakse neid allpeatükkides 04-00-06 ja -07.

Selleks et tegelikult *parandada* kütuse omadusi, on tähtis meeles pidada, et muundamisprotsess peab sisaldama ühe või enama komponendi lahutamist. Niiske, tahke ja saastatud materjali pürolüüs, millele järgneb märja õli ja söe põletamine ei suurenda iseenesest põlemistemperatuuri ega vähenda heitkoguseid.
Ainult siis, kui vesi on õlist välja võetud, põlemistemperatuur tõuseb, kuid siis jõuab protsessis järgmisesse staadiumisse ja vajalik on lisaenergia kaasamine väljapoolt.
Sama kehtib ka kütuselisandite suhtes: ainult sel juhul, kui kütus on lisanditest puhastatud, keskkonnamõju väheneb ja selleks on vaja energia kaasamist väljapoolt.

Seetõttu ei tohi kütuse muundamist segamini ajada kütuse kvaliteedi parendamisega, sest omaduste parandamine võib, kuid ei pruugi olla muundamisprotsessi osa.

Biomass	Eeltöötlemine	Biokütus	Lõpp-protsess/-kasutamine
Puidust biomass, põllukultuuride jäägid või tahked olmejäätmed, mis on põletamiseks liiga märjad	Peenestamine ja kuivatamine, millele järgneb autotermiline pürolüüs või vedeldamine *veeauru gaasist eemaldamine*	Pürolüüsi gaas, õli ja tõrv puusüsi	Otsepõletamine: Soojuse tootmine Auru tekkimine
Suhkrusisaldusega põllumajandustoodete või neid tooteid töötleva tööstuse jäägid, *kaasaarvatud energiakultuurid*	Peenestamine, millele järgneb kääritamine või destilleerimine	Bioetanool	Transpordikütus: bensiini lisaaine või otsepõletamine
Tselluloosisisaldusega põllumajanduse või metsanduse jäägid, *kaasaarvatud mõned jäätmeliigid*	Tselluloosi ensümaatiline lagunemine happelises keskkonnas, millele järgneb kääritamine /destilleerimine	Bio-etanool	Transpordikütus: bensiini lisaaine või otsepõletamine
Õli sisaldavad põllumajandustoodete või neid tooteid töötleva tööstuse jäägid, *kaasaarvatud energiakultuurid*	Külmpressimine, millele järgneb esterdamine	Bioõli või biodiisel	Transpordikütus: Diisli asendaja või otsepõletamine
Mitmesugust	Termiline gaasistamine sünteetilise gaasi kvaliteedi parandamiseks, *gaasi puhastamine katalüüsi mürkidest* , millele järgneb keemiline süntees	Biometanool, biodiisel, bio-DME kütus jne.	Transpordikütus: Diisli asendaja Bensiini lisaaine või asendaja või otsepõletamine kerge kütteõli asendajana

Tabel 04-00 2: Tahke biomassi muundamisteed ⇒ vedel biokütus ⇒ energia

Nagu tabelist näha , on toodetud vedelkütuse peamine turg transpordisektor, mille põhialternatiiv on otsepõletamine. Pürolüüsõli kasutamisel tööstuses fossiilse nafta aseainena on pürolüüsõli kvaliteet otsustava tähtsusega. Tohtimata sisaldada korrosiivseid komponente ega olla keskkonnaohtlik ja samal ajal piisavalt stabiilne, et täita säilitamise ja käitlemise nõudeid, tuleb pürolüüsõli kvaliteeti enne tarnimist tavaliselt palju parandada.

04-00-04 Tahke biomass ⇒ Gaasiline biokütus ⇒ Energia

Termiline gaasistamine on üks keerulisemaid muundamismeetodeid, kuid see on ka üks neist, mis avab enamuse olemasolevatest võimalustest järgneva töötlemise jaoks.

Gaasistamise lõppeesmärk on säilitada kogu tooraines sisalduv energia, kuid muuta energiakandja täielikult gaasiliseks. Kogu toodetud gaasis sisalduv energia on osaliselt kasulik kõrge temperatuuri tõttu ja osaliselt seetõttu, et see on keemiliselt seotud energia. Selleni jõudmiseks peavad tahkest ainest vabanema kõik lendained ja tahke süsi tuleb gaasistada.

Protsessi käigus toimub hulgaliselt endotermilisi (energiat nõudvaid) keemilisi reaktsioone, nagu näiteks kuivatamine, pürolüüs ja süsinikmonooksiidist ning veest metaani moodustumine ja nende energiat nõudvate reaktsioonide toimumiseks on vajalik energiaga varustamine väljapoolt. Selle saavutamiseks ja kogu protsessi autotermiliseks muutmiseks (s.t. soovitud temperatuuri saavutamiseks pole vaja välist energiat), tuleb osa kütusest põletada. Selleks, et vähendada selles osalises põlemises kütuse kadu võimalikult palju, peab sisendmaterjal olema piisavalt kuiv, tavaliselt väiksema niiskusesisaldusega kui 20 %.

Tahke biomassi termilise gaasistamise eeliseid on neli:
• Kuna temperatuurid on gaasistamisel madalamad kui otsese põletamise ajal, tekitavad sisendmaterjalid, mille tuha sulamispunkt on töötamisel madal vähem probleeme. Siia alla kuulub hulgaliselt rohtseid sisendmaterjale ja jäätmeliike. Seega võivad protsessis olla sisendmaterjali omadused vähemtähtsad kui otsesel põletamisel.
• Gaasistamisel toodetud gaasilise kütuse erimaht (m^3/kg_{feed}) on palju väiksem kui otsepõletamisel tekkinud heitgaasi kogumaht (m^3/kg_{feed}). See võib aidata kaasa ökonoomsele gaasilise kütuse lisanditest puhastamisele enne gaasi lõplikku põletamist. Siiski on tavaliselt enne gaasi puhastamist vaja gaas jahutada ja see toob endaga kaasa gaasis sisalduva kasutatava energia kaod.
• Toodetud gaasi kvaliteet võib jääda väga laiadesse piiridesse: alates kõige lihtsamatest gaasistusseadmetest, milles toodetakse märga lämmastikku ja tõrva sisaldavat gaasi, mis sobib peamiselt otsepõletamiseks, kuni kõrgetasemeliste gaasistamisprotsessideni sünteetilise gaasi tootmisel, millele järgneb selle keemiline töötlemine arvukateks toodeteks. Jõujaamas kütuse muutmiseks vajadustele vastavaks võib piisav olla lihtsa gaasistusseadme kasutamine, mis on otseühenduses gaasiküttel aurukatlaga. Samas võib kvaliteetse sünteesgaasi tootmisprotsess ühendatuna Fischer-Tropsch reaktoriga olla näiteks baasiks bio-DME kütuse tootmise tehasele. Lõpp-produkti piiriks ei saa olla kütus, vaid see protsessi kontseptsioon võib keskne olla niinimetatud biokütuste rafineerimistehase loomisel, mis võib anda mistahes hulgal ja sortimendis tooteid.

• Elektri- ja küttejaamas energiatootmise protsessiga seotult võib parandada üldist kasutegurit, mis arvutatakse biomassist sisendmaterjalis kuni võrkuantud elektris sisalduva kasutatava energia alusel. Selle variandi puhul on majandusliku otstarbekuse tagamiseks vaja suurt jõujaama.

Puudused on peamiselt seotud majandusliku küljega – gaasistusseadme investeeringud ja käituskulud ei asenda jõujaama investeeringuid ja käituskulusid, vaid moodustavad neile lisa. Teine puudus on kaod ja tõsiasi on see, et kaod kipuvad olema pöördvõrdelised mastaabiga. Seega selleks, et hoida kaod väikesed, peavad mastaabid olema suured.

Selleks, et tegelikult *parandada* kütuse omadusi, on tähtis meeles pidada, et muundumisprotsess jooksul peab toimuma ühe või mitme komponendi eraldamine. Niiske, tahke ja saastunud materjali gaasistamine, millele järgneb gaasi põletamine ei tõsta *iseenesest* põlemistemperatuuri ega vähenda heitkoguseid.
Ainult siis, kui veeaur kuumast gaasist eemaldatakse, hakkab põlemistemperatuur tõusma , kuid siis tähendab see jahutamist ja sel juhul on vaja, et kasutatav energia ja kondensatsioonienergia võetakse taaskasutusse.
Sama puudutab ka kütuse lisandeid: ainult siis, kui lisandid eemaldatakse väheneb üldine keskkonnamõju, kuid see võib tähendada välise elektriallika kaasamist.

Seetõttu ei ole õige pidada gaasistamist kütuse kvaliteediparendamise vahendiks: omaduste paranemine võib, kuid ei pea olema muundusprotsessi osa.

Biomass	Eeltöötlemine	Biokütus	Lõpp-protsess/-kasutamine
Mitmesugune, piisavalt kuivad autotermiliseks töötlemiseks	Autotermiline gaasistamine	Toodetud gaas: Õhuga gaasistatud: *Madala küttevääртusega gaas* Hapnikuga gaasistatud: *Keskmise-kõrge küttevääртusega gaas* Hapniku – ja-auruga: *Sünteesgaas*	Madala küttevääртusega gaas: Otsepõletamine Keskmise küttevääртusega gaas: Otsepõletamine Sünteesgaas: Keemiline süntees metaaniks, - DME kütuseks, vesinikuks ...

Tabel 04-00 3: Tahke biomassi muundamisteed ⇒ gaasiline biokütus ⇒ energia

04-00-05 Vedel biomass ⇒ Vedel biokütus ⇒ Energia

Fotosünteesi põhitulem on tahke biomass. Kuid mõned taime osad nagu seemned ja pähklid võivad sisalda äärmiselt suure energiasisaldusega õlisid, mida saab või võib kätte saada ja kasutada. Näited selle kohta on päevalilleseemned, linaseemned, oliivid ja hulgaliselt teisi kasulikke põllukultuure. Need õlid on ka toiduvalmistamiseks laialdaselt kasutusel ja seega on vedela biomassi allikateks mitte üksnes põllumajandussaadusi töötlev tööstus, vaid ka restoranid ning mõningal määral ka majapidamised.

Kuigi neid õlisid saab kasutada kütusena ilma igasuguse ettevalmistuseta, on nad teadupäraselt ebastabiilsed ja sisaldavad ka ühendeid, mis oksüdeeruvad kergesti ja on korrosiivsed. Selleks, et neid produkte saaks praktiliselt kasutada energia tootmiseks, tuleb nad stabiliseerida, nii et neid oleks võimalik säilitada pikema aja jooksul ilma, et nende omadused oluliselt muutuks. See puudutab tavaliselt lähteaines leiduvate rasvhapete segu muundumist estrite seguks. Seda protsessi tutvustati allpeatükis 04-00-01. Sõltuvalt toorainest saab sel viisil toodetud kütust turustada ja kasutada transpordisektoris diiselõli asendajana ning ka kerge kütteõli asendamiseks enamuses tööstusprotsessides. Töötlemine tähendab alkoholi lisamist ja see seab piirangud protsessi üldisele energia kokkuhoiule.

Biomass	Eeltöötlemine	Biokütus	Lõpp-protsess/-kasutamine
Põllumajandusest või tööstusest pärit taimeõlid, vedelad õlijäätmed nagu toiduõli ja muu sarnane	Filtreerimine, vee eraldamine, mille järgneb esterdamine	Rasvhapete metüülestrid (*FAME*)	Transpordi kütus: Diisli ase- või lisaaine või otsepõletamine kerge kütteõli aseainena

Tabel 04-00 4: kerge kütteõli aseainena ⇒ vedel biokütus ⇒ energia

Antud juhul on muundamise eesmärk tegelikult *parandada* kütuse säilimisomadusi ja toota kütust, mis on ühesugusemate omadustega kui selle tooraine. Kvaliteedi parandamiseks on vajalik ettevalmistus, selleks vee ja lisandite eemaldamiseks välise energia lisamiseks alkoholi näol.

04-00-06 Biomassi jääkmuda ⇒ vedel biokütus ⇒ energia

Juba allpeatükis 01-00-03 näidati, et lähteaine valik biomassil töötava energiasüsteemi jaoks peab põhinema hoolikalt läbimõeldud keskkonnaalastel ja jätkusuutlikust tagavatel otsustel. Selles peatükis arutletakse järgmiste probleemide üle:
• Kas biomassi kasutamine kütuseks on ohuks selle kaubanduslikule kasutamisele teistel eesmärkidel?
• Kas biomassi kasutamine kütuseks on ohuks toiduainetega varustamisele?
• Kas biomassi kasutamine kütuseks on ohuks bioloogilisele mitmekesisusele?
• Kas biomassi kasutamine kütuseks suurendab heitkoguste hulka atmosfääris?

Jääkmuda, s.t vees hõljuvate üle 90 %veesisaldusega biomassijäätmete, konkurentsivõimeline kasutamine on piiratud ja mudast väetisena kasutatavate toitainete ringlusse võtmist saab lihtsamaks muuta.

Jääkmuda tekib paljude tehnoloogiliste protsesside jäägina, kiudaineterikas jääkmuda tselluloosi- ja paberitööstusest on üks näide, teine on suure suhkrusisaldusega vedeljääk suhkrutööstusest ja ka munitsipaaltasemel tekkivad reoveesetted on selged näited selle kohta.

Vett sisaldavat muda saab hästi muundada biokeemiliselt, kuna veesisaldus on nii suur, et küttevääртus (vaat. tekstilõik 04-00-01a) on negatiivne ja tuhasisaldus kuivaine massiprotsendina sageli väga kõrge. Seetõttu ei saa seda ilma kuivatamiseta kasutada (vaat. tekstilõik 03-00-02c) üheski termokeemilises protsessis.

Diisli aseaine, s.t. suure molekulaarkaaliga õlide või estrite segu, tootmine on keeruline protsess, mille üks osa on keemiline süntees ja kõige tavalisemad protsessid on selle asemel suunatud alkoholi tootmisele kääritamise teel.

Eeldusel, et lähteaine puhtust ja kvaliteeti kontrollitakse hoolikalt, saab loputusvedelikku väetisena või söödaks (kuid see nõuab äärmiselt põhjalikku kvaliteedikontrolli) kasutada.

Biomass	**Eeltöötlemine**	**Biokütus**	**Lõpp-protsess/-kasutamine**
Tselluloosisisaldusega vedeljäägid põllumajandusest ja metsandusest, *kaasaarvatu mõned jäätmeliigid*	Ensümaatiline tselluloosi lagundamine, millele järgneb anaeroobne lagunemine ja gaasi puhastamine	Bio-metaan	Otsepõletamine: Soojuse tootmine Auru saamine
Suhrurikas jääkmuda, peamiselt põllumaj. -tööstusest	Kääritamine, destilleerimine	Bio-alkohol	Transpordi kütus: Bensiini lisaaine või otse põletamine

Tabel 04-00 5: Biomassi vedeljäägi muundamisteed ⇒ vedel biokütus ⇒ energia

04-00-07 Biomassi vedeljääk ⇒ gaasiline biokütus ⇒ energia

Kui kääritamine (vaat. allpeatükid 04-00-01 ja 04-00-06) piirdub sellise vedeljäägiga, milles on kääriva suhkru sisaldus piisavalt suur, saab anaeroobset käärimist kasutada suurema hulga substraatidega. Kuid ligniin, tselluloos ja rasvhapped lagunevad kõik raskustega ja mõne vedeljäägi lagundamiseks on soovitav eeltöötlemine, mis tähendab ligniini/tselluloosi lagundamist, või rasvhapete termilist lagundamist (umbes 70-80 ^{o}C juures).

Biomass	Eeltöötlemine	Biokütus	Lõpp-protsess/-kasutamine
Ligniinivaene biomass, vedeljäägid põllumajandusest ja tööstusest ja jääkmudad, kaasaarvatud reovete setted ja sõnnik	Suurte tahkete aineosade peenestamine, millele järgneb anaeroobne lagundamine	Töötlemata biogaas	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine
Ligniinivaene biomass, vedeljäägid põllumajandusest ja tööstusest ja jääkmudad, kaasaarvatud reovete setted ja sõnnik	Peenestamine, millele järgneb anaeroobne lagundamine ja gaasi puhastamine	Biometaan	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine Transpordikütus
Tselluloosi sisaldavad vedeljäägid põllumajandusest ja töötlevast tööstusest , *kaasaarvatud mõned jäätmeliigid*	Ensümaatiline/happeline tselluloosi lagundamine, anaeroobne lagundamine, gaasi puhastamine	Biometaan	Otsepõletamine: Soojuse tootmine, auru saamine Transportkütus

Tabel 04-00 6: Vedela biomassi muundamisteed ⇒ vedel biokütus ⇒ energia

Metaanitankide kogutoodang sõltub tugevasti tooraine kvaliteedist, temperatuurist, pH-väärtusest ja viibeajast.

Anaeroobset lagunemist saab kasutada erinevas mastaabis, alates väikestest kompostilavadest üksikus farmis kuni suurte paigaldistena veepuhastusjaamade juure.

04-00-08 Otsepõletamisega protsessid

Biomass on piiratud ressurss (vaat, sissejuhatust peatükile 02-00) ja biomassi igasugune kasutamine energia tootmiseks püüab teha seda tehnoloogia abil, mis tagab süsteemi suurima tõhususe. See ei tähenda tingimata kõige kaasaaegsema tehnoloogia kasutamist, sest mõnel juhul on soovitav bioenergiat kasutama hakata rakendades madalama taseme tehnoloogilisi lahendusi, nii et protsess laabuma hakkaks ja peatada kõrgtehnoloogia kasutusele võtmine seniks, kui põhikontseptsioon on kindlalt paigas. See võib näiteks tähendada gaasi-, koksi- või õliküttega katelde asendamist pelleteid põletavate ahjude või kateldega; siia hulka võib kuuluda algeliste aneroobsete kompostilavade ehitamine, et toota väikeses talumajapidamises toiduvalmistamiseks gaasi jms.

Lihtsaimad protsessid vajavad sageli ainult tahke kütuse otsepõletamist sooja saamiseks, kraanivee soojendamiseks ja lõpuks elektri tootmiseks. Vaatleme nüüd neid protsesse alates ühepereelamust kuni suurte kaugküttevõrkudeni.

04-00-08a: Ühepereelamud

Energia tootmist majade grupile saab planeerida kahe täiesti erineva strateegia alusel:
• Kütuse müük koos detsentraliseeritud (s.t. individuaalse) energia tootmisega.
• Tsentraliseeritud energia tootmine koos selle müügiga.

Esimese variandi puhul peab eramaja olema varustatud oma katla või ahjuga ja see tähendab, et iga seade on väike (tavaliselt alla 25 KW soojusenergiat). Peamised kütuse alternatiivid selles väikeses mastaabis on gaas, petrooleum, puuhalud ja puupelletid. Sellises väikeses tootmismahus pole tegelikult võimalik pakkuda jahutuse tootmist ega elektri ja kütte tootmist nii, et üksik seade on lihtsalt soojuse tootja eesmärgiga varustada maja mõnusa temperatuuri ja kraaniveega ning need majad energiabilansile mingit mõju ei avalda. Hea külg on siin see, et niikaua kui kütust jätkub, on selle töö kindel. Halb on siin see, et see süsteem ei võimalda elektri tootmist, ei saa olla jahutuse tootmise platvorm ja kaasaegset keskkonnamõju kontrolli siin pole.

Tüüpiline ühepereelemute puhul on see, et energiavajadus võib muutuda tunni jooksul. Näiteks siis, kui üks pere liige on duši all, kasvab järsult soojuse vajadus soojavee süsteemis ja kui aknad on õhutamiseks lahti, kasvab järsult ja radikaalselt vajadus kütte järele. Ka vastupidine on õige: 20-liikmeline seltskond tõstab järsku maja soojusega varustamist umbes 2-3 kW (ainult *ühe inimese vabanev kehasoojus on umbes 100 W ja kui nad tantsivad, siis vabaneb veelgi rohkem soojust*) ja ühtäkki tekib jahutamise vajadus. .

04-00-08b Ühepereelamute küttesüsteem

Ühepereelamus võib keskkütte soojuskandjaks olla vesi, mis biokütuse puhul on eelistatud variant, või õhk. Veekütte puhul toimub sooja kraanivee tootmine tavaliselt samas katlas, kuid muidugi soojusvaheti eraldi siugtorus. Õhkkütte puhul on kraanivee tootmiseks vaja täiesti eraldi süsteemi.

Veeküttega süsteemides võib soojuskoormuse tasakaalustamiseks olla katlale lisatud kogumispaak. Kogumispaak peab olema piisavalt suur, et katta maja keskmist soojustarbimist (kraanivesi ja küttesoojus koos) umbes 20 °C temperatuurilanguse juures 24 tunni jooks. Kui kogumispaak on süsteemi integreeritud, siis on lihtne liita süsteemiga lisaspiraali kaudu paagis päikesekütte soojusvaheti. Osa elumaja kateldest on väga suure mahuga (küll mitte nii suure kui seda on võimalik saavutada eraldi asetseva paagiga), kusjuures päikesekütte ühendused.

Kuna veemaht katlas endas või katlas ja paagis koos on tähtis, tagab veekütte süsteem termilise inertsuse, mis lihtsustab süsteemi reguleerimist. Soojavee tarbimise järsku kasvu saab siis rahuldada süsteemis salvestatud energiaga, nii et veetarvet saab kindlustada ka siis, kui vajaliku soojuskoormuse saavutamiseks (*näit. pelletite põletamisel)* võib kuluda teatud aeg. Mida suurem on termiline inerts, seda pikemate käivitusaegadega tuleb leppida.

Õhkkütte süsteemides on termiline inerts peaaegu null ja keskküttesüsteem peaks reageerima peaaegu koheselt. Seda liiki süsteemides on turul pelletite küttega õhkkütteahjud. Sooja veega varustamiseks on aga siiski vaja eraldi veesoojendamise seadmeid.

Keskküttesüsteem võib üksiku majapidamise jaoks olla suur investeering ja tähtis on see, et ostetud seadmed vastaks ka sobivatele kvaliteedikriteeriumitele. Euroopa Liidu standard EN 303-5 näitab testimise meetodeid ja selle sektori katelde markeeringut. Peale selle kirjeldab EN 15316-4-7 ühepereelamute keskküttesüsteemide

04-00-08c Ühepereelamud - põletusseadmed

Iga kolle, on see siis katel või ahi, on orienteeritud andma enim soojust teatud kütusega. Heades põletusseadmetes, kui neisse pannakse õiget kütust õigel määral, põleb kütus minimaalsete heitekogustega täielikult ära. See on eriti tähtis siis, kui üksikuid maju köetakse individuaalsete kateldega. Hoonete rühm, mille kütmisel paisatakse õhku suures kontsentratsioonis tahma või raskeid süsivesinikke, võib põhjustada seda, et ümbruskonna välisõhu kvaliteet muutub tervisele ohtlikuks. Samuti võivad tekkida lämmastikoksiidid ning need on samuti õhusaaste allikas.

Nagu allpeatükis 04-00-01 öeldud, toimub põlemine kokkuvõtlikult neljas astmes:
1. Kuivamine. See tähendab niiskuse eraldumist auruna ja on endotermiline ehk soojust tarbiv protsess.
2. Pürolüüs. See on lenduvate, osaliselt põlevate ainete eraldumine, mis on jällegi endotermiline protsess.
3. Gaasi põlemine. See on lendainete põlevate osade põlemine. See on eksotermiline protsess, s.t. vabaneb soojus.
4. Söe põlemine. See on tahke jääkaine täielik ärapõlemine, mis on jällegi eksotermiline protsess.

Need neli astet, mis toimuvad sageli üheaegselt, moodustavad kokku kütuse täieliku põlemise. Probleemid tekivad siin puidujäätmete ja halupuude põletamisel.

Vanad puiduküttega kodumajapidamises kasutatavad katlad (kuni 1960- teni) olid tavaliselt varustatud üleni soojendatavasse vette paigaldatud malmist koldega.

Sellise konstruktsiooni tõttu püsisid kolde seinad veetemperatuuri lähedasel temperatuuril külmana. Kui puuhalgudest vabanevad süsivesinikud ja tõrv jõuavad nende külmade seinte lähedusse, nad kas kondenseeruvad või moodustavad väikesed piisad või kõige äärmisemal juhul leegid kustuvad, nii et põlemata süsivesinikud pääsevad koldest välja. Selline temperatuuri ebaühtlus on veelgi märgatavam seetõttu, et puuhalud on põlemiskolde sisemiste mõõtmetega võrreldes suured.

Kaasaegsetes konstruktsioonides on kolle vooderdatud keraamilise isolatsioonimaterjaliga, mis vähendab, aga ei kõrvalda seda ebaühtlust.

Kaasaaegsed puiduküttega katlad on konstrueeritud ülevalt alla põlemiseks. Neis liiguvad gaasid kõige külmema halu juurest läbi juba põleva ja hõõguva kütusekihi allpoole ja seega säilib gaasi kõrge temperatuur kogu põlemise jooksul, mille tulemusena on süsivesinike heitkogused veelgi väiksemad. Sellised katlad on konstrueeritud ka ahjutäie kaupa põletamiseks, s.t et teatud kogus halgusid pannakse ahju, süüdatakse ja lastakse täielikult ära põleda. Seetõttu vähendab kaasaaegne katel hulgaliselt käsitsitööd, kuna puudub vajadus pidevaks puude koldesse panemiseks, nagu seda oli vaja teha vanade katelde kasutamisel.

Vastupidiselt korrapäratu suurusega küttepuudele ja puidujäätmetele on pelletite läbimõõt 6, 8, 10 või 12 mm, kusjuures osakeste tihedus ühes pelletis ületab 1100 kg/m^3 ja nad on küllaltki purunemiskindlad. Ka niiskusesisaldus on neis väike, tavaliselt umbes 12 %, mis vastab energiasisaldusele (*kütteväärtus*) umbes 16-18 MJ/kg või peaaegu 5 kWh soojusenergiat kg kohta (*kWh* leidmiseks MJ-st *jagage see 3.6-ga*). Niisiis, pelletid on võrreldes kolde sisemusega väikesed ja neil on ühesugused omadused.

Kuna puidupelletite pind on sile, nad on ühesuguse kujuga ja nende omadused üldiselt on muutumatud, sobivad nad hästi väikeste automaat -sete etteandmise- ja põletussüsteemidega.

Kodumajapidamistes kasutamiseks on pelletite põletamissüsteeme kahte erinevat liiki, nimelt:
• Kuumaveekateldele paigaldatavad põletid
• Iseseisvad ahjud, mis koosnevad koldest, kokkumonteeritud põletist ja päevamahutist. Mõne seadme kütuse päevamahuti võib olla paigaldatud eraldi, kuid üsna sageli on kõik osad omavahel ühendatud.

Mõlemat tüüpi süsteemilahendused on riiulikaubana müügil. Kaubandusettevõtted on usaldusväärsed ja hoolduskulud on väikesed.

Pelletite turg kodumajapidamiste jaoks on järsult laienemas ja pelleteid saab paljudes Euroopa riikides osta kottides, aga ka lahtisena.

Puitpelletitel töötava süsteemi paigaldamine keskküttega ühepereelamusse tähendab katla paigaldamist, millel on põleti ja pelletimahuti. Õhkküttesüsteemi paigaldamisel on pelletite põletamiseks vaja katelt ja mahutit.

Katla puhul on tähtis, et kolle oleks piisavalt suur põletist tulevate leekide jaoks. Tavaliselt on puitpelletite põlemisel leegid suuremad kui õli või gaasi põletamisel ja seetõttu peab kolle suurem olema. Kui kolle on liiga väike, siis seinte läheduses leegid kustuvad, mille tulemusena tekivad süsivesinike ja tahma heitmed nagu ülalpool selgitatud.

Mõnel juhul saab õlikütte jaoks ettenähtud katelt kasutada ka pelletite põletitega, kui enamasti soovitatakse osta pelletite jaoks projekteeritud katel. Need ahjud on nii projekteeritud, et koldesse mahub küllalt palju tuhka, mistõttu tuha väljavõtmine toimub harvemini. Lõpuks on pelletite katlad nii projekteeritud, et tuha väljavõtmine on tehtud lihtsaks.

Juhul, kui pelletite süsteem asendab vanu õli- või gaasikütte süsteeme, on oluline kontrollida ka korstna olukorda. Pelletite põletamisel on suitsugaase rohkem ja korsten peab suutma neid vastu võtta. Juhul, kui pelletite põleti on paigaldatud vanasse katlasse, võivad suitsugaaside temperatuurid olla samuti kõrgemad.

Eeldusel, et pelletite kvaliteet, nende purunemiskindlus, on piisavalt suur, on funktsionaalsuse seisukohalt kõige tähtsam põletis toimuv süütamisprotsess ja see kehtib nii õhkkütteahjude kui ka kuumaveekatelde puhul. Paigaldatuna kas ahju või katlasse projekteeritakse põleti pelletite põletamiseks. Kui pelletid purunevad käitlemisel või etteandmisel, nii et põletisse antakse ette saepuru, põleti korralikult ei tööta.

Eeldusel, et pelletite etteandmine toimub korralikult ja põleti tegelikult toimib, on väga vähetõenäoline, et leek välja tungib. Selle asemel on seisakute põhjuseks peaaegu alati põleti süütamisprobleemid.

04-00-08d Ühepereelamud – planeerimise aspektid

Energiasüsteem ühepereelamutes ei tohi nõuda väga suuri investeeringuid ja selle juhtimine toimub tavaliselt sisse-välja lülitamisega. Veeküttel süsteemides on kontrollparameeter tavaliselt veetemperatuur katlas või boileris, samas kui õhkküttesüsteemides, eriti siis, kui süsteemis on mitu ahju ja soojusallikat, võivad termostaadid olla mitmes ruumis. Veeküttega süsteemides seadistatakse üksikute tubade temperatuuri radiaatori termostaadi abil.

Reguleerimissüsteemis võib olla ka taimeriga juhtimise võimalus, nii et öö- ja päevatemperatuuri seadepunktid on erinevad, võimaldades sellega öösel madalamat temperatuuri. Sellise reguleerimise teoreetiline alus on see, et madalam öine temperatuur annab oma osa madalama keskmise temperatuuri saavutamiseks: 20 °C 18 tunni jooksul pluss 16 °C 6 tunni jooksul annab 24 tunni keskmiseks temperatuuriks 19 °C.

Madalama temperatuuripunkti valimine sõltub palju kogu hoone soojusinertsist; mida suurem on soojusinerts, seda väiksem on mõju. Seepärast on see alternatiiviks kergetes puumajades ja puidust sõrestikuga hoonetes, samas kui suurtes kivihoonetes see meetod energia kokkuhoidu ei anna või annab seda üpris vähe.

Veeküttega süsteemides võib soojuskoormuse tasakaalustamiseks olla katlale lisaks boiler. Boiler peab maja keskmise soojustarbe (kraanivesi ja soojus koos) rahuldamiseks 24 tunni jooksul umbes 20 °C temperatuurilanguse juures olema piisavalt suur. Kui boiler on süsteemi integreeritud, on lihtne liita süsteem päikeseküttega eraldi spiraaltoru kaudu soojusvahetis. Ka mõned kodumajapidamises kasutatavad katlad on suuremahulised (kuid mitte nii suured, kui on võimalik saada eraldiseisva boileri kasutamisel) ja neil on olemas ka päikesekütte ühendused.

Kuna vee maht katlas endas või samas süsteemis kokku ühendatud katlas ja boileris on märkimisväärne, tagab veeküttesüsteem soojusinertsi, mis lihtsustab süsteemi juhtimist. Näiteks järsku soojaveetarbimise kasvu saab siis rahuldada otsekohe süsteemis säilitatud energia arvel, samas, kui soojuskoormus väljast (*näit. pelleti põleti)* vajab tööle hakkamiseks mõnevõrra aega. Mida suurem on soojusinerts , seda pikem võib olla aktsepteeritav käivitusaeg.

Õhkküttega süsteemides on soojusinerts nullilähedane ja küttesüsteem peab reageerima peaaegu kohe. Sellist liiki süsteemide jaoks on turul olemas pelleteid põletavad õhkkütteahjud. Sooja vee saamiseks, on siiski vajalikud veesoojendamisseadmed. Koos õhkküttega kasutatavate veesoojendite reageerimise aeg peab olema väga lühike ja siin on eelistatud gaasi- või elektrisoojendid.

Juhul, kui ühepereelamus on vaja jahutust, tehakse seda tavaliselt eraldi konditsioneeride paigaldamisega tubadesse, kus seda kõige rohkem vaja on või kasutatakse vastavalt vajadusele ühest toast teise kantavat konditsioneeri. Eramajades saab kasutada ainult kompressoriga jahutusseadmeid.

Seetõttu saab statsionaarsel energiasüsteemil olla ühepereelamus ainult kaks rolli, pakkuda nimelt soojust ja kraanivett.

04-00-08e Kaugküte

Majade gruppide energiaga varustamist saab planeerida vastavalt kahele täiesti erinevale strateegiale:
• Kütuse müümine koos detsentraliseeritud (s.t. individuaalse) energia tootmisega.
• Tsentraliseeritud energia tootmine koos energia müümisega.

Esimene võimalus, mida vaadeldi ülal teksti osas 04-00-08a ja täpsemalt 04-00-08c, nõuab individuaalmaja varustamist katla või ahjuga. Halb on selle lahenduse juures see, et selline süsteem ei võimalda elektri ega jahutuse tootmist ning kaasaegset keskkonnakontrolli.

Teise võimaluse, mis tähendab tsentraliseeritud energia tootmist ja seejärel selle energia müümist suurele arvule tarbijatele, eelis on see, et tootmisüksus muutub suuremaks ja seda saab sellepärast kohandada mitte üksnes täiuslikumale keskkonnakontrollile vastavaks, vaid sõltuvalt suurusest ka kaasaegsema protsessi käivitamiseks. Ranged piirid suurusel puuduvad, kuid kvaliteeti silmas pidades võib eristada kolme kategooriat, kusjuures miinimumnõue on, et süsteemis oleks kõige vähem kaks hoonet, mis annab tähenduse sõnale „jaotamine“ :

Väikesed süsteemid. Käesolevas kontekstis peetakse väikeseks süsteemi, kui selle terve aasta soojuskoormus on liiga väike auru tootmiseks. Seda tüüpi süsteemid võivad näiteks varustada soojusega ülikoolilinnakut, selleks et toota kraanivett ja pakkuda mõnusalt kütet, ka paljusid avalikke hooneid, ühte hoonete gruppi või haiglahooneid.
Keskmised süsteemid. Keskmisel tasemel võib süsteemis ka auru toota. Selleks võib olla mitu põhjust: Tarbijateks võivad olla aurub tarbiv töötlev tööstus või laboratoorium või on süsteem lihtsalt nii suur, et suudab kanda aurukatlaga seotud lisakulusid.
Suured süsteemid. Suur süsteem on piisavalt suur, et peamine oleks elektri tootmine. Sel juhul läheb põhitähelepanu soojuse müügilt üle elektrimüügile, kuid vale oleks soojuseturult sootuks eemalduda.

Erineval tasemel süsteemid ei mõjuta üksnes toodete liike, vaid avanevad ka erineva kvaliteediga kütustele. Iga kolde jaoks on parim teatud kütus. Heades põletusseadmetes, milles põletatakse õiget kütust õiges koguses, on kütuse põlemine täielik ja õhusaaste tekkimine minimaalne.

Nagu öeldud allpeatükis 04-00-01, toimub põlemine laias laastus neljas astmes:
1 kuivamine; see tähendab kütuses sisalduva niiskuse vabanemist auruna ja kujutab endast endotermilist ehk soojust tarbivat protsessi,
2 pürolüüs; see kujutab endast osaliselt põlevate lendainete vabanemist ja on jällegi endotermiline protsess,
3 gaasi põlemine; see tähendab lendaine põlevate komponentide põlemist; see on eksotermiline protsess, mis tähendab et toimub soojuse vabanemine,
4 söe põlemine; see on tahke jäägi lõplik ärapõlemine ning jällegi on tegemist eksotermilise protsessiga

Nagu juba näidatud allpeatükis 04-00-01, mõjutavad täielikku põlemist ja põletusseadme keskkonnamõju kütuse osakeste suhteline suurus kolde ruumala suhtes, temperatuuri erinevus põlevate gaaside ja külmade seinte vahel ning hulgaliselt muid parameetreid. Keskkonnaaspekte käsitletakse veel 04-00-10. Mida suuremad on kolde enda füüsikalised mõõtmed, seda robustsemaks muutub põlemisprotsess ja kütusekvaliteedi erinevus pole enam esmatähtis. See on seotud ka tõsiasjaga, et suuremad põletusseadmed on tavaliselt varustatud põlemise kontrollsüsteemidega, kuid väikestel seadmetel on ainult kõige algelisemad reguleerimisvõimalused.

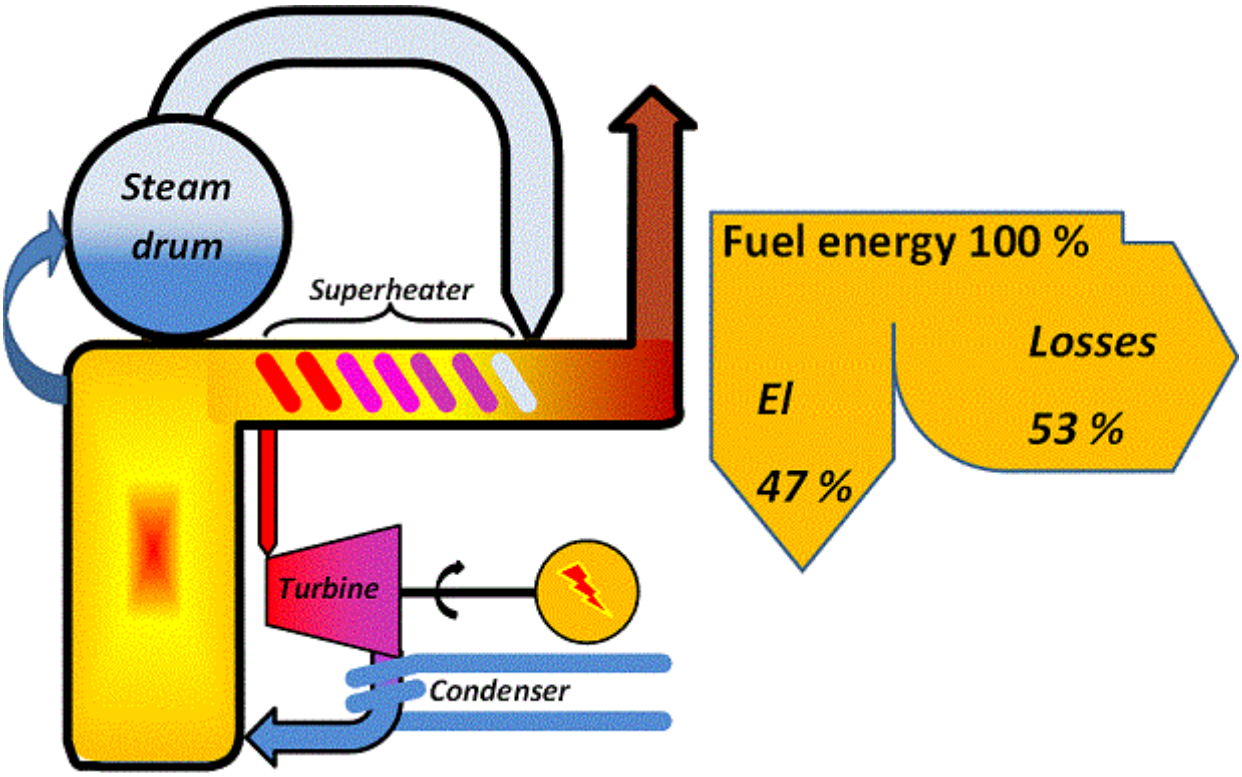
Mõistagi on sellel oma piir, kuid üldiselt öeldes on rusikareegel see, et ühepereelamu küttesüsteemis (≤ 0.1 MW_{th}) on keskkonnasõbralikuks põletamiseks vaja kvaliteetseid pelleteid või briketti. 1 MW_{th} katelt saab kütta märja puiduhakke ja puidutööstuse ühtlase suurusega jäätmetega. Samamoodi saab 5 MW_{th} katelt kütta märgade raiejäätmete ja põllukultuuride jääkidega. Umbes 10 MW_{th} katelt saab kütta isegi märgade tahkete olmejäätmetega - MSW (*NB!. puhtad ilma raskemetallide või muude anorgaaniliste või kahjulike saasteaineteta*) ja seejuures jääb keskkonnamõju vastuvõetavale tasemele.

Ilmselt on olemas nn. hallid tsoonid ning ülaltoodud arvud on ainult indikatiivsed ja sõltuvad paljugi katelde konstruktsioonist, kuid nad võivad siiski näidata kütusevarude ja põletustehnoloogia kooskasutamisvõimaluste valimisel suurusjärku.

04-00-08f: Kaugküte ja koostootmine – elektri tootmine

Kui kaugküttesüsteem on piisavalt suur protsessi täiustamiseks, vajalike investeeringute ja käitamiskulude katmiseks, võib osutada elektri tootmiseks vajalikuks auruturbiini paigaldamine.

Üldist kõige tavalisemat põhimõtet elektritootmiseks aurutsükliga kondensatsiooni-elektrijaamas illustreeritakse skemaatilise diagrammiga. Te näete, et sel juhul pole tegemist soojuse tootmisega, vaid üksnes elektri tootmisega.



Joon. 04-00 1: Üldülevaade kondensatsiooni-elektrijaamast

Jaama tööpõhimõte:
1. Vesi soojendatakse kõrge rõhu all katla seinte vahel.
2. Seejärel suunatakse vesi aurutrumlisse, kus see muutub auruks.
3. Aur juhitakse trumlist ülekuumendisse, kus toimub kuumutamine kuni kõrge temperatuurini.
4. Kuum kõrgsurve aur liigub läbi turbiini ja paneb selle pöörlema.
5. Turbiini võll on elektri tootmiseks ühenduses generaatoriga.
6. Maksimaalseks auru läbivooluks hoitakse turbiini väljavoolutorus vaakumit, kondenseerides auru kõige madalama võimaliku temperatuuriga jahutusveega.
7. Kondensaat suunatakse siis järgmises tsüklis kasutamiseks tagasi katlasse.

Skemaatilisel diagrammil on näidatud protsessi kõige lihtsamat võimalikku ülevaadet. Tegelikkuses on protsess keerulisem, kuid põhimõte jääb samaks.

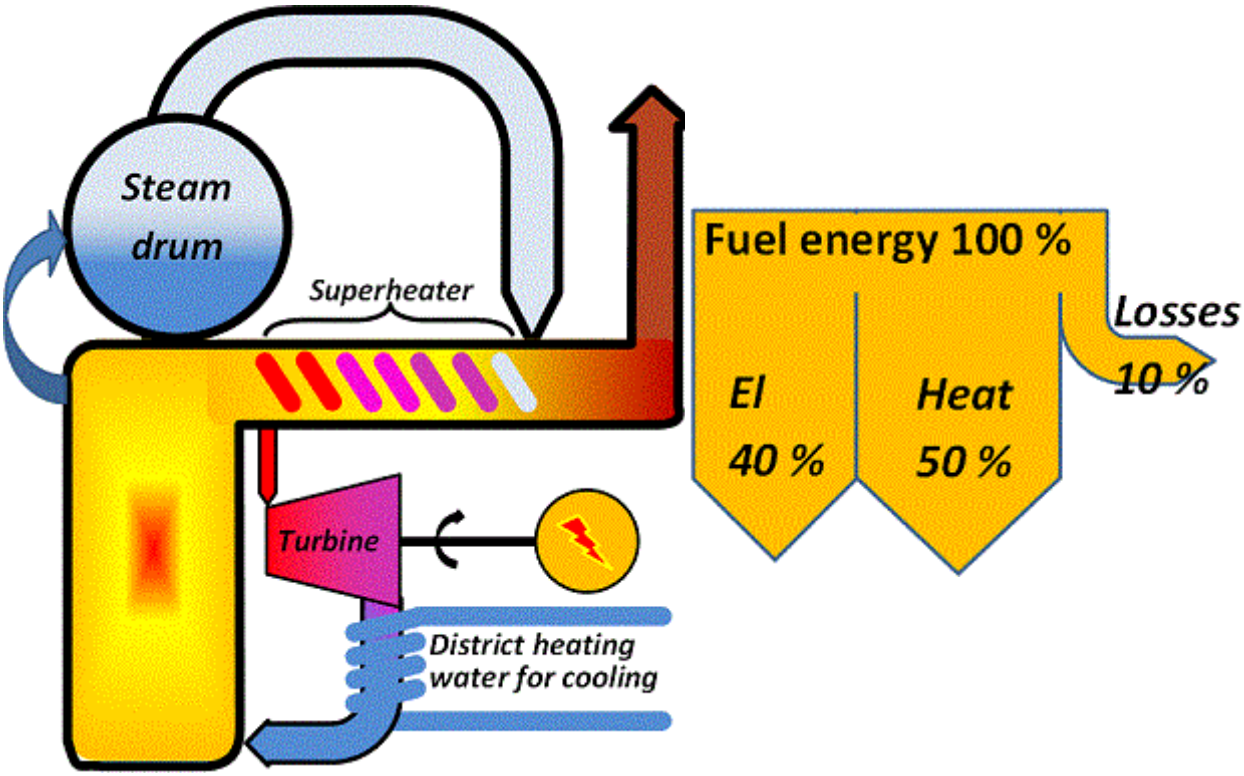
Kuna turbiini takistab auruvoolu, on ilmne, et mida suurem on rõhkude vahe turbiinis, seda enam auru liigub sealt läbi. Kaasaegsetes fossiilse gaasiga töötavates aurutsükliga elektrijaamades läheneb auru temperatuur turbiini sissevoolutorus 600 °C-le ja auru sissevoolutoru rõhk on 160 baari. Auru temperatuuri ja rõhku piiravad piirangud materjalidele ja neid väärtusi püütakse edaspidi tõsta.

Kui kütuses on lisandeid, mis muudavad suitsugaasid korrosiivseks, piirab auru temperatuuri ja rõhku ülekuumendi rõhk, mille põhjuseks on kõrge sisemine rõhk koos korrosiooni mõjuga väljapoolt. Seetõttu piirdub kivisöel ja biokütustel töötavate elektrijaamades auru temperatuur ja rõhk vastavalt umbes 550 °C ja 140 baariga. See seab ülemise piiri kõigile kütusest saadud energialiikidele, millest on võimalik elektrit toota ning aurutsükliga kivisöel ja biokütustel töötavate elektrijaamades ületab elektritootmise kasutegur vaevalt 47%. Suurem osa ülejäänud 53 % kütusest saadud energiast kaob madala temperatuuriga soojuskaona kondensaatori jahutusvee kaudu. Ülejäänud soojuskadu toimub suitsugaaside ja ülekande kaudu.

Soojuse ja elektri koostootmine – CHP

Selleks et ära kasutada energiakadusid jahutusvees, peab laskma turbiinist väljumisel temperatuuril kõrgemale tõusta, muutes sellega jahutusvee nii kuumaks, et see oleks kasulik. Selle eest makstav hind on vaakumi vähenemine turbiini väljalasketorus, auru läbivool väheneb ja elektriline kasutegur langeb umbes 40 %-ni või mõnevõrra allpoole.

Saadud kasu seisneb selles, et energia, mis oleks kondenseerimisel kaduma läinud, muutub nüüd hinnaliseks tooteks ja seda saab müüa kaugküttеklientidele. Seda põhimõtet illustreerib allpool antud skemaatiline diagramm.



Joon. 04-00 2: CHP jaama üldülevaade ja tööskeem

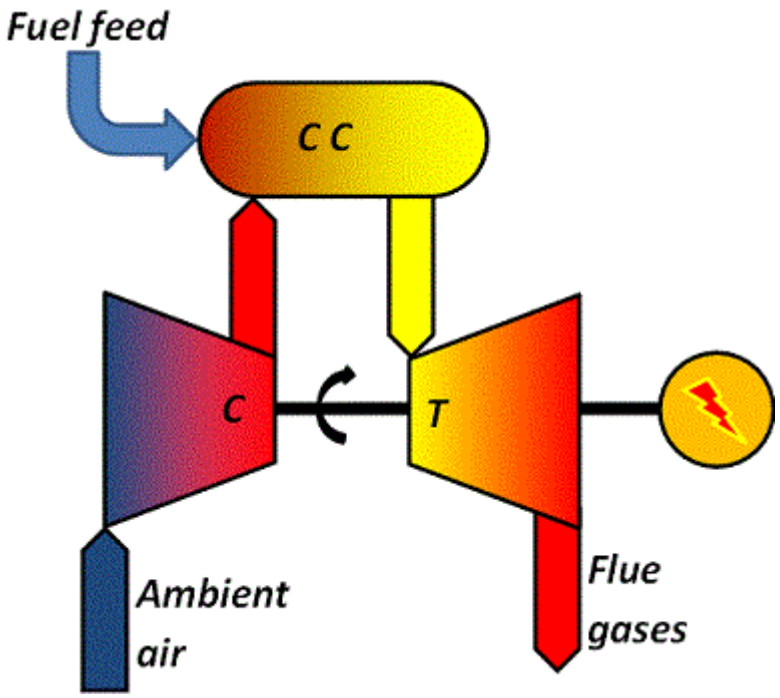
Aurutsükliga kondensatsiooni-elektrijaamas põletatud 100% kütuseenergiast saadakse ligikaudu 47 % elektrienergiat ja 53 % on kaod.
Koostootmisjaamas on jagunemine selle asemel 40 % elektrienergiat, 50 % soojusenergiat ja10 % kadusid.

Soojuse ja elektri koostootmine võimaldab paindlikkust toodete proportsionaalses jagunemises. Oletame, et vältimatud kaod nagu näha jooniselt) on 10 % ja järelejäänud energiat saab muundada 40 % elektriks ja seega jääb 50 % soojusele. Kuid see 90 % tuleb jaotada 40+50, nagu on näha skemaatilisel diagrammil. Seda võiks ka jaotada 20+70 või 10+80 või 0+90 või mistahes muul moel sõltuvalt sellest, milline on nõudlus.

Sisepõlemismootorid
Mõne väiksemamastaabilise kasutamisviisi puhul ja kui on võimalik saada gaasilist või vedelkütust (nagu näit. prügilagaas või ühe farmi autoklaavist saadav biogaas), võib kasutada ka sisepõlemismootorit (IC-mootor). Sel juhul on generaator ühendatud otse mootori võlliga ja jahutusvett kasutatakse kütmiseks. Silmas tuleb pidada gaasi korrosiivseid omadusi ja gaasi puhastamist, näiteks on soovitav lihtne märgpuhastus. Neis süsteemides võib elektriline kasutegur olla 15-30 % ringis ja kasutegur kokku on umbes 50-80 %, mis sõltub tugevasti gaasi kvaliteedist ja mootorist.

Auruturbiinide kõrval on teine enimkasutatud meetod elektri tootmine gaasiturbiinidega.

Gaasiturbiinid
Gaasiturbiinid erinevad auruturbiinidest selle poolest, et neis on integreeritud rõhu all töötav põlemiskamber ja kompressor nagu lennukite reaktiivmootorites. Seda põhimõtet illustreerib allpool antud skemaatiline diagramm .



Joon. 04-00 3: Gaasiturbiiniga jaama üldülevaade

Turbiin "*T*" on paigaldatud samale võllile kompressoriga" ja generaatoriga.
Kui seade töötab, sisestatakse välisõhk kompressorisse, surutakse 15-25 baarini kokku ja pihustatakse and rõhu all koldesse "*C C*".
Koldesse lisatakse ka kütus.
Kuumad (umbes 1100 °C) ja rõhu all gaasidel lastakse siis paisuda läbi turbiini.
Turbiinist väljuvad gaasid on veel kuumad, umbes 400-600 °C.

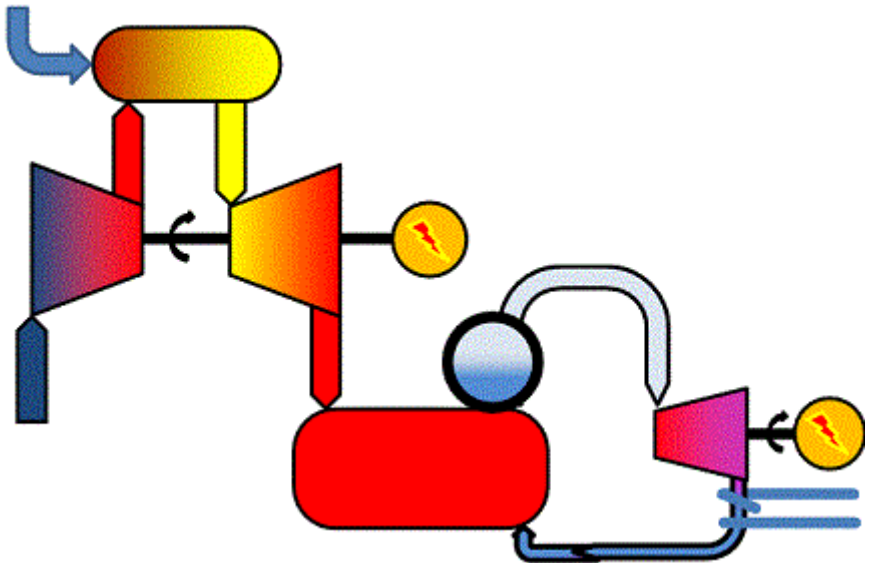
Gaasiturbiini töötamisel varustatakse kütuseenergiaga turbiini, generaatorit ja ka kompressorit. Seetõttu on üldine kasutegur väike, selle väärtused jäävad sageli alla 40 %.

Koostootmisel kasutatakse kuumad gaasid ära kaugkütte tootmiseks. Vastupidiselt aurutsükliga protsessile, kus kaugkütte tootmine vähendas saavutatavat kasutegurit, gaasiturbiinides see nii pole.

Turbiinid on tundlikud turbiinilabadele sademe tekkimise ja erosiooni suhtes ja gaasiturbiinides on turbiinilabad otseselt avatud põlemisest tekkinud suitsugaasidele. Kütus peab seetõttu olema tuhavaba ja vaba sellistest lisanditest, mis võivad korrosiivseid gaase tekitada. Tahke biomass ja sorteeritud jäätmed või mistahes tahke kütus on seega gaasiturbiini kütustena välistatud, samas sobivad hästi puhtad muundatud kütused; nagu näiteks biometaani, bioetanooli ja muid sarnaseid kütuseid saab hästi kasutada.

Kombineeritud tsükliga koostootmine

Piisavalt suurtes elektrijaamades on gaasiturbiinid ja auruturbiinid ühendatud "kombineeritud tsükliteks". Kombineeritud tsükliga tootmisel kasutatakse auru tootmiseks ära gaasiturbiinilt tulevad kuumad suitsugaasid. Seejärel kasutatakse auru auruturbiinis ja lõpuks võib kasutada auruturbiini väljavoolusoojust kaugkütte jaoks. Protsessi üldülevaadet illustreerib skemaatiline diagramm joonisel. Siin on võimalik näha gaasiturbiini tsüklit ja auruturbiini tsüklit.



Joon. 04-00 4: Üldülevaade kombineeritud tsükliga jaamast

Oletame, et kombineeritud tsükliga tootmisel on gaasiturbiini üldine elektriline kasutegur η_{GT} ja auruturbiinil $\eta_{ST.}$ Kombineeritud tsükliga jaama kogu elektriline kasutegur η_{CC} on siis

$\eta_{CC} = \eta_{GT} + \eta_{ST} - \eta_{GT}*\eta_{ST}$

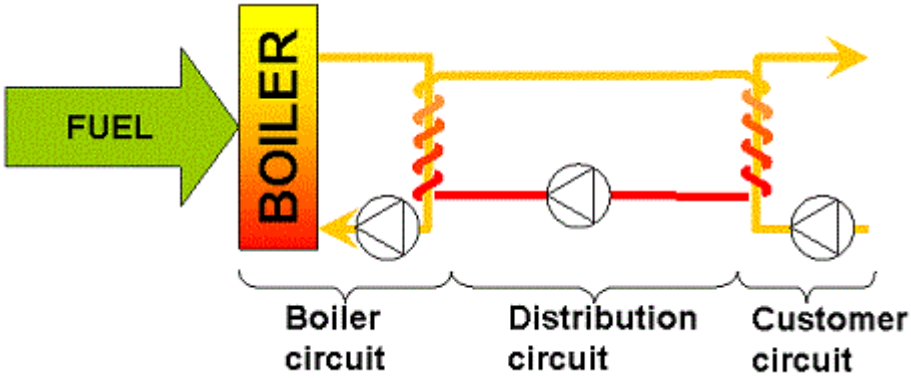
Seega, kui gaasiturbiini kasutegur on 38 % (η_{GT} = 0.38) ja auruturbiini oma 45 % (η_{ST} = 0.45),on elektriline kasutegur kokku peaaegu 66 %. Selliseid väärtusi saadakse muidugi kaasaegsetes suurtes fossiilsel gaasil töötavates kombineeritud tsükliga elektrijaamades, kus kaugküttele soojust ei toodeta, s.t. kondensatsiooni režiimil.

Kui sama jaam toodab ka soojust kaugkütte jaoks, võib arvata, et gaasiturbiini kasutegur on ikkagi 38 % (η_{GT} = 0.38), kuid auruturbiini kasutegur on väiksem, võib-olla 38 %, too (η_{ST} = 0.38). Kogu elektriline kasutegur langeb umbes 62 %-ni. See on siiski palju rohkem kui on võimalik saada ainult auruturbiini või gaasiturbiini kasutamisega.

BIGCC
Suurte elektriliste kasutegurite potentsiaal on taustaks nn. Biomassi Integreeritud Gaasistamise ja Kombineeritud tsükli (BIGCC) kontseptsioonile. Kuigi gaasistamisega iseenesest kaasnevad energiakaod ja kuigi gaasiturbiinide kaitseks vajalik gaasi puhastamine tekitab energiakadusid, võib protsess tervikuna olla elektrilise kasuteguri seisukohast lähtudes olla kasulik. Siiski, selleks et see oleks otstarbekas, saab seda teostatavuse seisukohast rakendada ainult suurtes jaamades. Siiani (2011) pole seda kommertsrakendustena veel näidatud.

04-00-08g Kaugküte ja koostootmine - süsteem

Ülalnäidatud väikest ilma auru või elektri tootmiseta süsteemi kirjeldab järgmine skemaatiline diagramm Pidage silmas, et süsteemis võib olla mitu katelt ja muidugi palju tarbijaid, kuid diagramm on siin nii lihtsaks tehtud kui võimalik.



Joon. 04-00 5: Üldülevaade kaugküttesüsteemist ilma elektri tootmiseta

Seega koosneb süsteem kolmest järjestikku ühendatud ringsüsteemist, katla tootmisahelast, kaugküttevõrgust ja mistahes hulga tarbijate varustusahelast. Tavaliselt on igal tarbijal kaks tarbijakontuuri – üks kraanivee soojendamiseks ja teine kütteks. Need on näha kahe erineva spiraaltoruna tarbija soojusvahetis, kuid lihtsuse mõttes on diagrammil näidatud ainult üks toru.

Süsteemi põhiosad ja milleks nad on ettenähud
Soojusvaheti katla tagaküljel
Vaadates ülalantud diagrammi on ilmne, et kaugküttesüsteemis on 2 soojusvahetit – üks katla tagaküljel ja üks tarbija juures. Puhtalt teoreetiliselt võib tunduda mõttekas katla tagaküljel soojusvaheti välistamine ja katlavee ringvoolu vee kasutamine ka kaugkütte jaoks. Kuid see pole soovitav kahel põhjusel:
1) See osa kogu süsteemist, mida ohustavad lekked kõige rohkem on kaugküttevõrk, mis võib asulas ulatuda mitme kilomeetri kaugusele. Suurema lekke korral ja siis, kui katla vesi on ka ringlev vesi, jookseb katel kuivaks ja võib tugevasti kahjustada saada. Seetõttu kaitseb soojusvaheti katelt.
2) Süsteemi kui terviku maksimaalse tõhususe saavutamiseks on tähtis, et kaugküttesüsteemi tagasivooluvesi oleks nii jahe kui võimalik – eelistatavalt alla 50 °C. Ka küttevee temperatuur peaks olema nii madal kui võimalik ning suvel võiks see langeda temperatuurini 65 – 70 °C. Kui sellise madala temperatuuriga veel tekib soojusvahetis kontakt (kaudselt) suitsugaasidega

võib see põhjustada vee kondenseerumist suitsugaasides sellele järgneva korrosiooniga soojusvahetis. Selline olukord teravneb seda enam, mida suurem on kütuse veesisaldus. Seetõttu on soojusvahetil oma osa süsteemi universaalsuse ja töökindluse tagamisel.

Küttevee tsirkulatsioonipump

Väga tähtis süsteemi osa on tsirkulatsioonipump. See on pump, mis toimetab sooja vee süsteemi ühendatud tarbijatele. Töökindluse tagamiseks peaks alati olema paigaldatud tagavarapump.

Küttevee pumba elektritarbimine on laias laastus proportsionaalne torudes oleva vee kiiruse ruuduga. Seega neljakordistab veekiiruse kahekordistamine elektritarbimist. Teisest küljest: kui vee kiirust torudes kahekordistatakse, jääb vee torudest läbivoolamise aeg poole võrra lühemaks ja sellega seoses vähenevad sel ajal, kui vesi voolab läbi torude, temperatuurikaod.

Mitme aastakümne jooksul saadud kogemus näitab, et mõistlik kompromiss pumpamisvõimsuse ja soojuskao vahel saavutatakse veekiirustel (kogu süsteemi keskmine) umbes 1 – 5 m/s. Seega valitakse küttevee tsirkulatsioonipumba võimsus ja jaotustorude läbimõõdud selliselt, et veekiirus jääb sellesse vahemikku ning edastavat soojusvõimsust reguleeritakse pealevoolu temperatuuri, mitte voolukiiruse järgi.

Torustik

Kaugküttesüsteemi pikaajalise töökindluse ja säästlikkusemääravad peamiselt kaks parameetrit, nimelt kogu süsteemi tõhusus ja kasutusiga. Need sõltuvad aga suuresti torude kvaliteedist.

On selge, et kui vee kiirus on määratud, siis koosneb väike kaugküttesüsteem peamiselt väikese diameetriga torudest ja toru ristlõikepindala suhe vooluhulka on suhteliselt suur. Seetõttu on ka soojuskaod läbi toruseinte suhteliselt suured.

Kui suurtes kaugküttesüsteemides võivad kaod torudest olla 5% ümbruses või mõnel juhul isegi vähem, siis väikestes võrkudes on juba iseenesest suuremad kaod, ulatudes mõnes seadmes kuni 15%-ni, võib olla 30 %-ni. Neid ei saa vältida, kuid põhjus, miks kaugküte väikestes süsteemides on siiski kasulik on see, et neis on nende väiksuse tõttu olemas vahendid kütuse paindlikuks kasutamiseks ja tõhusaks suitsugaaside puhastamiseks.

Kaugküttesüsteemi rajamisel eramute piirkonda vahetatakse välja 100 või rohkem individuaalmaja katelt, mis ei võimalda tavaliselt erinevaid kütuseid kasutada, vaid sõltuvad ühest (võib-olla fossiilsest) kütusest ja milles suitsugaasi puhastamist pole olemaski. Nende asendamine kaasaaegse biokütusel töötavate kateldega, kus suitsugaasid puhastatakse, tähendab enamasti keskkonnaolude paranemist, isegi siis, kui süsteemi kasutegur on ainult 70-80 %, ja seetõttu on see energia kasutamise seisukohalt arukas.

Üksikute katelde asendamisel kompaktsete soojusvahetitega, mis on puhtad ja mürata töötavad seadmed ning välistavad ühtlasi üksikute majade korstnapühkimise vajaduse, on kõrvalmõjud, mille vastavalt Rootsis tehtud küsitlustele kiidavad heaks ka tarbijad. Sellele lisaks väheneb üksikutes majades tuleoht.

Sellele vaatamata võivad süsteemi kaod olla märkimisväärsed ja esiteks on tähtis, et paigaldatud torud oleksid soojusisolatsiooni seisukohalt võimalikult kõrge kvaliteediga. Samuti on kasulik kasutada kahte toru ühes ümbrises, kus jaotustorul ja tagasivooluvee torul on mõlemal ühine isolatsioon ja ainult üks ümbristoru.

Teine nõue jaotustorudele peale soojusisolatsiooni on see, et nad oleksid difusioonikindlad. Kaugküttevõrkudes on üks peamisi probleeme korrosioon, mida tavaliselt põhjustab hapniku difusioon küttevette. Vees lahustunud gaasilise hapniku leidumise takistamiseks vees on kaks võimalust: tihendada toruseinad nii, et hapnik ei pääse läbi ja teiseks, kui hapnik on juba vees, siis see siduda. Rakendada tuleks mõlemaid meetmeid, sest korrosioon võib torustiku üsna kiiresti hävitada.

Selleks, et vältida hapniku difusiooni süsteemi, tuleks kõigepealt valida metallist jaotustorud. Ka kõige kvaliteetsemad plastikmaterjalid on täna (2011) veel gaasi difusiooni peatamiseks viletsamad ja kuna võrgus on metallist osi, soojusvahetid, ventiilid, pumbad jne., on korrosioon probleemiks otsekohe, kui gaasiline hapnik satub jaotusvee kontuuri. Uusi materjale töötatakse pidevalt välja ja kõige tõenäolisemalt tõrjuvad kerged polümeerid rasked metalltorud järgimööda välja, kuid seni on kõige paremad metalltorud (sageli vasktorud).

Teine meede sisemise korrosiooni vähendamiseks on siduda süsteemi tungiv hapnik keemiliselt. Siiani on seda tehtud hüdrasiiniga (N_2H_4), kuid kuna hüdrasiin on ise kergelt mürgine ja võib põhjustada allergilisi reaktsioone, on selle aine kasutamine vaieldav. Tuleb mainida ka seda, et on märke, hüdrasiin võib olla kantserogeenne. Rootsi kaugküttevõrkudes hüdrasiini siiani kasutatakse (kuigi muidugi väga madalates kontsentratsioonides), kuid mõnes Euroopa riigis on see keelatud.

<u>Tarbija soojusvaheti</u>
Temperatuurid ja vooluhulgad läbi tarbija soojusvaheti määravad ära veetemperatuuri tarbija juures. Kraanivee kontuuris ei tohiks temperatuur tarbija juures langeda alla 55 °C , selleks et vältida *legionella* bakterite arenemist vees.

Küttevee sobiva temperatuuritaseme määrab vajadus ja see, kas tarbija tegelikult süsteemi kasutab. Vee baasil põrandaküttega süsteemis on mugavaks sisekliimaks vajalik temperatuur ainult umbes 30 °C, kusjuures radiaatorite küttega süsteemis võib mõnusa toatemperatuuri saavutamiseks vaja minna temperatuure kuni 70 või isegi 80 °C.

Tarbija soojusvahetites peab olema võimalik reguleerida vee temperatuuri üsna laias ulatuses ja samas peavad nad olema odavad. Seetõttu tuleb soojusvahetite ostmisel neid hoolikalt valida nii, et kõik need nõuded oleksid täidetud.

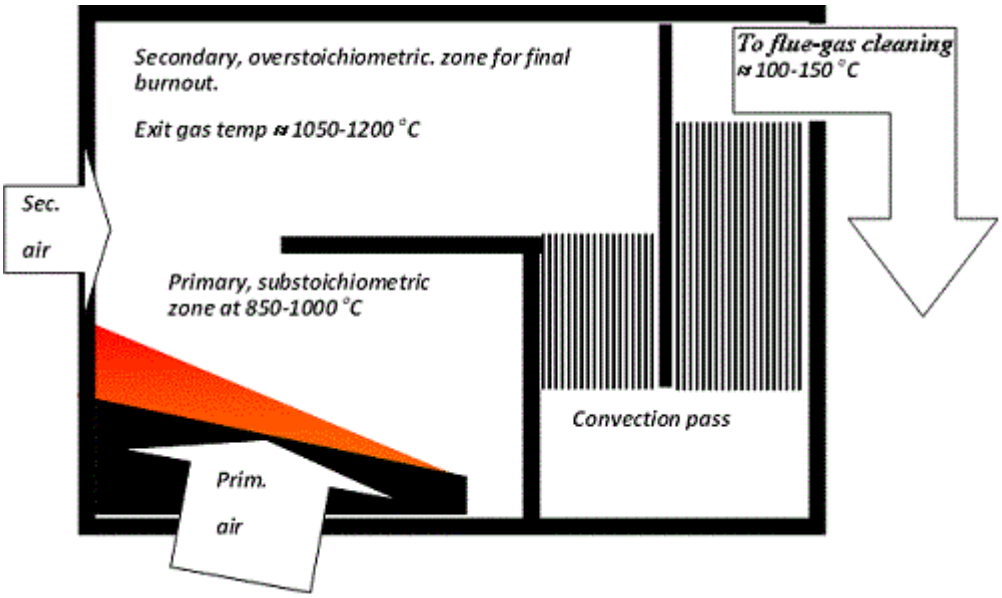
04-00-08h: Kaugküte ja koostootmine – tahke kütus

Nagu näidatud eelmises osas (04-00-08e),on erinevate süsteemide kolme kategooriasse jagamiseks mõjuv põhjus:
Väikesed süsteemid. Käesolevas kontekstis on süsteem väike, kui aastane soojuskoormus on auru tootmiseks liiga väike.
Keskmised süsteemid. Keskmise suurusega süsteem on piisavalt suur, et saaks ka auru toota.
Suured süsteemid. Suur süsteem on piisavalt suur, selleks et elektri tootmine tasuks end ära.

Enamus paigaldatud süsteemides jääb väikese-keskmise soojusvõimsusega süsteemide hulka, laias laastus kuni 10-15 MW, ja need (väljaarvatud mõned) on liiga väikesed selleks, et võimaldaksid ka elektrit toota.

Suurem osa selles suuruses rajatistest varustatakse liikuvate restidega kateldega, mis on ettenähtud sooja vee või auru tootmiseks. Peamine põhjus nende kasutamiseks on vastupidav konstruktsioon, mis võimaldab põletada mistahes tahket kütust. Liikuvate restidega koldeid kasutatakse nii jäätmete tuhastamiseks kui ka pelletite põletamiseks, põhul töötavates kateldes ja paljudes teistes rakendustes. Konstruktsioon tuleb ühteviisi toime nii madalal temperatuuril sulava tuha kui ka suure tuhasisaldusega. Võimalik on valida ka paljude tootjafirmade hulgast paljudes riikides, mistõttu on võimalik valida tarnija, kellel on käepärast kogemusi kütuse kasutamise osas.

Nagu rõhutatud peatükis 03-00 (allpeatükk 03-00-04), projekteeritakse katlaid erineva niiskusesisaldusega kütuste põletamiseks. Niiskusesisaldus määrab ära kolde sees saavutatud temperatuuri taseme. Temperatuuri tase määratakse kolde jahutusega– kuiv kütus vajab intensiivsemat kuivatamist, märjal kütusel pole võib-olla üldse mingit jahutust vaja. Jahutuse määrab omakorda ära tulekolde voodri paksus ja eesmärk on jõuda ligikaudselt ettenähtud temperatuurideni (allpool toodud diagrammil, mis illustreerib liikuvate restidega katla põhikarakteristikuid).



Joon. 04-00 6: Liikuvate restidega katla üldvaade

Tahke kütus lükatakse roobiga või tigukonveieriga astmelisele trepp-restile. Resti konstruktsioon on erinevatel tootjatel erinev, mõne konstruktsiooni puhul on see horisontaalne, mõnikord koosneb rullikutest jne. Kuid funktsiooni kirjeldamiseks piirdutakse vaid ühe disainilahendusega.

Joonisel näidatud tsoonid on üldised ja pole spetsiifilised restkoldega katelde jaoks. Enamikes kaasaaegsetes kateldes on esmane sub-stöhhiomeetriline tsoon kütuse gaasistamiseks, mille järel hoitakse gaasi vähemalt 1-2 sekundit umbes 900 °C juures, et tagada NO_x vähenemine. Pärast seda tsooni sisestatakse sekundaarõhk, et tagada täielikuks põlemiseks vajalik hapnik, kuid sekundaartsoonis hoitakse temperatuur kontrolli all, selleks et vältida liigset NO_x moodustumist. Gaasi viibeaeg selles tsoonis peab jälle olema suurusjärgus 2 sekundit või natuke rohkem, selleks et toimuks täielik ärapõlemine.

Esimene tsoon– gasifitseerimise tsoon, kus kütusekiht on läbilaskva põranda või resti peal. Sellel restil on kaks ülesannet:
• Toetab kütusekihti, nii et see ei langeks alla õhukambritesse
• Loob põlemisõhule läbipääsukanalid.

Resti varvad liiguvad edasi-tagasi, lükates kütust järgimööda alla tuhaeemalduse tigukonveieri suunas, mis asub allpool viimast astet nagu allpool fotol näha on.

Joon. 04-00 7: Liikuva resti alumine osa koos tuhaärastusteoga.

Pilt näitab resti ja väikese“ kastitüüpi“ katla seinaosa, millelt vooderdis on kontrollimiseks eemaldatud. Seda tüüpi katelde seina konstruktsioon on lihtne võrreldes toruahju (paneel) seinaga, selles on veesein seestpoolt lame. See lihtsustatud seinakonstruktsioon pole vastupidav sisemise ülerõhu suhtes ja seetõttu kasutatakse seda ainult kuumaveekateldes. Pange tähele ankruid, mis on keevitatud seina külge esmase tsooni isolatsiooni paigalhoidmiseks. Pildil on need märgitud sinise kleeplindiga, et teenindav personal neid märkaks, vältimaks inimeste vigastusi. Liikuva treppresti kaks alumist astet on selgesti näha, ja samuti ka tuhaärastuse tigu.

Rest koosneb samasugustest osadest kui need, mis allpool näha on.

Joon. 04-00 8: Resti ribid külgvaates, üldpikkus umbes 30 cm

Üksiku ribi ülemisel pinnal on kummalgi pool sälgud, mis võimaldavad õhu liikumist altpoolt üles. Ribide laius, paksus on umbes 3-5 cm.

Joon. 04-00 9: Vaade resti ribidele ülalt

Õhupilude kogupind on tavaliselt 1-10 % kogupindalast, mis on erinevate restide puhul erinev.

Erinevus kuumavee katla ja aurukatla vahel seisneb selles, et nende seinte konstruktsioon on erinev, sest aurukatel peab olema projekteeritud vastu pidamaks tugevale seespoolsele survele seintes.

04-00-08i: Kaugküte ja koostootmine – vedel- ja gaasilised kütused

Ainuke erinevus tahkel biokütusel töötava kaugküttesüsteemi ja vedela ning gaasilise biokütusega süsteemi vahel on katlas. Võib-olla soovite vaadata uuesti viidet tekstilõigus 04-00-08f ja täpsemalt joonist 04-00 2 ning teksti selle all.

Kui tahket kütust põletav katel (vaat. eelmist tekstilõiku 04-00-08h ja täpsemalt jooniseid 04-00 6, 7, 8 ja -9) on projekteeritud tuha käitlemiseks ja materjalid tuleb valida vastu pidamaks korrosiivsete gaasi komponentide ja erosiivsete tuhaosakeste toimele, mis põlemisel võivad tekkida, pole see enam suur probleem siis, kui kütus rikastatakse ja puhastatakse veeldamise ja gaasistamise teel, *millele järgneb* toodetud kütuse puhastamine.

Tahkest biomassist vedelate biokütuste tootmisega tutvumiseks vaadake allpeatükki 04-00-03, vedelast biomassist vedela biokütuse kohta vaadake allpeatükki 04-00-05 ja mudast vedela biokütuse tootmise kohta vaadake allpeatükki 04-00-06.

Pürolüüsist saadud toorõlisid saab põletada masuudipõletitega, mis on monteeritud tavalise katla peale, kuid ei tohi unustada, et pürolüüsiõli sisaldab hulgaliselt tahkest lähteainest pärit lisandeid. Seetõttu võib masuudi asendamisel pürolüüsiõliga osutuda vajalikuks filtrite paigaldamine ja see võib põhjustada kütuse etteandmissüsteemis pumpade ja põletite kulumise kasvu. Selliste kütuste puhul võib tekkida hea põhjus, selleks et süüdet tagada, muuta või kohandada leegi seiresüsteemi ja kaaluda stabiilse leegiga säästupõletite paigaldamist.

Puhastatud ja keskkonnasäästlikud vedelad biokütused nagu FAME, etanool või metanool ei tekita märkimisväärseid probleeme, kui nad asendavad katlas kerget kütteõli, kuid põhjus võib olla kütuse etteandmissüsteemis kummi kvaliteedi muutmiseks.

Tahkest biomassist ja mudast gaasilise kütuse tootmisega tutvumiseks vaadake palun allpeatükke 04-00-04 ja 04-00-07.

Probleemid katla tüüpidega, mis esinevad gaasilise biokütuse kasutamisel, puudutavad peamiselt küttegaasi kvaliteeti.

Kui madala või keskmise kütteväärtusega gaasi saamiseks kasutatakse termilist gaasistamist, s.t kui kasutatakse õhu läbipuhumisega gaasigeneraatorit ja gaas jahutatakse puhastamiseks maha enne katlasse sisestamist, siis võib see gaas osutuda väga ohtlikuks kütuseks. Madal kütteväärtus koos kvaliteediga, mis muutub sõltuvalt lähteainest ja tegelikud tingimused gaasigeneraatoris antud hetkel võivad põlemise seisukohalt anda väga ebastabiilse tulemuse. Selline väljavahetamine võib tähendada seda, et paigaldada tuleb uued leegi seiresüsteemid ja gaasiküttega säästupõletid tagamaks gaasigeneraatoris toodetud gaasile stabiilset süüdet. Samu ettevaatusabinõusid tuleb rakendada, kui katlas kasutatakse kütusena puhastamata biogaasi.

Kui küttegaasi tootmiseks sünteetilisest gaasist kasutatakse keerulist termilist gaasistamist või kui tegemist on anaeroobse lagunemise tulemusena saadud rikastatud gaasilise kütusega, võib küttegaas asendada maagaasi peaaegu iga katla tüübi korral. Kuid põletid tuleb tõenäoliselt välja vahetada.

Ühine kõikidel nimetatud juhtudel on see, et katla soojusvõimsus tõenäoliselt väheneb, kui fossiilne kütus asendatakse vedel- või gaasilise kütusega. See on muidugi kõige märgatavam kui asenduskütus on madalama kvaliteediga. Kusjuures siis, kui biometaan asendab fossiilse metaani või transpordikütuse kvaliteediga FAME asendab kerge kütteõli, võib juhtuda, et katla töös pole mingit erinevust.

04-00-08j: Kaugküte ja koostootmine– planeerimise aspektid

<u>Mastaabi ja aja kokkuhoid</u>
Esialgsed investeeringud kaugkütte süsteemi on alati suured ja kui midagi muud pole teada, võib eeldada, et investeering kaugküttevõrku on samas suurusjärgus investeeringuga katla paigaldamisse. Katla paigaldamise kulud tervikuna jagatakse nelja sama suurusega osasse: nimelt katel ise, katlamaja, kütuse ladustamise/käitlemise/etteandesüsteem ja juhtimissüsteem. Sellel lisandub tarbija soojusvahetite hind, kuid selle eest maksavad kliendid tavaliselt ise, kui nad on süsteemiga ühendatud.

Süsteemi mõistlikult madala kogukulu säilitamiseks, on sel juhul tähtis hoida muutuvkulud madalad ja anda süsteemile sellised mõõtmed, et ta kasutusiga oleks pikk. Jällegi on süsteemi esmatähtsad parameetrid torumaterjali kvaliteet, selle soojusisolatsioon ja võime hoida ära hapniku sissetungimist ning paindlikkus kütuse valikul. Neile parameetritele tuleb projekti planeerimis- ja hankefaasis pöörata piisavalt tähelepanu.

Üldiselt on olukord kõige parem, kui süsteemi baaskoormuse kindlustab üks suur tarbija ja see baaskoormus on koguvõimsusega võrreldes olulise suurusega. Selline baaskoormus võib näiteks olla kasvuhoone, võibolla kogukonna administratiivhooned, koolimaja, haigla või spordikeskus või suur ostukeskus.

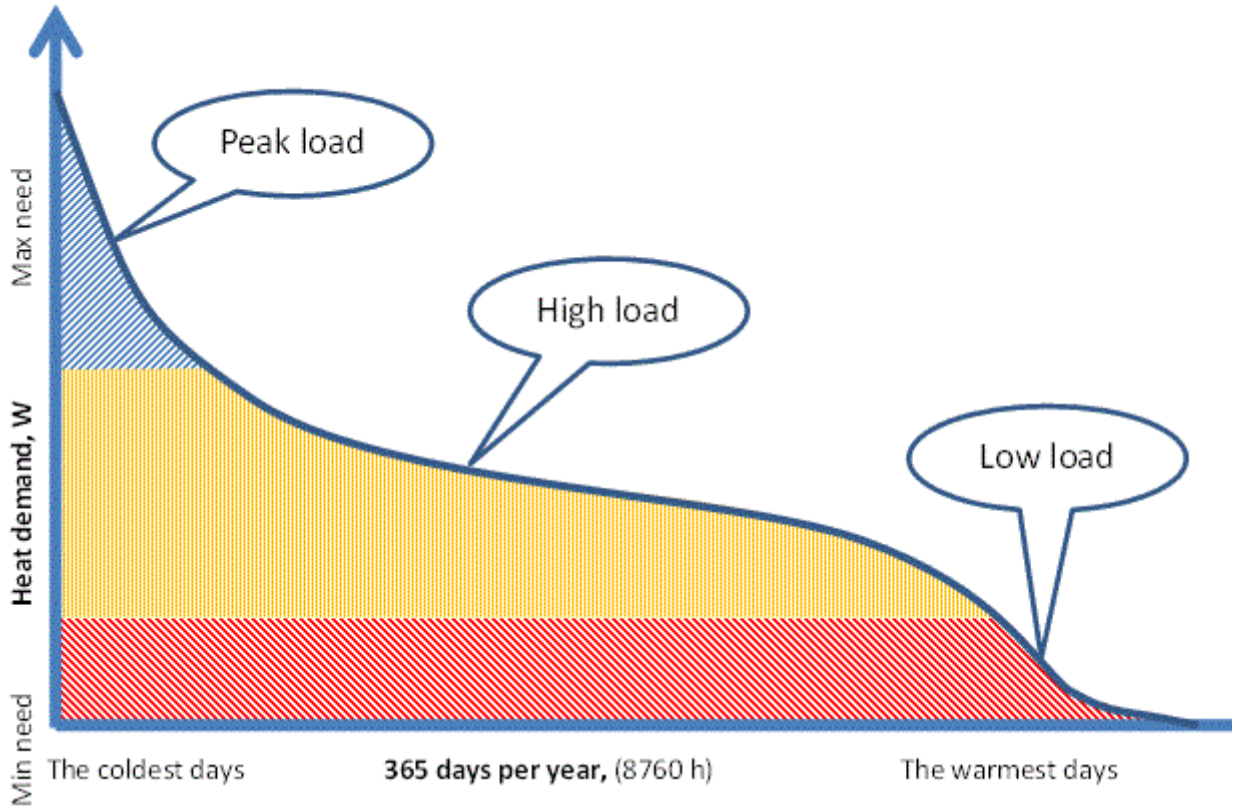
Kaugküttesüsteemide teostatavuse hindamisel tuleb hinnata kaht suurt parameetrit, nimelt *piirkonna energiatihedust* ja *torustiku* potentsiaalset *koormust.*

Piirkonna energiatihedus on lihtsalt kütte kogutarve (näiteks mõõdetuna MWh/a), mis jagatakse selle piirkonna füüsilise ja geograafilise suurusega, kus energiat mõõdeti. Kui näiteks 1,5 km^{2-ses} elurajooni kvartalis oleks aastane soojuse tarbimine 5 GWh, siis on selle piirkonna energiatihedus 5GWh/1,5km^2*aastas või 3,75 kWh/m^2*aastas. Rootsi tingimustes võib seda pidada madalaks näitajaks (5 või suurem oleks normaalne), kuid see poleks erakordselt madal. Oletame nüüd, et vaadeldud piirkonda võiks nihutada nii, et seal oleks ka ostukeskus. Võibolla oleks kogupindala siis hoopis 2,3 m^2, kuid kuna lisandus veel üks majade grupp ja ostukeskus, on soojuse kogutarbimine nüüd 17,5 GWh, mis tõstab konkreetse energiatiheduse 3,75 kWh/m^2*-lt 7,6 kWh/m^2*-ni . Seega ei määra piirkonna energiatihedust looduslik asukoht, vaid see, kuidas süsteem planeeritakse.

Torustiku koormus on samasugune mõõde, kuid piirkondliku energiatiheduse näitamise asemel, peegeldab see torustiku olukorda. Torustiku koormus on lihtsalt kogu jaotatud energia, mis jagatakse jaotusvõrgu kogupikkusega. Vaadates jälle ülaltoodud näidet võib eeldada, et esimesel juhul (5 GWh/1.5 km^2) on piirkonnas 4-500 üksteisest võibolla 40-50 m kaugusel asuvat eramaja. Eeldades, et 100 m (küttevee peale- ja tagasivoolu torustikku) iga maja juurde tähendaks torustiku kogupikkust 40-50 km, ütleme 45. Lisage 5 km süsteemi torustiku koormuse ühendamiseks katlaga ja süsteemi torustiku koormuseks saab 5GWh/50km või 100 kWh/m*aastas. See on väga väike suurus ja sellise väikese koormuse tõttu on kaod selle süsteemi torustikus on väga suured. Selleks et olla tõeliselt teostatav, tuleks eelistada torujuhtme koormusi, mis on suuremad kui 300 kWh/m*aastas, kuid ka 200 kWh/m* aastas oleks veel vastuvõetav. Teise näite puhul, kus pindala laiendatakse koos ostukeskuse ja mõne maja lisamisega, võiksime torustiku koormuse arvutamiseks eeldada 80 km pikkust torustikku ja vastuseks leitakse 220 kWh/m*aastas. Jällegi on torustiku koormus planeerimise vahend, mitte püsiväärtus.

Kuigi piirkonna energiatihedus ja torustiku koormus on süsteemi tõhususe saavutamise seisukohalt tähtsad, pole neil midagi ühist üldise dimensioneerimisega. Selle jaoks on põhivahend soojusenergia kogutarbimine ja selle jaotumine aasta jooksul, mis on ühendatud *koormuse kestvuse graafikus*

Koormuse kestvuse graafik on diagramm, kus võimsustarve W on graafikusse kantud päevade arvu suhtes, mil see võimsustarve vajalik oli. Nii, et võib näha kui mitu päeva ületab tarbimisvajadus mistahes erivõimsuse. Koormuse kestvuse graafiku võib koostada elektritarbe, jahutuseks vajaliku võimsuse, auru tarbe või tegelikult kõige kohta. Antud juhul aga näidatakse tüüpilist olukorda, kus huvi pakub mõnusat soojust kindlustav küttetarve.



Joon. 04-00 10: Koormuse kestvuse graafik

Te saate aru, et kogu piirjoonega ümbritsetud ala kujutab endast kütteks vajalikku aastast energiatarbimist kokku väljendatuna Wh/aasta. Kuigi kogu vajamineva energia hulk on tõenäoliselt enamasti kliima funktsioon, on graafiku üldkuju paljudel juhtudel ühesugune.

Erinevates riikides on erinevad standardid selle kohta, kuidas katla dimensioneeritud maksimaalset toodangut võrreldes maksimaalse tarbimisega käsitletakse.

Tähtis on meeles pidada, et mitmete majadega süsteemide maksimaalne soojuse tarbimine (W, mugavussoojus + kraanivesi) on alati väiksem kui üksikute majade maksimaalne soojustarbimine kokku. Seda seepärast, et suures paljude majadega süsteemis ei lange üksikute majade soojustarbimise tipp samale ajale. Mitte kõik ei ole duši all samal ajal.

Siin tuleks kasutada vähendamise tegurina **üheaegsustegurit**(f_{SIM}) ja selle arvutamine on jällegi erinevates kliimavööndites erinev. Üheaegsusteguri väärtus on alati väiksem kui üks ja kaugküttekatlamaja maksimaalne dimensioneeritud võimsus on siis
$P_{OUT,MAX} = f_{SIM}$*(üksikute majade tipptarbimise summa)

Sellise võimsusega varustamist ei saa jätta ühe katla hoolde, vaid ohutuse seisukohalt peab süsteemis alati olema katlaid rohkem. Ka väga lühike ülevaade põlemisprotsessist allpeatükis 04-00-01 on mõistetav nii, et arvestada tuleb keskkonnaprobleemidega.

Keskkonnamõju, tõhususe ja täieliku põlemise põhjustel, tuleb planeerida katlamaja selliselt, et seal oleks vähemalt kaks katelt:
• Madalal koormusel töötamise katel. Selle suurus peaks vastama ligikaudu 25 % maksimaalsest võimsusest, s.t. $P_{LOW_LOAD} \approx P_{OUT,MAX}*f_{SIM}*0.25$
• Suurel koormusel töötamise katel. Selle suurus peaks vastama ligikaudu 75 % maksimaalsest võimsusest, s.t
$P_{HIGH_LOAD} \approx P_{OUT,MAX}*f_{SIM}*0.75$
Tippkoormusel töötavad mõlemad katlad üheaegselt.

Iga katla maksimaalsele võimsusele võivad piirid seada kütuse kättesaadavus ja teised põhjused ning samas süsteemis võib tekkida vajadus suurema arvu katelde järele – see on ainult miinimum. Samuti tuleb teha selgeks, et selline katlamaja struktuur kehtib ainult tahke kütuse põletamisel ja ei sobi gaasil või õlil töötavates kaugküttesüsteemides. Gaasil ja õlil töötavaid katlaid saab kiiresti sisse ja välja lülitada, kusjuures tahke kütusega katel võib seda mitte võimaldada. Ka saasteainete tekkimine on tahke kütuse puhul suurem probleem kui gaasi ja õliga ja seetõttu on tahkel kütustel töötava katla ülevaatuse intervall piiratud niikaua, kui keskkonnamõju peetakse oluliseks.

Kõige suurema katla maksimaalne võimsus on võrdlusarv, mis määrab süsteemi suuruse: väike, keskmine või suur nagu seda kirjeldati eespool tekstilõigu 04-00-08e sissejuhatuses.

04-00-08k: Võimalused suurte süsteemide rakendamiseks

Suurte süsteemide rakendamisel võib osutuda majanduslikult otstarbekamaks erinevate toodete kooskasutamine, sest süsteemis tervikuna võib olla võimalik teha suuremaid investeeringuid.

Kuid tuleb aru saada, et suure üldise energiatõhususe säilitamiseks on kas soojuse tarbimine või kütusega varustamine süsteemi mõõtmete määramise tegur.

Näide:
Oletame, et on piirkond, kus mõistlikus kauguses on igal aastal 100 000 tonni märgi põllukultuuride jäätmeid. Eeldades, et kontrollväärtus (vaat. tekstilõiku 04-00, et -01a) $q_{NET,DAF}$ on 18 MJ/kg, eeldatav niiskusesisaldus kohale toimetamisel 32 % ja keskmine tuhasisaldus 12 % (valitud on need väärtused, mis sarnanevad põhu eeldatavate väärtustega) on kütteväärtus kohale toimetamisel
$q_{NET} = q_{NET,DAF}*(1-f_W)*(1-f_A) - 2.443*f_W = 18*(1-0.32)*(1-0.12) - 2.443*0.32 = 9.99$ MJ/kg.
$100*10^6$ kg kujutab siis endast $999*10^6$ MJ või umbes 277.5 GWh kütuse energiat.
See oleks ligikaudu piisav kogus kütust 40 MW_{th} katla kütmiseks, mis on piisavalt suur et soojuse ja elektri koostoomisjaama investeeringud end ära tasuksid. Kaasaaegses koostootmisjaamas võib eeldada, et ligikaudu pool soojusvõimsusest saadakse soojusena. Seega peab turgu jätkuma 20 MW soojusele, et tagada majanduslik otstarbekus.
Oletades, et tegelikult on soojusele turgu vaid 10 MW, tuleks rajada väiksem jaam (antud juhul 20 MW_{th}), mis võib siiski olla veel piisavalt suur koostootmiseks. Seega on see näide illustreerimaks seda, et jaamade esialgsel planeerimisel tuleb alati vaadata ka milline on turg.

Kõige tavalisem rusikareegel võiks olla see, et kui ühepereelamu küttesüsteem (< 0.1 MW_{th}) nõuab keskkonnatoime seisukohalt kvaliteetseid pelleteid või briketti, 1 saab MW_{th} katelt kütta märja hakkpuiduga või töötleva tööstuse ühtlase koostisega jääkidega. Samamoodi saab 5 MW_{th} katelt kütta märgade raiejäätmete ja põllukultuuride jääkidega.

Umbes 10 MW_{th} katla kütuseks võib olla isegi märg MSW (NB! puhas fraktsioon ilma raskemetallide või anorgaaniliste ja kahjulike saasteaineteta) ja keskkonnatoime on siiski täielikult vastuvõetav. Seega on selles lõigus kirjeldatud jaamad suuremad kui 10 MW_{th}.

Tõenäoliselt on olemas hallid tsoonid ja ülalantud arvud on ainult indikatiivsed ning sõltuvad tugevasti katelde konstruktsioonist, kuid võivad suurusjärguna olla kütuse ressursi ja põletamistehnoloogia kombineerimise aluseks.

04-00-08l: Suured süsteemid: Kaugjahutus

Globaalse temperatuuri tõusu ning üha kasvava kodu- ja kontorielektroonika kasutamise tõttu on jahutamisest saamas järjest suurem turg ja kaugjahutuse süsteemid on paljudes kohtades sobiv alternatiiv.

Kaugjahutus on täpselt sama asi kui kaugküte – ainult kuuma vee jaotamise asemel (umbes 60-120 °C) kütteks, jaotatakse külma vett temperatuuril 2-3 kuni 10 °C, mis on ettenähtud jahutamiseks. Nii nagu kaugkütteski (võite soovi korral vaadata eespool lõiku 04-00-08g), koosneb süsteem soojusvahetitest ja pumpadest, tootmisahelast, jaotusahelast ja lõpptarbija varustusahelast, millel kõigil on oma soojusisolatsioon.

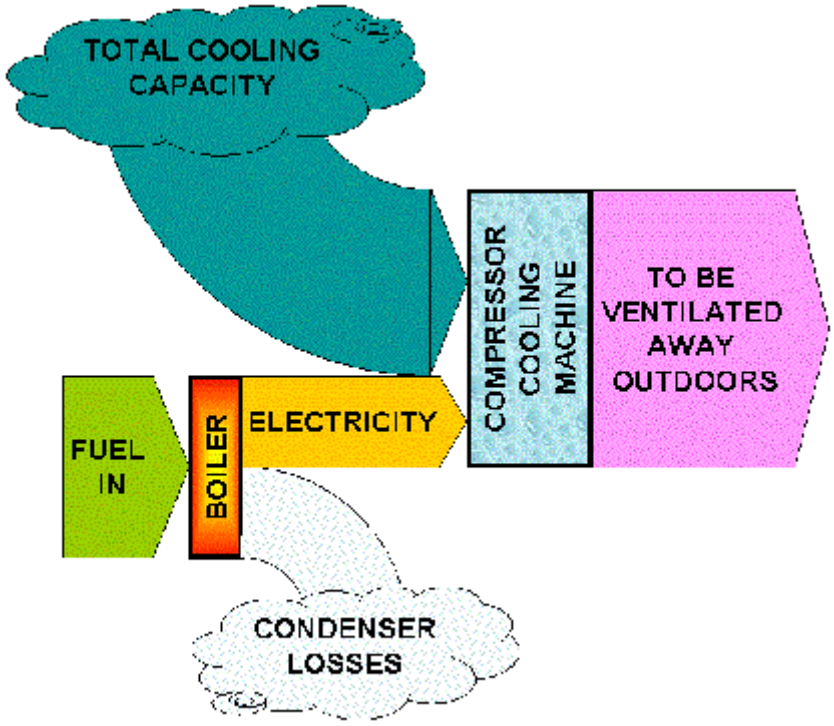
Kuid kaugjahutuse tootmisel kasutatakse katelde asemel soojuspumpasid.

Kaugküttesüsteemis pumbatakse kuum vesi, ütleme 80 °C juures, katlamajast välja ja toimetatakse tarbijatele. Tarbijad võtavad soojusvahetites soojuse oma süsteemi ja kui vesi on läbinud kõigi tarbijate küttetorustiku, tagastatakse see katlamajja temperatuuril, ütleme, 40 °C, siis soojendatakse seda uuesti algtemperatuurile 80 °C ja tsükkel algab uuesti.

Kaugjahutussüsteemis pumbatakse külm vesi välja jahutusjaamast, ütleme, 2 °C ja toimetatakse tarbijatele. Tarbijad “kaadavad” oma üleliigse soojuse soojusvahetite kaudu jahutusvette, mille tagajärjel temperatuur jahutusvõrgus tõuseb. Siis liigub jahutusvesi tagasi jahutusjaama, ütleme 12 °C juures. Siis jahutatakse see uuesti maha algtemperatuurile 2 °C ja tsükkel algab uuesti.

Küsimus ja kriitiline punkt on see, kuidas on võimalik jahutust saavutada ja joonis 04-00 11 näitab üht levinumat võimalust, kompressoriga jahutusseade. Kuid on olemas ka teine võimalus absorbeerimisega jahutusseade.

Kõige tavalisemates õhukonditsioneerides kasutatakse kompressoriga jahutusseadmes külma keskkonna tekitamiseks elektrit. Jahutusfaktor sellises kompressoris on 2-3, mis tähendab, et kui te lisate 1 ühiku elektrit, siis jahutusseadme võimsus on selline, et see suudab absorbeerida ja süsteemist välja võtta 2-3 ühikut üleliigset soojust. See üleliigne soojus koos sisestatud elektriga moodustavad madala temperatuuriga kao, mis tuleb kõrvaldada. Lihtsalt öeldes, kasutame nüüd kompressori jaoks jahutusfaktorit 2.



Joon. 04-00 11: Kompressoriga jahutusseade koos kondensatsioonielektrijaamaga

Sellel diagrammil on visandatud kondensatsioonielektrijaam (lihtsustamiseks on kaod välja jäetud) koos kompressoriga jahutusseadmetega.

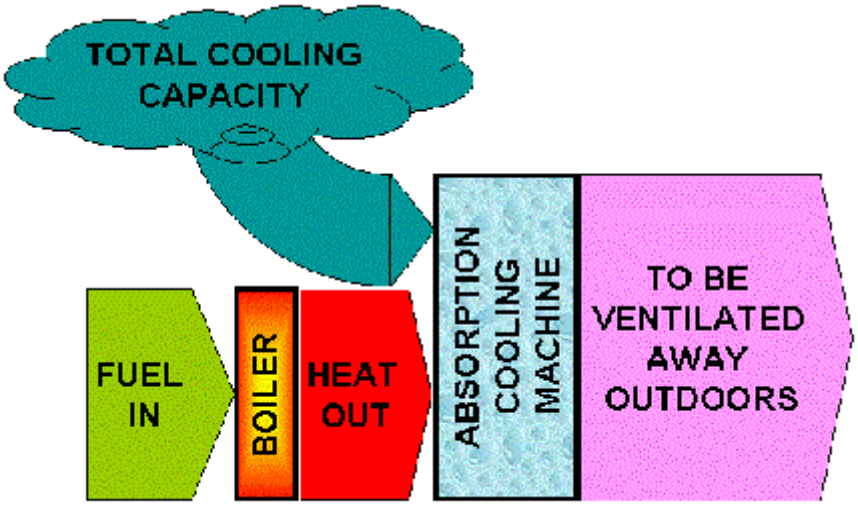
• 1 ühik kütuseenergiat annab elektrijaama saabumise järel tulemuseks 0,5 ühikut elektrienergiat. Siin me oletame, et 50 % elektriline kasutegur on ebareaalselt suur.

• Elekter, 0,5 ühikut, kantakse üle kompressoriga jahutusseadmesse koos 1 ühiku liigsoojusega jahutatud mahust. Jahutusfaktoriga 2 on ühiku jahutusvõimsus täpselt kahekordne võrreldes sisestatud elektrihulgaga, niisiis 0,5 ühikut elektrit vastab absorptsioonile 2*0.5 = 1 ühik liigsoojust.

• Tulemuseks on 1,5 ühikut madala temperatuuriga soojust, enamasti toasoe õhk, mis ventileeritakse õue.

Kõige tavalisemates rakendustes – õhukonditsioneerid (AC)– eemaldatakse liigsoojus üleliia soojast toaõhust, tootes jahedat õhku ja nõudega, et liigsoojus eemaldatakse väljaspool hoonet. Teise tavalise rakenduse korral – külmikud - eemaldatakse liigsoojus külmiku seest tagapaneeli kaudu ümbritsevasse ruumi, s.t. kööki, säilitades külmiku sees madala temperatuuri.

Absorbeerimisega jahutusseadmed kasutavad ainult väga vähe elektrit, aga seadme peamine energiaga varustamine toimub selle asemel soojuse kujul. Absorbeerimisega jahutust kasutatakse propaani ballooniga külmikutes haagissuvilates või toiduainete säilitamiseks kaugetes paikades. Kuna puhtalt termodünaamilisest seisukohast lähtudes on soojuse kvaliteet palju madalam kui elektril, vajavad absorbeerimisega jahutusseadmed väga palju rohkem energiat ja jahutusfaktor on ainult 0,5 kuni 0,6 läheduses. Vaadake nüüd allpool olevat skeemi, kasutades asjad lihtsamaks tegemise mõttes jahutusfaktorit 0,5.



Joon. 04-00 12: Absorbeerimisega jahutusseade koos küttejaamaga

Absorbeerimisega jahutusseadme põhieelis on see, et soojusvarustuse saab tagada umbes 60 – 90 °C kaugküttevee kasutamisega, samas kui elektritarve on väike. Kuna sooja vett saab toota väga suurte kasuteguritega (tublisti üle 90 %), aga elektrit toodetakse ainult väga harva kasuteguritega, mis ületavad 50 %, on see eelis.

<u>Näide:</u>
Selleks et illustreerida erinevusi ja tagajärgi, vaatame näidet tagant ettepoole:
Oletame, et lõppeesmärk on jahutada hoones maha 2 MW liigsoojust.
Palun ärge unustage, et me kasutame termineid nagu "elektrijaam" ja koostootmisjaam "elektri- ja soojuse koostootmisjaam (CHP)" tootmisüksuste kohta, mille võimsus on ainult mõni megavatti. On selge, et see pole täpne terminoloogia, sest mitte kunagi ei ehitataks nii väikeseid elektri- ja koostootmisjaamu, kuid me kasutame näites siiski neid termineid, et illustreerida süsteemi erinevaid lahendusi.

Kasutades *kompressoriga* jahutusseadet, mille jahutusfaktor on 2, nõuab 2 MW liigsoojuse maha jahutamine 1 MW elektri sisestamist.
Selleks, et toota 1 MW elektrit tavalises kondensatsioonielektrijaamas, mille reaalne elektriline kasutegur on 45 %, tuleb sisestada 1/0.45 ≈ 2.25 MW_{th} kütuseenergiat.

Kasutades *absorbeerimisega* jahutusseadet, mille jahutusfaktor on 0,5, nõuab 2 MW liigsoojuse eemaldamine jahutusseadmesse 4 MW soojuse sisestamist pluss ligikaudu 0,1 MW elektrit. Kui soojust toodetakse koostootmisjaamas, mille kogu kasutegur on 90 %, siis nõuab 4 MW soojuse ja 0,1 MW of elektri tootmine (4+0.1)/0.90 ≈ 4.55 MW_{th} kütuseenergiat. *Koostootmisjaamas võiks tootmist jaotada nii: 4 MW soojust pluss 0,1 MW elektrit – see on ainult kindlaksmääratud elektritootmise ülemine piir.*

Seega, kui meie eesmärk on toota ainult jahutust, siis on pelgalt kütuse tarbimise seisukohalt kompressoriga jahutusseade kõige parem.

Jäägem sama kahe jaama juurde: üks kondensatsioonielektrijaam nimivõimsusega 2,25 MW_{th}, elektrilise kasuteguriga 45 % (s.t. 1 MW elektrienergia toodang) ja üks koostootmisjaam soojusvõimsusega 4,55 MW, mille kasutegur kokku on 90 %, millest maksimaalselt 38 % on elekter.
Nüüd vaatleme sellist olukorda, et selle asemel on vaja ainult 1 MW jahutusvõimsust.

Esimene süsteem – kondensatsioonielektrijaam koos kompressoriga jahutusseadmega – nüüd on kaks peamist võimalust:
1) töötada poolel koormusel, s.t. umbes 1,1 MW_{th} ja varustada ainult kompressoriga jahutusseadet;
2) töötada täiskoormusel, s.t umbes 2,25 MW_{th}, varustada kompressoriga jahutusseadet 0.5 MW elektriga ja anda/müüa ülejäänud 0,5 MW elektrit põhivõrgule.

Teine süsteem – koostootmisjaam koos oma absorbeerimisega jahutusseadmega– siin on mitu võimalust, kuid piisab, kui kirjeldame ainult kahte:
1) töötada poolel koormusel, s.t. umbes 2,3 MW_{th} ja varustada ainult absorbeerimisega jahutusseadet.
2) töötada täiskoormusel, s.t umbes 4,55 MW_{th}, ja suurendada elektri tootmist (s.t 38 % 4.55 MW-st = 1,73 MW_{el}). Anda jahutusseadmele piisavalt soojust (2 MW) ja piisavalt elektrit (oletame 0,1 MW, absorptsiooni soojuspumpade elektritarve pole täpselt lineaarne jahutuse tarbimisega). Jahutada ära (s.t kaadata) liigsoojus (0.36 MW ja anda /müüa ülejäänud elekter. (1,73 MW lahutatud 0,1 MW jahutusseadmele = 1,6 MW) põhivõrgule.

Te märkate, kuidas teisel juhul, kui jahutuse nõudlus väheneb, lülitub süsteem, milles on koostootmisjaam koos oma absorbeerimisega jahutusseadmega, järkjärgult ümber, muutudes üksnes jahutuse tootjast ka oluliseks elektritootjaks, kes annab põhivõrku enam kui kolm korda rohkem elektrit, kui seda suudab kondensatsioonielektrijaam.

Hind, mis tuleb selle hüve eest maksta on see, et koostootmisjaam tuleb algselt projekteerida suurem (4,6 MW_{th}) kui kondensatsioonielektrijaam (2,25 MW_{th}). Tootmise jaotumise paindlikkus, mis on omane teisele süsteemile, ilmneb veelgi enam neil juhtudel, kui (kuna see sõltub sageli sellest, kuidas on tehtud planeering) erinevate tarbijate kütte ja jahutuse nõudlused on samaaegsed.

Käesolevas näites me oletasime, et tootmisjaamade ("elektrijaam ja "koostootmisjaam") suurus oli projekteeritud nii, et täiskoormusel suutsid nad varustada ainult jahutusseadmeid ja tegelikus elus seda ilmselt ei juhtu, aga näide on siin ainult erinevate süsteemilahenduste üldiste erinevuste illustreerimiseks.

Samuti võite näha, et koostootmisjaamast on kaod kokku (kaod katlast 10 % 4,6 = 0,46 pluss 0,36 MW liigsoojust, mis antud juhul jahutatakse maha) ainult natuke suuremad kui kogu soojuskadu kondensatsioonielektrijaamast (0,6 MW) vaatamata sellele, et koostootmisjaam on rohkem kui kaks korda suurem (4,6 MW_{th} võrreldes 2,25 MW_{th}).

Nüüd tuleb selgelt märkida, et need tehnoloogiad – koostootmine ja kondensatsioonijaamas elektri tootmine, või mistahes muu elektri tootmine, kompressoriga jahutusseadmed ja absobeerimisega jahutusseadmed– pole mingil juhul ainuõiged. Neil kõigil on oma osa täita tuleviku jätkusuutlikus energiasüsteemis. Kuid need kaks (koostootmine ja kondensatsioonielektrijaam) põhinevad täiesti erinevatel filosoofiatel, mille mõju on üsna erinev, arvestades jahutuse tootmist ja selle kliendile tarnimist:

• kondensatsioonijaamas elektritootmise põhimõte on toota elektrit ja mitte midagi muud ning igasugune kompressoriga jahutusseadmetega toodetud jahutus nõuab elektrit, mis vähendab teisteks eesmärkideks toodetud elektri hulka.

• Koostootmise põhimõte on kasutada soojustarvet elektritootmise baasina ja igasugune absorbeerivate jahutusseadmetega toodetud jahutus tekitab soojustarbe, võimaldades sellega suurendada elektri tootmist.

Seega kondensatsioonielektrijaamas elektritootmise netovõimsus väheneb, kui jahutuse tootmist suurendada tuleb (s.t suvel ja sooja ilmaga), samal ajal, kui koostootmisjaamad koos absorbeerivate jahutusseadmetega ja kaugjahutusvõrkudega näitavad vastupidiseid karakteristikuid!

Kuna jahutusseadmed on kallid, on mõlemad lahendused teostatavad ainult suurtes süsteemides, kuid tuleb meeles pidada, et kaugjahutuse tootmine kaasaegsetes koostootmisjaamades loob väga hea baasi elektri tootmiseks ja pakub samuti paindlikke võimalusi müüa soojust, müüa jahutust ja müüa elektrit hooajalisel turul.

04-00-08m: Suured süsteemid : koospõletamine

Nagu lühidalt mainitud lõigus 03-00-02d, saab tahket biomassi jahvatada koos kivisöega ja koos põletada peenestatud kivisöel töötavates elektrijaamades. Paljudel juhtudel võib see olla lihtsaim ja odavaim meetod biokütuste sissetoomiseks riiklikku energiasüsteemi. Kogemusi mitut liiki jaamade ja seadmete kohta on jaganud ja dokumenteerinud Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA), näidates selgelt, et seda tehnoloogiat on võimalik rakendada.

Kõige tavalisemad veskite tüübid, mida on seda laadi rakendustes kasutatud, on kuul- ja varrasveskid. Selleks, et saavutada peenestatud kütuse põletamiseks vajalikku osakeste suurust, s.t ligikaudu < 0.8 mm, peab materjal selles veskis olema mehaaniliselt rabe. Biomass pole tavaliselt rabe, kui ta just väga kuiv ei ole. Seetõttu peab selleks, et materjali saaks jahvatada, seda eel töötlema.

Kivisöe ja biomassi erinevate tuha- ja põlemisomaduste tõttu ja samuti biomassi väiksema kütteväärtuse tõttu (seega tuleb käidelda suuri koguseid) pole tavaliselt soovitav, et biomassi osa ületaks 10-15 % kogu soojusvõimsusest. Seevastu näitab kogemus enamasti seda, et biomassi sisend sellistel tasemetel ei põhjusta elektrijaamades suuremaid tehnoloogilisi ega keskkonnaprobleeme.

04-00-08n: Suured süsteemid: Planeerimise aspektid

Biomassil töötavate jõujaamade suuruse ülemise piiri seab enamusjuhtudel biomassi kättesaadavus. Nagu näidati peatüki 02-00 lõikudes 02a ja 02b, on biomassi looduslik kasvumäär piiratud suurusjärgus vähem kui 15 tonni kuivainet hektari kohta aastas. Võttes arvesse, et tüüpilised kuivaine kütteväärtused on jällegi piiratud suurusjärguga 20 MJ/kg, leitakse, et ligikaudne piirkondlik energiatootmise tihedus oleks $15*10^3*20$ = 300 000 MJ/ha kohta aastas, mis vastab natuke rohkem kui 83 MWh/ha aastas või 9,5 kW/ha. See on siis ülemine piir ja reaalsem oleks 10% sellest.

Kasutades lihtsuse mõttes keskmiseks kasvumääraks 1 kW/ha, võib aru saada, et 10 MW (s.t 10 000 kW) keskmise soojuskoormusega jaama jaoks vajalik kütus tuleb koguda 10 000 hektarilt, mis vastab ideaalse ringi korral raadiusele < 6 km. Teisest küljest vajaks 1 GW_{th} (umbes 450 MW_{el} , eeldusel, et on tegemist tavalise aurutsükliga) jõujaam biomassiga varustamist, mis on kogutud 56 km raadiuses.

Nagu selles peatükis mitmel pool on näidatud, mõjutavad biomassi erinevate klasside erinevad põhiomadused nende erinevates protsessides kasutamise võimalusi.

Seega piirab biomassi kasutamist suurtes põletusjaamades neile ettenähtud biomassi liigiga varustamisel transportimise kaugus. Ülalmainitud 1 GW_{th} elektrijaama jaoks tähendab see seda, et tegelikult saab kasutada ainult õige klassi biomassi, mis laiendab raadiust sõltuvalt pinnastruktuurist võibolla 100 km ulatusse.

Biomassil põhinevate jõujaamade jaoks on olemas ka teine aspekt. Madala energiatiheduse ja vastavate transpordikulude tõttu (tekstilõik 03-00-02b), võib tahke kütus osutuda suhteliselt kalliks ja seega on vaja, et töötlemine annaks suurima võimaliku kasuteguri. Seetõttu peaksid biomassil põhinevad jõujaamad olema koostootmisjaamad. Kuid siis jääb alles küsimus soojuse turu kohta. Minnes tagasi 1 GWth elektrijaama juurde, ja eeldusel, et tegemist on supermoodsa kombineeritud BIGCC (04-00-08f) jaamaga, võib maksimaalseks elektriliseks kasuteguriks olla 62 %, mis annab soojuse tootmisvõimsuseks üle 300 MW. Niisiis, ka siin tekib küsimus piisavalt suure soojuseturu leidmisest.

Üldine järeldus ja soovitus planeerimise algetappidel on seega: esiteks määrata ära ja klassifitseerida piirkonnas leiduvad käepärased ressursid, siis määratleda turg soojuse müügiks ja kasutada neid andmeid jaama suuruse üle otsustamiseks.

04-00-09: Kütuse muundamist vajavad protsessid

Mõnd liiki põletusseadmed on iseenesest keerulised ja kindla otstarbega. Neil juhtudel võib osutuda vajalikuks muundada enne energia lõppkasutamist tahke biomass gaasiliseks või vedelkütuseks. Protsessid või seadmed, mis kuuluvad nende piirangute alla on:
• Sisepõlemismootorid, kuna neis peab põlemisintensiivsus olema väga suur ja neid ei saa ehitada lihtsalt, et tuhka põlemiskambrist (s.t. silindririst) välja võtta. Statsionaarel kasutamisel, nagu näiteks väikesed koostoomisjaamad (04-00-08f), võibolla pole kütuse (kas siis gaasilise või vedela) kvaliteet ülitähtis, kuna mootori kaal pole otsustava tähtsusega, kuid transpordis kasutamisel on kvaliteet otsustav faktor.
• Gaasiturbiinid, kus sööbivad või erosiivsed gaasikomponendid võivad osutuda suure kasuteguri saavutamiseks vajalike siledate pindade ja 3000 rpm juures töötavate turbiinide täpse tasakaalustamise jaoks hävitavaks. Gaasiturbiine vaadeldi juba eespool tekstilõigus 04-00-08f .
• Kommertskasutuses kütuseelementide kasutamine piirdub täna põhiliselt energia ammutamisega kütuses sisalduvast vesinikust ja nad on väga tundlikud katalüsaatori mürgise toime suhtes. Mõne kütuseelemendi toide võib olla metaan või mõni muu kergem süsivesinik ja nad suudavad ammutada energiat mitte ainult vesinikust, vaid ka süsinikust. Kuid praegu pole need elemendid veel kommertskasutuses.
• Tööstusprotsessides, kus tootel on otsene kontakt suitsugaasidega ja samas on ta tundlik saastumuse suhtes. Valides ainult ühe väga lihtsa näite: Te ei taha, et tahke biokütuse põlemisega tekkivad kuumad, tahma ja tahkeid tuhaosakesi sisaldavad gaasid satuvad teie paberimasinates kuivatamise lõpul kontakti valge paberiga. Sel juhul ja sarnastel puhkudel on olemas kaks võimalust: protsessi võib ümber kujundada kaudseks kütteks või kütust võib muundada ja puhastada puhtaks kütuseks.
• Tööstusprotsessid, kus vajatakse üle 1500 °C temperatuuri. Neil juhtudel ei piisa ainult kütuse muundamisest, vaid vajalik on ka kütuse kvaliteedi parandamine. Kui ballast veeauru ja inertsete gaasidena pole kõrvaldatud, ei paranda biomassi gaasistamine iseenesest kütuse kvaliteeti ega tõsta leegi saavutatavat temperatuuri. Sama kehtib mistahes muundamise kohta. Kuiv ja tahke biomassi, nagu puitunud biomassi, võib hästi kasutada üle 1500 °C temperatuuride saavutamiseks, kuid praktilistel eesmärkidel (lihtsustatud protsessi juhtimissüsteemid ja täpsem kontroll) eelistatakse neil juhtudel sageli vedel- või gaasiliste kütuste kasutamist.

04-00-09a: Muundamine: Transpordikütus

Viimastel aastatel on suureks uurimisvaldkonnaks saanud biomassist transpordikütuste tootmine. Transpordikütuse jaoks kehtib sõltuvalt liiklusvahendist üks suur nõue ja see on kütteväärtus (04-00-01a) ja/või energiatihedus (03-00-02b):
• Rongid, väga väikese hõõrdumise ja suure koormusvõimsusega, on palju vähem tundlikud mootori enda kaalu ja mahu ning kütuse kasutamise suhtes kui lennukid.
• Sõiduautodes, kus te soovite suurt reisijate ja pagasiruumi, on nõue, et sõiduks vajalik kütusemaht ei oleks liiga suur. Ka mootor ei tohi olla liiga raske.
• Veo- ja platvormautode, kus põhinõudeks võib olla eelkõige suur kandevõime, vajadus võib see-eest olla, et kütuse kaal poleks liiga suur.

Seega on kütusevajadus erinev, kuigi on tegemist ühisnimetajaga, nimelt peab kütus energiasisalduse tagamiseks olema piisavalt kõrge kvaliteediga.

Teine nõue kütusele on see, et ta peab olema kasutatava mootori jaoks sobiv.

Kaht tüüpi mootorid - diiselmootor ja ottomootor – erinevad peamiselt sellest, milline on kütuse süüde:
• diiselmootoris lülitab süüte sisse soojus, mis tekib siis, kui õhk mootori silindri sees surutakse kokku. Selline süüde (teatud piires muidugi) pole kütuse koostise suhtes tundlik ja niisiis sellised mootorid võivad töötada paljude kütustega. Optimaalseks tööks tuleb mootorit kütuse suhtes reguleerida, kuid üldiselt võttes on diiselmootorid kütuste suhte tolerantsemad kui ottomootorid.
• Kaasaegses Otto-mootoris, nagu seda kasutatakse enamuses bensiinil töötavates autodes, annab süüteküünlast kütusele süüte väike elektrilahendus (säde). Süüteenergia süüteküünlast on tohutult väiksem kui diiselmootoris kütuse kokkusurumisel saada võib ja seega peab kütus olema selline, et see sädemele reageerides tegelikult sütib. See seab kütusele kõrged kvaliteedinõuded ja Otto-mootorites on kütuse omadustele kehtestatud nõuete tõttu kütuse kasutamine palju enam piiratud kui diiselmootorites.

Ühine on mõlemat tüüpi mootoritele see, kui mootor töötab, ütleme 6000 pööret minutis, millele vastab 10ms pöörde kohta, peab kütus täielikult ära põlema poole pöörde jooksul, s.t 5 millisekundi jooksul. Seega peab mõlemal juhul kütus olema kiiresti põlev. Seda nõuet saab leevendada, kui mootor töötab madalatel pööretel, kuid sel eest “makstud hind“ on oluliselt suurem mootori kaal.

Diiselmootoris on tähtis see, et kütus tegelikult sütib, kui temperatuur ja rõhk silindris kasvavad. Sõltuvalt kütuse kvaliteedist võib see süüde võtta vähem või rohkem aega ja see aeg klassifitseeritakse tsetaanindeksit või tsetaanarvu alusel. Nõudmised diislikütuste turustamiseks on sätestatud standardis EN 590.Tsetaanarvu ja selle seost lähteainetega biodiisli tootmisel on mõnevõrra käsitletud tekstilõigus fame kohta.

Otto- mootoris vastupidi on tähtis, et kütus juhuslikult ei sütiks kokkusurumise faasis. Vastupidavust kokkusurutud kütuse süttimisele saab mõõta oktaanarvuga ja mida suurem on oktaanarv, seda tugevamale survele suudab kütus süttimata vastu pidada. Seega püüeldakse kõrgete oktaanarvude poole, sest seda vajavad kütused, mis on ettenähtud Otto-mootoritele ja lennukitele. Euroopa Liidu standard bensiinile on EN 228.

Mõlemad mootoritüübid võivad eeldusel, et kütuse sissepritse on välja reguleeritud, töötada gaaskütustega. Kuid kuna mootor tuleb reguleerida vastavalt kütuse kvaliteedile, peab olema tagatud, et kütuse kvaliteet aja jooksul ei muutu.

Seega ei nõua transpordikütuse tootmine biomassist mitte üksnes ranget kvaliteedikontrolli, vaid ka protsessi stabiilsust, nii et kütuse kvaliteet püsiks muutmatuna vaatamata mistahes muutustele lähteaines. Seetõttu piirab lähteaine kasutamisvõimalusi ja suurendab kogu protsessi majanduslikku haavatavust.

Samuti on tähtis juba planeerimise käigus arvesse võtta direktiivi 2009/30/EC nõudeid. See direktiiv määratleb osa kasvuhoonegaaside heitkoguste ja transpordikütuste tootmise dokumentatsiooni kohta sätestatud nõuded.

04-00-09b: Muundamine: kütuseelemendid

Kütuseelementide meeldiv külg on nende võime, ilma mingi sisemise mehaanilise või liikuva osata, muuta elektriks kütuses keemiliselt seotud energia. Muidugi toimub see nii ka tavalises patareis, kuid sõna “kütuseelement” kasutatakse tavaliselt ainult nende protsesside kohta, kus toimub elektrolüüdi korduvtäitmine. Tavalises patareis on kõik, nii elektrolüüt kui ka elektroodid, kinnises kassetis ja lõpptooted jäävad samamoodi selle sisse. Kütteelemendis elektrolüüt pumbatakse või gaasi puhul surutakse elemendi sisse ja lõpptooted võetakse pidevalt sellest välja.

Kütuseelemente võib laias laastus jaotada madalal ja kõrgel temperatuuril töötavateks kütuseelementideks. Kõrge temperatuuriga kütteelemendid töötavad üle 500 %C juures ja võivad olla sulakarbonaatsed, tahkeoksiidsed ja keraamilised kütuseelemendid ning teised nagu näiteks otsesed süsiniku kütteelemendid. Kõrgel temperatuuril töötava kütteelemendi korral on tähtis turustada peale toodetud elektri ka soojust ja seetõttu konkureerivad kõrge temperatuuriga kütteelemendid koostootmise tehnoloogiatega, nagu seda näidati lõigus 04-00-08f ja sellele järgnevas lõigus.

Praegune kütuseelementide arendamise eesmärk on suurte seadmete tootmine, mida saab efektiivselt kasutada kommertsotstarbel elektritootmiseks, kuid siiani (2012) on nende süsteemide üldised majanduslikud näitajad võrreldes teiste süsteemidega ülemäära kallid.

Kütuseelementide lai kasutusala on selle asemel kaugetes rajatistes, kus mehaaniliste ja liikuvate osade mittevajalikus ja seega madalad hoolduskulud on suur eelis. Kuid siis jälle: koos biomassi keerulise muundamise ja puhastamise protsessiga, seda eelist enam pole.

Seega seab kütuseelementide kasutamine koos biomassiga üles suured nõudmised mitte ainult kütuse muundamisele, vaid ka järgnevale kütuse rikastamisele ja puhastamisele. Seetõttu on kütteelemendi eelis tema mehaaniline lihtsus, kui välja jätta biomassi muundamise ja kütuse puhastamise keerukus, ja süsteem peab seepärast konkureerima ainult oma majandusnäitajate tõttu teiste tehnoloogiliste võimalustega, mida näidatakse allpeatükis 04-00-08,.

04-00-10: Suitsugaasid ja heitkogused

Kuigi biomassis on iseenesest väikene väävli kontsentratsioon, võivad lämmastiku ja kloori kontsentratsioonid olla mõnikord suured.

Ka tuhk võib sisaldada suuri kergesti lenduvate metallide kontsentratsioone, eriti leelismetalle nagu naatrium ja kaalium.

Seega võib biomassi ja biokütuste põletamisest vabanevates heitgaasides olla suured väikeste osakeste (alla mikroni) kontsentratsioonid ja biokütusel töötavates jaamades võib osutuda vajalikuks keskkonnanõuetele vastavuse saavutamiseks heitgaaside eelnev puhastamine.

Suhteliselt suured lämmastikukontsentratsioonid võivad jällegi olla põhjus lämmastikoksiidide kõrge heitkoguste taseme tekkimisele, mis taas nõuab põlemistaseme täpset reguleerimist ja mõnel juhul täiendavaid de-NOx seadmeid.

Asjaolu, et biokütused on CO2-neutraalsed ja “looduslikud“ ei garanteeri sellega, et biokütuse kasutamine vähese tõhususega seadmetes on keskkonnasõbralik.

Suitsugaaside puhastamisele esitatavad nõuded võivad seadmete vahel erineda, kuna lõplikes nõuetes, nagu sätestatud liidu direktiivis 2008/50/EC, pannakse rõhku välisõhu kvaliteedile ja mitte heitgaaside kvaliteedile. Seepärast mõjutavad üksiku jaama suurus ja asukoht ning teised läheduses olevad saasteallikad konkreetsele paigaldisele esitatavaid nõudmisi.