1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TEHNILINE JA MAJANDUSLIK HINNANG VEDELKÜTUSEL TÖÖTAVATE KATLAMAJADE ÜLEVIIMISEKS VEELDATUD MAAGAASI KASUTAMISELE

Tellijad: elering ÜHENDAME ENERGIAD

A Member of The Linde Group | AGA

Koostajad: Professor Andres Siirde

Dotsent Aleksandr Hlebnikov

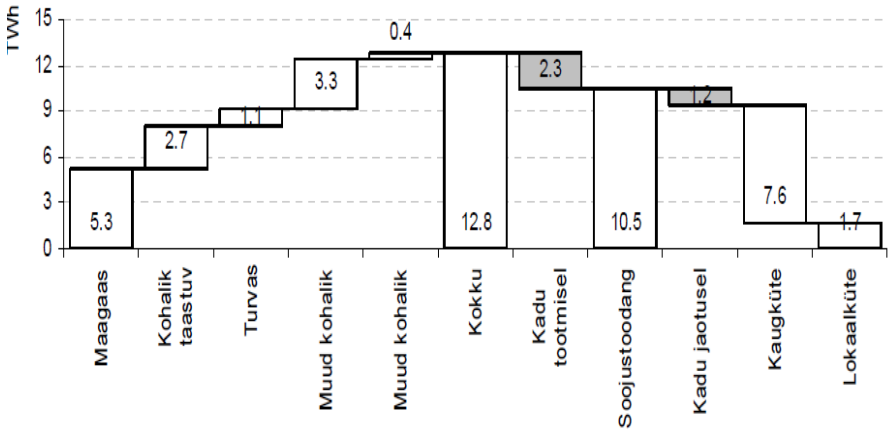
Teadur Anna Volkova

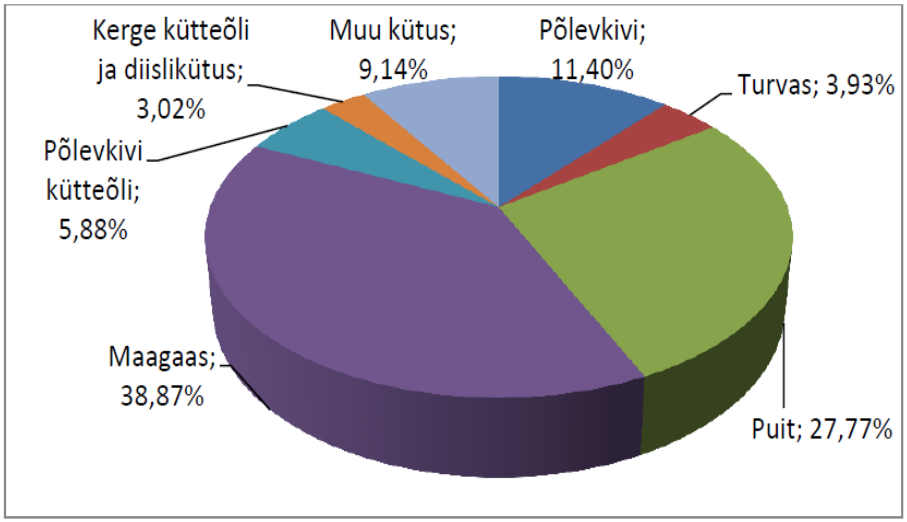
Teadur Igor Krupenski

Töö sisaldus:

1. Ülevaade põlevkiviõli kasutamisest Eesti ja Läti katlamajade kütusena;
2. Põlevkiviõli kasutamine reserv- ja tipukoormuste katmisel;
3. Põlevkiviõli kui katlakütus, tootmine, tootmismahud ja arengusuunad põlevkiviõli tootmisel;
4. Eesti põlevkiviõli tootmismahud kokku ja põlevkiviõli eksport;
5. Veeldatud maagaas kui väikekatla kütus;
6. Võimalikud LNG Eesti lokaalsed taasgaasistamisjaamade võimsused ja tehnilised tingimused arvestades olemasolevat vedelkütuse katelde kasutust;
7. LNG kasutamine katlamajades koos teiste kütustega.

Ülevaade põlevkiviõli kasutamisest Eesti ja Läti katlamajade kütusena



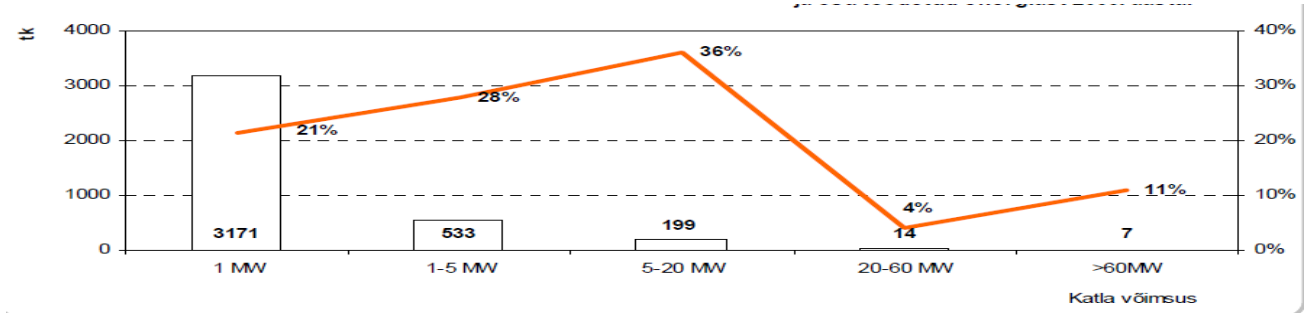


Joonis 1. Kütuste tarbimine soojuse tootmiseks aastal 2010

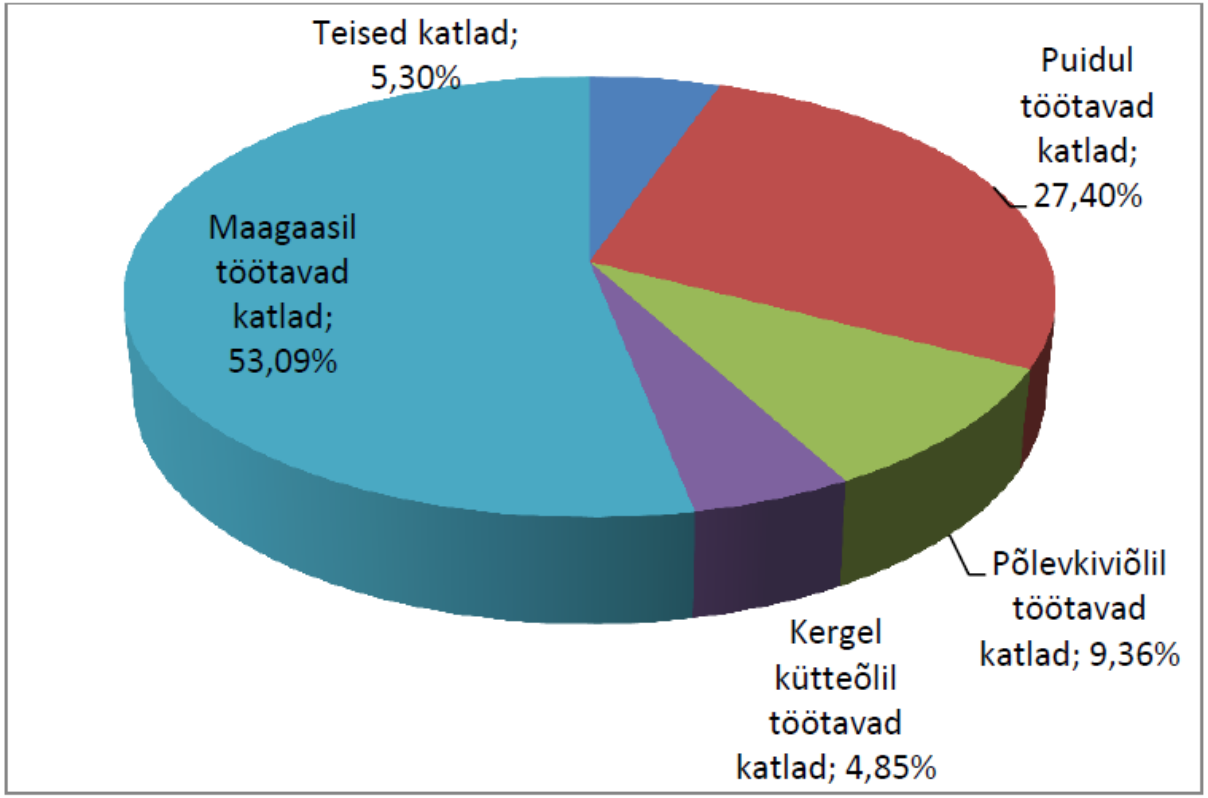
Soojusetoodang Eesti elektrijaamades ning katlamajades on olnud viimase kümne aasta jooksul suuremate muutusteta olles vahemikus 9062-10 617 GWh. Toodetud soojusest ca 72-75% müüakse tarbijatele kaugküttevõrku.

Soojuse tootmiseks olevate katelde statistika Eestis

	Katelde arv aasta lõpul			Katelde summaarne võimsus, MW			Toodetud soojus, GWh		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Katlad kokku	4053	4257	4248	5565	5585	5613	5851	5563	5771
Raskel kütteõlil töötavad katlad	24	19	20	74	31	38	38	29	36
Põlevkiviõlil töötavad katlad	411	408	449	749	682	705	501	458	540
Kergel kütteõlil töötavad katlad	1046	1120	1080	722	736	715	273	294	280
Maagaasil töötavad katlad	1430	1568	1542	3006	3126	3043	3105	2939	3064
Puidul töötavad katlad	810	833	851	702	776	864	1470	1557	1581

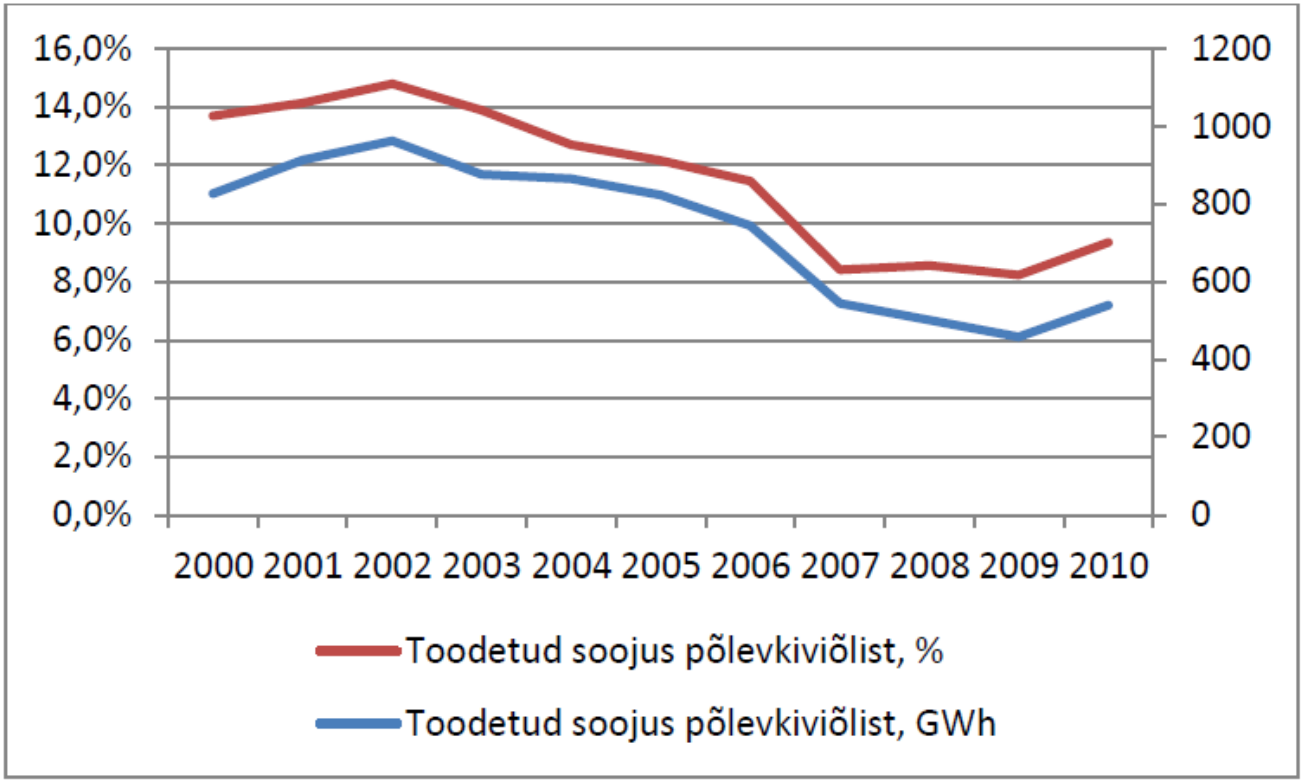


Katelde arvu suhteline jaotus kasutatavate kütuste järgi

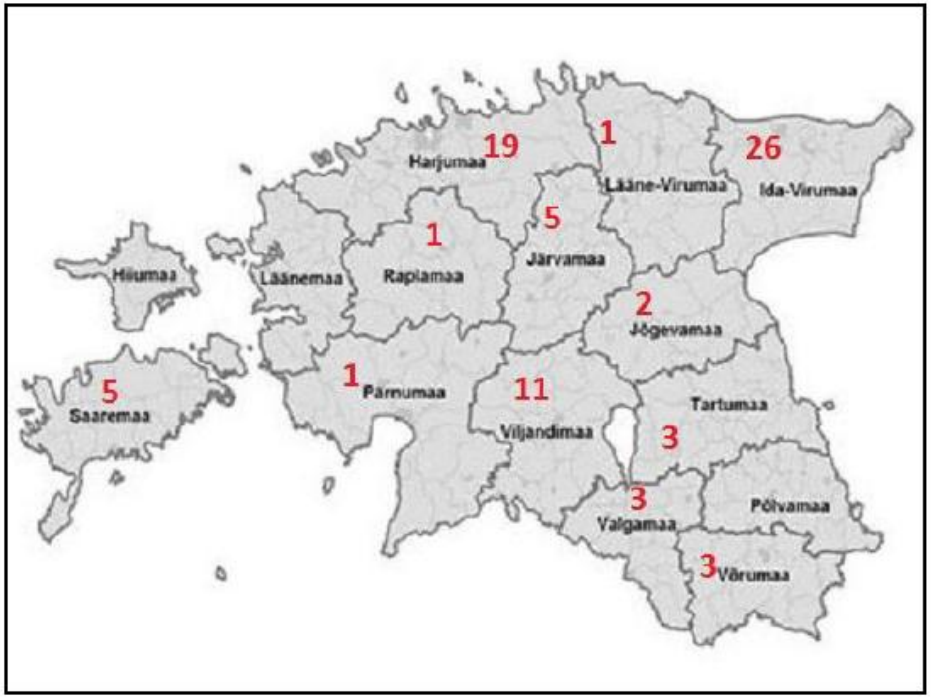


Joonis 2. Katelde arvu suhteline jaotus kasutatavate kütuste järgi

Põlevkiviõlil toodetud soojus aastate lõikes ja selle osakaal kogu soojuse tootmises

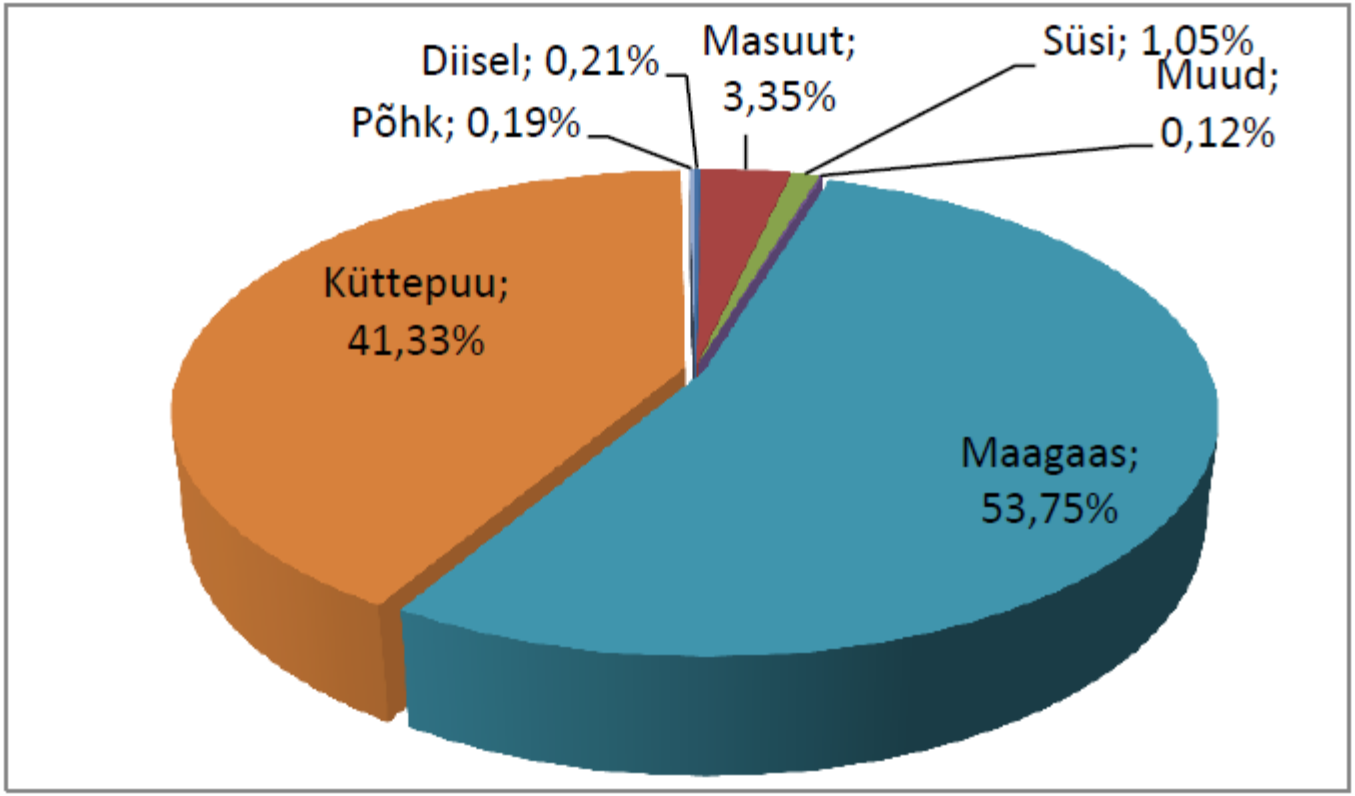


Põlevkiviõli tarbimine 2010 aastal (tuhat tonni) erinevates maakondades

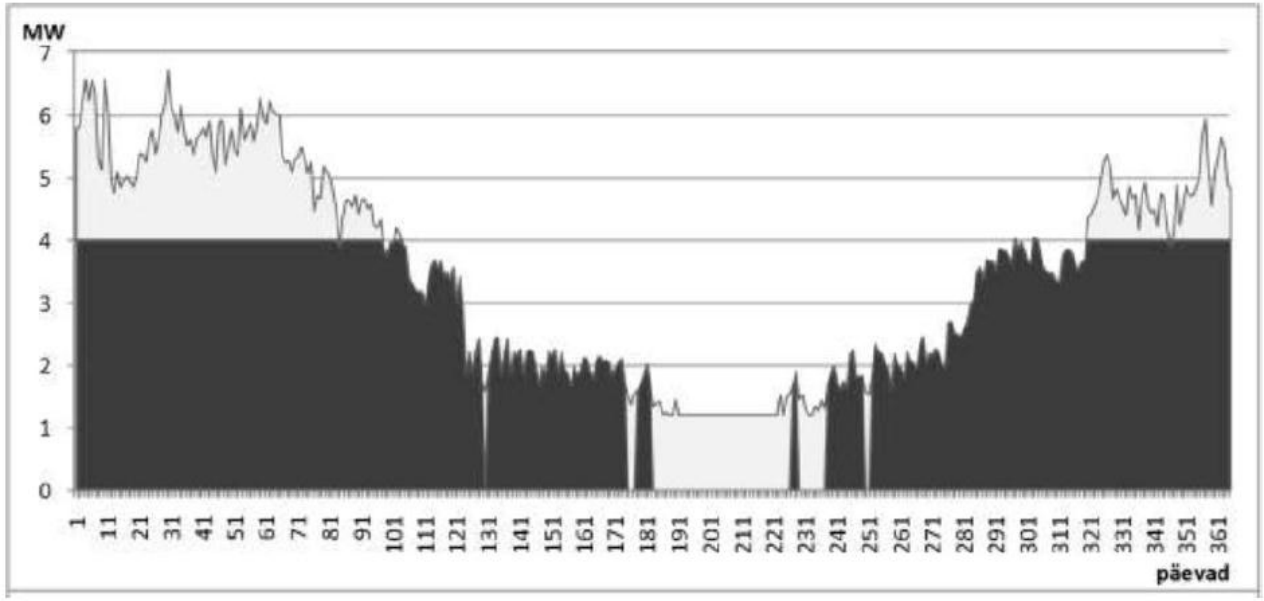


Silmatorkavalt erinevad teistest Järva, Saare ja Viljandi maakonnad, kus ca 10% soojusest toodetakse põlevkiviõlist.

Läti katlamajades 2010. aastal toodetud soojuse jaotus kütuste järgi



2. Põlevkiviõli kasutamine reserv- ja tipukoormuste katmisel



Joonis 7. Küttevajadust üldiseloomustav soojuskoormuse graafik

Kütteperiood ca 200-210 päeva. Kütteks tarbitav soojuskogus ja -võimsus on praktiliselt lineaarses korrelatsioonis välisõhutemperatuurist. Joonistel 7 on toodud soojuskoormuse näidisgraafik, mis on koostatud lähtudes aastasest soojustarbimisest 30 000 MWh ning mis on iseloomulik sellistele Eesti linnadele nagu Tapa ja Paldiski

Põlevkiviõli kasutamine reserv- ja tipukoormuste katmisel (II)

Rae vallas olev kaugküttepiirkond:

Kütteperioodil tarbiti freesturvast ~14871 m^3, puitu ~17854 m^3 ja põlevkiviõli ~77 tonni. Kütuste osakaal soojusenergia toodangus kütteperioodil oli järgmine: puit - 50%, turvas - 46%, põlevkiviõli - 4%.

Tippkoormuse ja tarbijate sooja veega varustamiseks suvekuudel kasutatakse põlevkiviõlil töötavaid katlaid. Puiduhakke baasil toodetakse 75% kogu soojusest. Seega piir tipu- ja baaskoormuse vahel on tinglik ja määratud pigem majanduslikest optimeerimistulemustest,

Katlakütusena kasutatava põlevkiviõli hind

Tabel 5. Põlevkiviõli keskmine hind ilma aktsiisi ja käibemaksuta (1 tonn põlevkiviõli=10,8 MWh primaarenergiat)

Põlevkiviõli hind											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EUR/tonn	107,56	121,30	123,92	127,12	122,01	176,46	269,71	239,16	302,94	251,24	296,61
EUR/MWh	9,96	11,23	11,47	11,77	11,30	16,34	24,97	22,14	28,05	23,26	27,46

Tabel 6 Narva Õlitehase päritoluga põlevkivi ostuhinnad Harjumaa katlamajas (hinnad on ilma aktsiisi- ja käibemaksuta ning transpordikuludeta)

kuu	Mark A bensiini 5 % EUR/tonn	Mark B bensiini 25 % EUR/tonn	Mark C bensiini 50 % EUR/tonn
2011.aasta			
August	430		398
September	415		380
Oktoober	431	412	389
November	432	416	396
Detsember	450	432	410
2012. a.			
Jaanuar	454	436	414
Veebruar	488	466	440
Märts	501	479	453
Aprill	534	507	476

Soojuse tootmishind põlevkiviõli kasutavates katlamajades, tootmishinna kujunemine

Põlevkiviõli:

- Põlevkiviõli kui kütuse hind - 78-80%
- Põhjendatud tulukus-3%
- Põhivara kulum-2%
- Muud tegevuskulud-15-17%

Biokütusel koos põlevkiviõliga tipukoormuste katmisega:

- Kütus 71 %
- Tegevuskulud 12%
- Põhjendatud tulukus 10%
- Põhivara kulum 7%

Kooskõlastatud piirhind maagaasi kasutamisel:

- Maagaasi kui kütuse hind - 71%
- Põhjendatud tulukus-6%
- Põhivara kulum-6%
- Muud tegevuskulud-17%

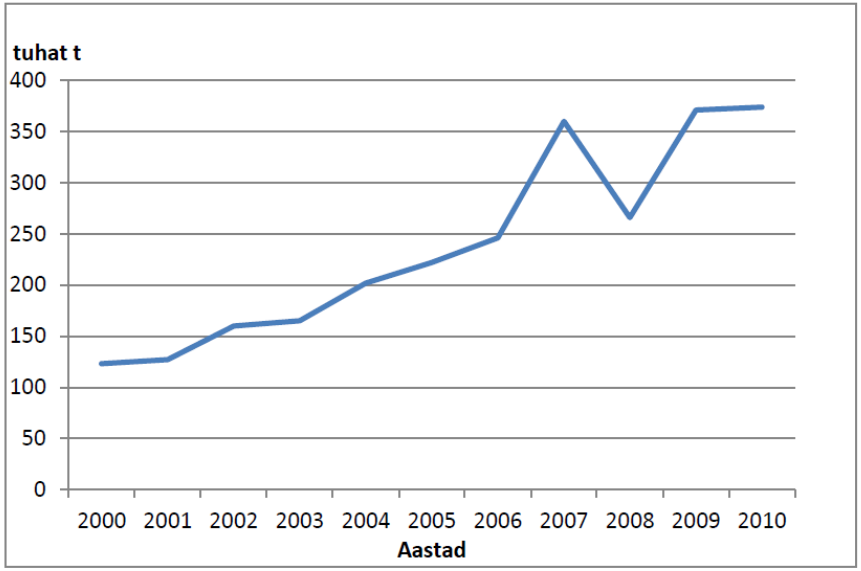
Soojuse tootmishind põlevkiviõli kasutavates katlamajades, tootmishinna kujunemine (II)

Reguleeritavatelt varadelt arvestatakse põhjendatud tulukuse väärtuse üks osa. Mida suurem on põhivara kulumi osatähtsus, seda suurem on põhjendatud tulukuse osakaal. Sageli soojuse tootmisega ettevõte ei teosta ise investeeringut uude tootmisseadmesse, vaid sõlmib selleks rendilepingu. Oluline on märkida, et soojuse tootmise, jaotamise ja müügiga seotud põhivarade rentimisel on soojusettevõtjal õigus lülitada soojuse hinda renditud reguleeritavalt varalt arvestatud kapitalikulu ja põhjendatud tulukus samadel põhimõtetel kui vara omanikuna.

Eesti põlevkiviõli tootmismahud kokku ja põlevkiviõli eksport

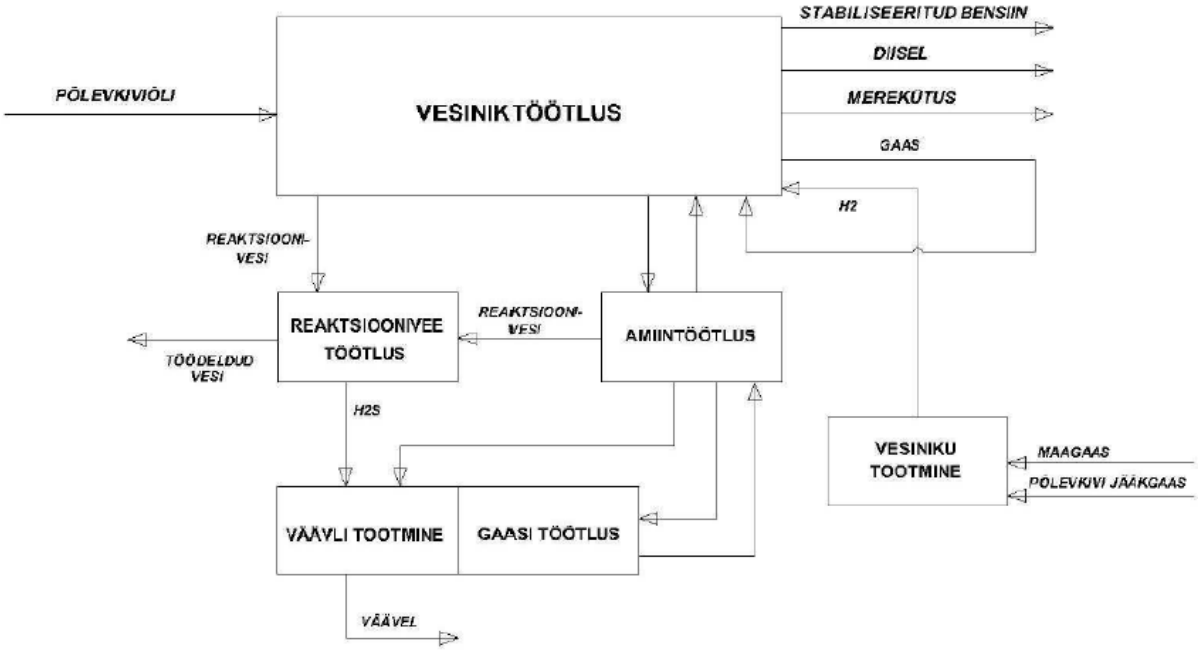
Tabel 9. Eesti põlevkiviõli tootjate õli tootmismahud aastate lõikes tuhandetes tonnides

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Narva Õlitehas	130,94	124,85	118,3266	156,2178	175,3791	190,448
VKG OIL AS	217,777	256,149	273,115	265,424	277,059	277,882
Kiviõli Keemiatööstuse OÜ	56,549	59,964	65,097	64,847	65,833	68,573
KOKKU	**405,266**	**440,963**	**456,539**	**486,489**	**518,271**	**536,903**



Joonis 12. Põlevkivi kütteõli eksport, tuhat t

Põlevkiviõli baasil mootorkütuse tootmisplaanid põlevkiviõli tootjate avaliku informatsiooni alusel



Joonis 14. Põlevkiviõlide järeltöötluse kompleksi põhimõtteline protsessiskeem

Kütuse omadused. Eestisse tarnitav maagaas vs LNG

Maagaas (mõõdetud Värska gaasimõõtejaamas)

- Rõhk: p = 3.082 MPa
- Temperatuur: t = 2.02 ^{0}C (T = 275.17 K)
- Tihedus: ρ = 0,6854 kg/m^3
- Alumine kütteväärtus: Q_{net} = 33,69 MJ/m^3 (9,36 MWh/1000m^3)
- Ülemine kütteväärtus: Q_{gross} = 37,69 MJ/m^3 (10,47 MWh/1000m^3)

LNG (vastavalt rahvusvahelisele standardile ISO 8943):

- Rõhk (ülerõhk): p = 0,25 MPa
- Temperatuur (veeldatud olekus): t = - 160^{0}C (T = 113 K)
- Tihedus: ρ = 421 kg/m^3
- Maht: $\frac{maagaas}{LNG} = \frac{600}{1}$
- Arvutuslik alumine kütteväärtus Q_{net} =5600 MWh/1000m^3
- Soojusülekande tegur: q = 8.14 W/m^2*K

Veeldatud maagaas

Maagaasi veeldamise ajalugu ja areng:

- Pärineb 19. sajandist, kui Saksa insener Carl von Linde poolt ehitas 1873. aastal esimene kompressor- jahutusseadme;
- Esimene kommertsialiseeritud maagaasi veeldamise tehas alustas oma tegevust 1941. aastal Clevelandis Ohios;
- 1959. Aastal suundus esimene LNG tanklaev (mis oli nimetatud *Methane Pioneer*) veeldatud maagaasiga USA-st Suurbritanniasse;
- Viimasel ajal on toimunud LNG valdkonna (tanklaevade ja seadmete osas) järsk tõus, mille põhjuseks on LNG tehnoloogia nõudluse ja kasumlikkuse kasv;
- 2008. aasta juuli kuus tarnis ettevõte Samsung Heavy Industries firmale EXXON LNG tanklaeva Mozah, mille maht oli 266000 kuupmeetrit;
- Kogemus näitab, et iga 5 aasta möödudes ilmuvad põhimõtteliselt 2 korda suuremad tanklaevad.

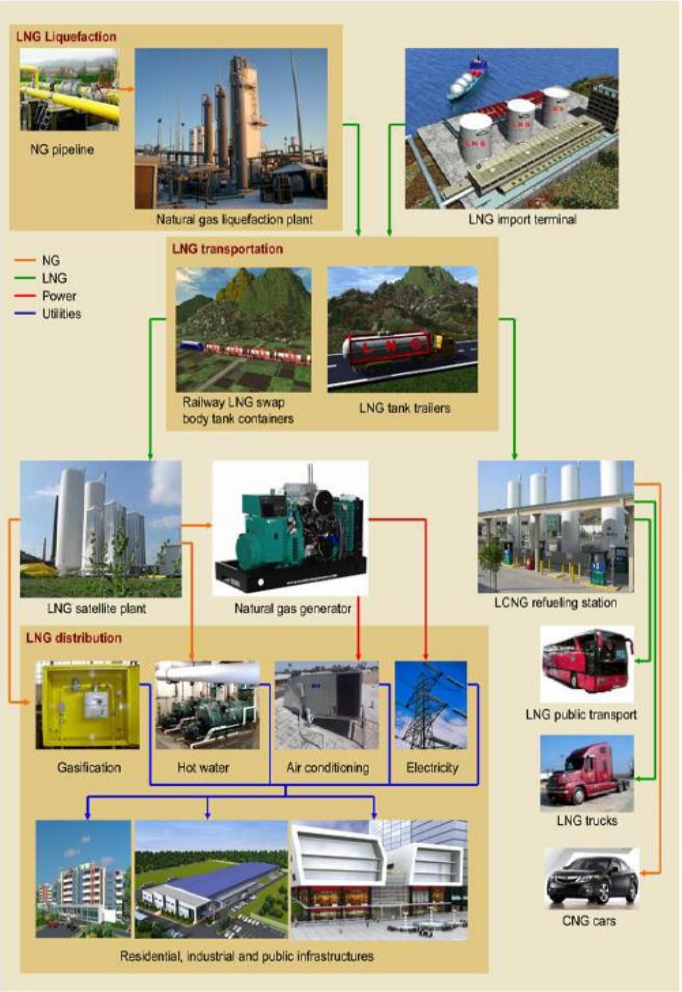
Veeldatud maagaasi kasutamine

LNG on kasutatav tööstusobjektide ja asulate autonoomseks kütteks, kus puudub gaasivarustusvõrk.

Potentsiaalsed tarbijad: soojuselektrijaamad, väikeettevõtted, maakohtades asuvate asulate katlamajad, munitsipaalkatlamajad, mini-koostootmisjaamad, autonoomsed elektrijaamad, mototranspordiettevõtted, raudteetransport, õhutransport, jne.

Maagaasi veeldamisjaamad ei ole standardsed, kuid ei oma ka suuri tehnilisi erinevusi oma lahendustes. Skeemid ja seadmete komponendid on erinevad ning sõltuvad konkreetsest objektist: vajalik gaasirõhk, koostis, kasulike ja kahjulike komponentide sisaldus, niiskuse olemusolu, tahkete osakeste sisaldus.

Veeldatud maagaasi kasutamise üldine logistiline kirjeldus



NG – maagaas
LNG – veeldatud maagaas
Power – energia
Utilities - energiavaru
LNG Liquefaction – LNG veeldamine
NG Pipeline – maagaasi torustik
Natural gas liquefaction plant – maagaasi veeldamise jaam
LNG import terminal – LNG tarnimise terminal
LNG transportation – LNG transport
Railway LNG swap body tank containers – Raudtee LNG paakkonteinerid
LNG tank trailers – LNG veokid
LNG satellite plant – LNG vahe jaam
Natural gas generator – maagaasil töötav elektri ja soojuse koostoomisseade
LCNG refueling station – veeldatud- ja surumaagaasi tankla
LNG distribution – LNG jaotamine
Gasification – gasifitseerimine
Hot water – soe vesi
Air conditioning – õhu jahutamine
Electricity – elektrienergia
Residential, industrial and public infrastructures - Elamu-, tööstus-ja avalik infrastruktuur
LNG public transport – LNG ühistransport
LNG trucks – LNG veokid
CNG cars – surumaagaasi sõiduautod

Joonis 15. Üldine veeldatud maagaasi tootmis-tarbimisahel

Veeldatud maagaasi transport tsisternautodega (I)

- Näiteid LNG-d transportivatest tsisternautodest leidub maailmas palju, kuid üldiselt määrab auto mahutavuse kaugus LNG allikast. Kuna investeeringud LNG tsisternautodesse on keskmisest tunduvalt kõrgemad, on üldjuhul mõistlik kasutada suurema mahuga autosid (kuni 56 m^3), millega on võimalik tarnida ka väikestele tarbijatele. Piirajaks võib siiski kujuneda ligipääsetavus väikeklientidele, kuid ka seda on üldjuhul planeerimise faasis võimalik arvestada.
- Põhjamaade (Rootsi, Soome) seadusandlus võimaldab teedele lubada ka kuni 80 m^3

Veeldatud maagaasi transport tsisternautodega (II)

LNG transport kui ADR vedu ja nõuded samad nagu teiste tuleohtlike ainete veole (vedelkütused, propaan-butaan jne) ja see seab teatud piirangud tarnetele saartele, sest kasutada saab ainult ADR vedude praame.

AS Eesti AGA poolt saadud lähteinfo alusel on hinnanguline veeldatud maagaasi transpordi maksumus tänaste kütusehindadega ca 1,1 EUR/km. Tuginedes Eesti seadustele ei ole võimalik Eesti teedel sõita üle 20 t koormaga (normatiividega lubatud maksimaalne teljekoormus on 10 tonni ning see vastab 53-56 m^3 veokile**).**

Tsisternveoki tühjendamise aeg ei ole märkimisväärne, ca 0,5-1 tundi, sõltuvalt tarnitavast kogusest, veokit saab tühjendada ka osaliselt ja mahuti täitmise ajal on gaasi tarbimine lubatud.

LNG taasgaasistamise kompleksid ja nende tehnilised näitajad (I)

- LNG regasifitseerimise jaama, mahuga 5-200 t, paigaldus on reguleeritud Euroopa Liidu standardiga EN 13645.
- Iga paigalduse kohta koostatakse riskianalüüs, mille alusel arvutatakse turvatsooni kaugused hoonetest jne. Ei ole olemas minimaalset ega maksimaalset maagaasi hoidlat.
- Kliendile paigaldatakse mahuti, mis on majanduslikust ja turvaaspektist kõige otstarbekam.
- Keskmine iseeneslik aurustumine mahutist juhul, kui maagaasi ei tarbita, on ligikaudu 0,14% 24 tunni jooksul. See seab vajaduse küll vähese, aga perioodilise gaasitarbimise järele.
- Pikaajaline LNG hoidmine mahutis ilma seda kasutamata toob kaasa mõningased gaasi kaod, mis sõltuvad välistemperatuurist, mahuti suurusest ja gaasi kogusest selles.

LNG taasgaasistamise kompleksid ja nende tehnilised näitajad (II)

Joonis 18. LNG regasifitseerimise jaam Poolas, maht 60 m^3. (http://www.chart-

Joonis 16. Tsisternautod mahuga 56 m^3 LNG transportimiseks

Investeeringud ja jooksvad kulutused veeldatud maagaasi mahutipargi kohta

- Investeering LNG kasutajale piirdub mahutile ja aurustile vundamendi ehitamisega, samuti jaotustorustiku ehitamisega. Ühe võimalusena ostab LNG tarbija mahuti, aurusti ja kogu gaasisüsteemi ning hoolitseb ka sertifitseeritud hooldusfirma leidmise eest.

- Teise võimalusena investeerib mahutisse gaasi tarnija, näiteks Eesti AGA ja samuti kannab ka hooldus- ning vajadusel paigalduskulud. Samuti hoolitseb kõikide lubade ja dokumentide kordaajamise eest. LNG mahutid, aurustid jms. kuuluvad sellisel juhul AGA-le ja renditakse gaasi kasutajale. Rendihind sõltub mahuti suurusest, tarbitavatest LNG mahtudest, paigalduse keerukusest jne.

- Lisaks sellele paigaldatakse mahutile ka distantsjälgimise seadmed, mistõttu puudub kasutajal vajadus gaasi tellida, tarnija muretseb et gaas oleks alati olemas ja vajadusel ka vastutab selle eest. Ennustatav LNG paigaldise rendihind jääb vahemikku 1000-2000 EUR kuus. Suuremate kui 50 m3 mahutite korral sõltub rendi hind juba mahuti ja tehnilise lahenduse omapärast.

Orienteeruvad taasgaasistamisjaamade mahud arvestades Eesti potentsiaalseid LNG-le üleminevaid katlaid

- Eestis põlevkiviõlil töötavad katlad jäävad oma võimsusega 10 MW või vähem, sealjuures ca 50% neist on võimsusega 2 MW või väiksemad. Üle 10 MW katlaid on marginaalne arv. Igal aastal uuendatakse ca 10 erinevat põlevkiviõlil töötavat katelt. Seega tuleks põlevkiviõli asendamisel muu kütusega, sh LNG –ga arvestada, et sõltuvalt olemasoleva katla tehnilisest olukorrast tuleb katel kas ümber seadistada või asendada pigem uuega.

Seega, arvestades olemasolevaid põlevkivikatla võimsusi nende üleviimisel LNG kasutusele, peaks arvestama LNG nn regasifitseerimisõlmedele, millede maht jääb kuni 100 m^3. See tagaks katelde võimsusega 2-4 MW, vastavalt 5-10 päeva kütuse varu. Mahutite täitmine 20 t tsisternautode veoga (vastavalt kord ööpäevas või ülepäeviti) ei ole probleemne.

Tabel 12. Arvutuslik LNG vajadus lähtuvalt katla võimsusest

Katla võimsus MW	LNG tonni/päevas	(LNG m^3/päevas)
12	26,4	(57,5)
10	22,0	(47,9)
8	17,6	(38,3)
6	13,2	(28,7)
4	8,8	(19,2)
2	4,4	(9,6)

Kokkuvõte (I)

- Põlevkiviõli kasutamine soojuse tootmiseks moodustab ca 600 GWh aastas, moodustades ca 6% kogu Eestis toodetud soojusest. Põlevkiviõli kasutamine soojuse tootmiseks on küll languses, kuid alates 2007. aastast on kasutusmaht stabiliseerunud.
- Põlevkiviõlil töötavaid katlaid on ca 540 ja kui juurde arvestada veel raskel ja kergel kütteõlil töötavad katlad, siis kokku on vedelkütusel töötavaid katlaid ca 850. Enam leiab põlevkiviõli kasutamist Ida-Virumaal, Harjumaal ja Viljandimaal. Kasutamist ei leia põlevkiviõli praktiliselt Lääne-Eestis ja Pärnumaal. Lätis on vedelkütuse kasutamine kogu soojuse tootmisest ca 3,5 % osatähtsusega. Kuigi käesoleva aruande koostamisel ei määratud põlevkiviõli osatähtsust absoluut- ega suhtearvudena tipu- ja reservkütusena, on üldteada, et põhikütusena biokütust kasutavates katlamajades on reserv- ja tipukoormuste tagamisel kasutusel vedelkütus ehk põlevkiviõli.
- Põlevkiviõli hind on viimase kümne aasta jooksul teinud viie kuni kuuekordse tõusu. Põlevkiviõli hind on sõltuvuses vedelkütuste hindadega maailmaturul. Põlevkiviõli baasil toodetud soojuse müügi koguhinnast moodustab kütuse komponent ca 70-80%.

Kokkuvõte (II)

- Põlevkiviõli tootmine Eestis on kasvutrendis. Kõik põlevkiviõli tootvad ettevõtted näevad oma arengukavades uute tootmisvõimsuste kasutuselevõttu. Tänane põlevkiviõli tootmismaht on ca 540 tuhat tonni aastas, kuid lähiajal, kui käivituvad juba täisvõimsusel VKG Petroter I ja II, Narva Õlitehase uus tootmisseade ENEFIT 280 aastal 2013, saavutatakse põlevkiviõli tootmismaht ca 1 miljonit tonni aastas.

- Arvestades asjaoludega, et ca 70% toodetud põlevkiviõli eksporditakse, VKG ehituse algusjärgus olev põlevkiviõlide mootorkütuseks ümbertöötlemise ja järeltöötlemisetehas saavutab täisvõimsuse aastal 2016, Narva Õlitehase planeeritav järeltöötlemiskompleks saab täisvõimsuse aastatel 2016-2017, siis põlevkiviõli kasutamine katlakütusena senises mahus jätkuda ei saa.

Kokkuvõte (III)

- Veeldatud maagaasi on võimalik kasutada katlakütusena väikekatlamajades ja tööstusettevõtetes. Selleks on olemas tehnilised lahendused veeldatud maagaasi transportimiseks tsisternautodega ning mahutipargid, aurustid jt vajalikud seadmed katlamajade juures. Ei ole olemas lõplikke standardseid lahendusi, küll aga võimalik sobitada moodullahendused konkreetsele asukohale.
- Teostatud uurimistöö tulemusena saab väita, et vaatamata mõnedele investeeringutele (nagu regasifitsieerimise jaamad, katelde ümberehitus) ning võimalikele lisakuludele (eelkõige transport), on LNG kui kütus konkurentsivõimeline katelde kütus. Kujunevad kapitalikulud on sarnases suurusjärgus nagu tavamaagaasi või vedelkütuse kasutamisel. Soojuse tootmishinna oluliseks komponendiks jääb kütuse enda hind.

Kokkuvõte (IV)

- Gaasikatlad on hästi automatiseeritavad ja nad on kõrgema kasuteguriga kui õlikatlad. Gaasipõletamise korral on kõige parem võimalus kasutada suitsugaaside mahajahutamist alla kastepunkti, mis võimaldab veelgi suurendada soojusetootmise kasutegurit.

- Iga põlevkiviõlil töötav katel või katlamaja on siiski eraldi objekt, mille kohta peab tegema analüüsi, kas ta vajab pigem väljavahetamist või piisab selle rekonstrueerimisest, põleti ja toitesüsteemi muutmisest jne. Väikeste kaugküttevõrkude elujõulisus sõltub nende efektiivsest kasutamisest.

- Parim oleks kompleksne lahendus: kaugkütte võrgu optimeerimine, tootmis- ja jaotuskadude vähendamine, tarbimisgraafiku optimaalne kasutamine erinevate tootmisühikutega või veeldatud maagaasil soojuse ja elektri koostootmine koos tipukatla kasutamisega.

Tänan tähelepanu eest!