Põlevkiviõli tootmisel tekkiva uttegaasi kasutusvõimaluste uuring

Aruanne

Alar Konist, PhD

Volitatud soojustehnikainsener V

TALLINN 2014

TÖÖS OSALENUD ISIKUD:

Andres Siirde, PhD

Alar Konist, PhD

Sulev Soosaar, MSc

SISUKORD

Eessõna 5
Sissejuhatus 6
1. Põlevkivi uttegaasi tootmise ja kasutamise ajalooline ülevaade 9
1.1 Põlevkivigaasi tootmise ajalugu 9
1.2 Põlevkivigaasi tootmise tehnoloogia ja transport 10
1.3 Põlevkiviõli ja -gaasi tootmine tunnelahjus 14
1.4 Põlevkiviõli ja gaasi tootmine gaasigeneraatoreis (200–1000 t põlevkivi) 14
1.5 Põlevkiviõli ja poolkoksgaasi tootmine TSK meetodil 17
1.6 Kiviõli Keemiatööstuse OÜ põlevkiviõli ja poolkoks- ning generaatorgaasi tootmine 18
1.7 VKG Oil AS põlevkiviõli ja utte- ning generaatorgaasi tootmisvõimsused 20
1.8 Eesti Energia Õlitööstuse AS põlevkiviõli ja utte- ning generaatorgaasi tootmisvõimsused 22
1.9 Aastatel 2000 kuni 2012 toodetud uttegaaside kogused 25
2. Seni uuritud uttegaasi kasutusvõimalustest keemiatööstuse toorainena 27
3. Uttegaasi tootmispotentsiaal lähima 10–20 aasta jooksul 30
4. Uttegaasi ja tehnoloogilise auru (s.h elektri tootmiseks) summaarse kasutuspotentsiaali hindamine 33
4.1 Olemasolevad tootmisvõimsused Enefit-140 ja Enefit-280 õlitehastes tekkiva poolkoksgaasi kasutamiseks 33
4.2 Olemasolevad tootmisvõimsused gaasigeneraatorites ja Petroter-seadmetes tekkiva uttegaasi kasutamiseks 35
4.3 Olemasolevad tootmisvõimsused gaasigeneraatorites ja TSK-500 tekkiva uttegaasi kasutamiseks 35
5. Hinnang uttegaasi torutranspordi ja muude kasutusalade võimalikkusele 37
5.1 Gaasiturbiinseadmed 37
5.2 Gaasimootorid 39
5.3 Aurujõuseadmed 39
6. Uttegaasi potentsiaalne mõju Eesti energiamajandusele 40
7. Kokkuvõte ja soovitused 43
Kasutatud kirjandus 45
LISAD 46

Eessõna

Energiamajanduse valikud mõjutavad arenguid pea igas eluvaldkonnas. Lisaks energiahindadele, mis on iga majandamisüksuse oluliseks kuluks, on näiteks regionaalne areng ja inimtervis seotud soojusmajanduse ja elamumajanduse poliitikates tehtavatest valikutega, maakasutus ja maaelu ning väliskaubandusbilanss biokütuste tootmisvalikutega, keskkonnaseisund ja äritegevuse efektiivsus sõltuvad valikutest elektrienergia tootmisel. Need on vaid mõned paljudest seostest ja põhjustest, miks Eesti energiamajanduse pikaajaline arengukava aastani 2030, visiooniga aastani 2050 (edaspidi: ENMAK 2030+) ei käsitle energiamajanduse valikuid *per se*, vaid vaatleb nende valikute mõju keskkonnaseisundile, inimtervisele ning majanduse konkurentsivõimele tervikuna. ENMAK 2030+ annab lähtekohad arengukavadele, mida tuleb Euroopa Liidu õigusest tulenevalt esitada Euroopa Komisjonile: taastuvenergia tegevuskava taastuvenergia direktiivi 2009/28/EÜ alusel; energiasäästu tegevuskava ja hoonete renoveerimise kava energiasäästudirektiivi 2012/27/EL alusel. [www.energiatalgud.ee].

„Eesti energiamajanduse pikaajalise arengukava 2030, visiooniga aastani 2050“ koostamiseks vajalike eeltööde raames on vajalik kaardistada uttegaasi kogused ja uttegaasi roll kütuste bilansis elektrienergia ning soojuse tootmisel.

Käesoleval hetkel toodetakse põlevkivist õli kolmes ettevõttes: Eesti Energia Õlitööstuse AS, VKG Oil AS ja Kiviõli Keemiatööstuse OÜ. Põlevkiviõli tootmise protsessi kõrvaltootena tekib uttegaas, mida kasutatakse seni kohapeal elektrienergia ja soojuse tootmiseks.

Ettevõtjatel on ambitsioonikad plaanid suurendada põlevkiviõli tootmismahte, millega kaasneb vältimatult ka uttegaasi tootmismahtude proportsionaalne tõus. Kuivõrd esialgsed plaanid uttegaasi kasutamiseks ehitusmaterjalide tootmiseks ja keemiatoodete sünteesiks on edasi lükatud ning kohapeal puudub piisav soojuskoormus, siis on tootjad kavandanud uttegaasi ära kasutada kondensatsioonirežiimis elektritootmiseks.

Töö eesmärgiks on põlevkiviõli tootmisprotsessis tekkiva uttegaasi energeetilise potentsiaali hindamine ja selle mõjude kirjeldamine.

Käesoleva aruande eesmärgiks on käsitleda erinevaid alternatiive põlevkiviõli tootmisel kõrvalproduktina tekkiva uttegaasi kasutusvõimaluste rakendamiseks. Lähteülesande eelduseks on, et uttegaasi tekib kolmes ettevõttes. Kiviõli Keemiatööstuse OÜ, VKG Oil AS ja Eesti Energia Õlitööstus AS. Kasutusvõimalused tuleb leida, eeldusel, et 8 Enefit-280 seadet töötab ja neist tekib 630 mln Nm^3 uttegaasi.

Mõisted

Gaasilise soojuskandjaga (GSK) utmisprotsess – utmisprotsess, kus soojuskandjaks on põlevkivi utmisel tekkiva generaatorgaasi tagasisuunatava osa põletamisel saadav kuum utte- ja suitsugaasi segu;

Generaatorgaas on gaasilise soojuskandja meetodiga põlevkiviõli tootmisega kaasnev madala küttevääртusega uttegaas;

Fuussid on põlevkivitöötlemise jäätmed, mis tekivad toorõli puhastamisel mehaanilistest võõristest;

Jääkgaas on Petroter tehnoloogiaga seotud mõiste: aerofontäänkoldest katel-utilisaatorisse suunatav gaas;

Küttegaas on koksigaasi, poolkoksigaasi ja generaatorgaasi segu, mis põletakse Kiviter 1 tehnoloogias destilatsioonikatlas koos separaatorgaasiga;

Poolkoks on põlevkivi utmisel saadav tahke jääk;

Poolkoksgaas on tahke soojuskandjaga utmisel tekkiv kõrge küttevääртusega uttegaas;

Põlevkivigaas on gaas, mis saadakse põlevkivi utmisel ehk põlevkivi koksistamisel (kuumutamine kuni 1000 °C) gaasi saamise eesmärgil;

Separaatorgaas on Kiviter 1 tehnoloogial destilatsioonikolonni läbiv põlevkivigaas;

Tahke soojuskandjaga (TSK) utmisprotsess – utmisprotsess, kus soojuskandjaks on põlevkivi utmisel tekkiva poolkoksi põletamisel saadav ja osaliselt reaktorisse tagastatav kuum tuhk;

Uttegaas – põlevkivi utmisprotsessil tekkiv põletamiseks piisava küttevääртusega gaas.

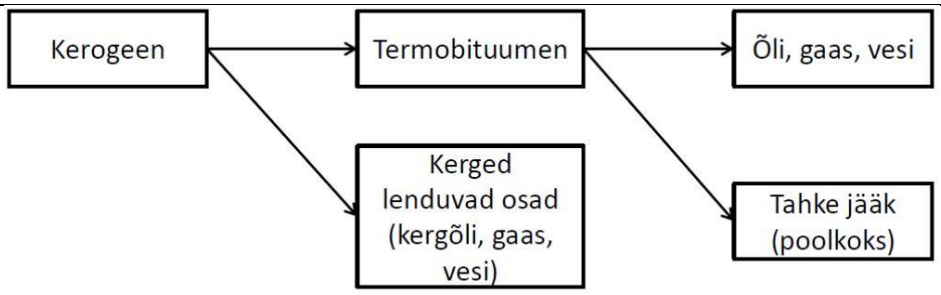
Sissejuhatus

Gaasistamise all me mõistame laiemas mõttes orgaanilise aine muutmist gaasiks, kus tahke või vedela kütuse õhuga või hapniku või veeauruga reageerimisel tekib süsinikku ja vesinikku sisaldav gaasiline kütus. Kasutatav temperatuurivahemik on 650–2000 °C. Kukersiitpõlevkivi termiline lagundamine algab 170–180 ºC juures, kusjuures temperatuuridel üle 100 ºC aurustub vesi, 170–180 ºC eralduvad struktuurselt seotud gaasilised komponendid, 270–290 ºC algab lagunemisvee tekkimine kerogeeni hapnikust ja vesinikust, eraldub osa CO_2-st ja H_2S-ist, 325–350 ºC juures algab õli ja süsivesinikgaaside teke, 450–500 ºC tekib tahke jääk ehk poolkoks ja temperatuuridel üle 500 ºC algab intensiivne primaarõli lagunemine, suureneb järsult gaasi kogus ja tekib koks.

Uttegaasi koostis on tugevasti sõltuv utmistemperatuurist. Kuna madalatel temperatuuridel on gaasis õige palju süsinikdioksiidi ja väävelvesinikku, ilmuvad kõrgematel temperatuuriastmetel rasked süsivesinikud ja lisaks palju metaani ja vesinikku. Nii on leidnud J. Nihamov 250 °C juures tekkivas gaasis 80,5% CO_2; 350 °C juures 65,5% CO_2 ja 3,6% H_2S; 500 °C juures 14,3% H_2S, 17,8% CO_2, 10% C_nH_m, 5,7% CO, 22% H_2 ja 35% CH_4; 900 °C juures leidis P. Kogerman 7,4% CO_2, 20,2% C_nH_m, 16,4% CO, 33% H_2, 9,1% N_2 ja 19,9% CH_4 [1].

Kerogeeni lagunemise kemism on keeruline. Juba 250 ºC juures algab intensiivne kerogeeni lahustumine tekkinud õlis. Temperatuuril ~300 ºC on juba kuni 70% kerogeenist üle läinud lahustuvasse olekusse mida nimetatakse termobituumeniks. Termobituumen on vedel kuid viskoosne, mis võib ummistada utteseadmeid põhjustades isegi tõsiseid avariisid. Temperatuuridel üle 350 ºC laguneb termobituumen edasi, andes õli, gaasi ja poolkoksi.

Tuginedes oma koolkonna töödele esitas professor Agu Aarna järgmise kukersiidi kerogeeni termilise lagunemise skeemi (Joonis 1):



Joonis 1. Põlevkivi termilise lagunemise skeem [2]

Põlevkivide termilise lagundamise seisukohalt eristatakse kahte nende ümbertöötamise tehnoloogilist protsessi [3]:

- madalatemperatuuriline töötlemine, ka utmine ehk poolkoksistamine, mis toimub temperatuuridel 500–550 °C. Eesmärk on saada veeldatud produkte ehk õli.
- kõrgtemperatuuriline töötlemine ehk koksistamine, kusjuures kasutatavad temperatuurid on üle 550 °C. Eesmärk on tahke kütuse gaasitamine ehk toota gaasi.

Kukersiidse põlevkivi kõrgtemperatuurilise lagundamise uuringutega alustas A. Schamarin 1870. aastal. Ulatuslikumalt hakati seda küsimust uurima 20.sajandi esimesel veerandil. 1929. aasta Eesti Keemia Seltsi albumis toodi ära A. Puksov`i uuringute tulemused kukersiidi kuumutamisest kvartstorus. Autor ei näidanud gaasistamise temperatuure, kuid hinnates gaasi koostist [4] pidi see olema tunduvalt alla 1000 °C.

Gdovi leiukoha põlevkivi poolkoksi koksistamisel saadud gaasi koostist uuris J. Hisin [4], kelle andmetel temperatuuridel 1000 °C on saadava gaasi koostises põhiliselt CO (56,7%), H_2 (18,8%), CO_2 (16,5%) ja küllastunud süsivesinikud (8,0%). Gaasi saagiseks oli 122 m³/t.

J. Hisin`i, M. Popov`i, V. Tšebassov`i ja J. Nihhamov`i uurimistöödega selgitati välja muutused põlevkivigaasi koostises sõltuvalt termilise käsitlemise sügavusest, s.t kasutatud temperatuuridest. Temperatuuri tõusmisel kütusekihis gaasi saagis suurenes, õli saagis aga langes, mida oligi oodata. Gaasi koostises langes CO_2, H_2S, küllastamata ja küllastunud süsivesinike sisaldused, samal ajal kui suurenesid CO ja H_2 sisaldused. Temperatuuridel 1000–1100 °C saadi gaas, mis koosnes põhiliselt ainult CO-st ja H_2-st. Samuti selgus, et temperatuur on kõrgtemperatuurilise lagunemise juures määrav kuid mitte ainuke faktor, sest mõju avaldasid veel reaktsiooni aeg, poolkoksi aktiivsus ja veeauru juuresolek [4].

J. Qian käsitles oma mahukas monograafias [5] põgusalt ka põlevkivi poolkoksi gaasistamist. Proovid olid võetud Fushun`i leiukoha põlevkivi pürolüüsil saadud poolkoksist. Valitud temperatuurivahemikus 650–750 °C käideldi poolkoksi õhu/veeauru seguga, kusjuures täheldati kahesuguste reaktsioonide kulgemist:

- Esimeses astmes tekkis täiendav kogus CO, CO_2 ja H_2. Sisuliselt oli tegemist vesigaasi reaktsiooniga.
- Teises astmes tekkinud CO reageeris veeauruga, moodustades CO_2 ja H_2.

Autorid järeldasid, et poolkoksi mineraalosa võis käituda katalüsaatorina. Samuti leidsid autorid, et olulist osa protsessis mängis reaktsioonipind. Mida peeneteralisem oli käsitletav poolkoksi proov, seda intensiivsemalt kulges gaasistamisprotsess [5].

USA teadlaste poolt (Thomson, Nuttall jt) uuriti 1980-ndate aastate algul Colorado põlevkivist saadud koksi gaasistamist hapniku, samuti CO_2 ja veeauru keskkonnas. CO_2 reaktsioon koksiga on endotermiline, tekkiv CO reageerib O_2-ga, mis andis täiendavalt soojust. Analoogseid uuringuid viidi läbi ka New Mexico Ülikoolis Mallon´i ja Braun`i poolt juba 1976. aastal [5].

Paljudel juhtudel on kütuste tarbimisel oluline mitte ainult nende kütteväärtus, vaid ka maksimaalne temperatuur, mida võib saavutada kütuse ratsionaalsel põletamisel [6]. Seda temperatuuri nimeta-

takse **põlemise püromeetriliseks efektiks** ja see sõltub peale kütuse kütteväärtuse suurel määral just kütuse agregaatolekust. Nii näiteks tahke kütuse täielikuks põletamiseks tuleb koldesse juhtida ligi poolteist korda rohkem õhku, kui teoreetiliselt oleks vaja. See aga neelab soojust ja vähendab oluliselt kütuse püromeetrilist efekti.

R. Talumaa on oma tehnilis- majanduslike arvutustega [7] hinnanud põlevkivi kasutamist energiatootmises nii otsepõletamise kui ka põlevkiviõli ja gaasi kasutamise korral. Ta jõudis järeldusele, et elektritootmine põlevkivi otsepõletamisel CFBC-tehnoloogia rakendamise korral on tehnilis-majanduslikult efektiivsem (netokasuteguriga vastavalt 36% ja 30,4% õli ja gaasi kasutamise korral) . Sarnasele järeldusele jõuti ka Põlevkivi kasutamise riiklikus arengukavas 2008–2015 [8]. Samal ajal CO_2 heitmeid ühe tonni põlevkivi ärakasutamisel tekib otsepõletusel 0,87 t, CFBC-tehnoloogia rakendamisel 0,83 t, õli ja gaasi põletamisel aga 0,78 t ehk 6,6% vähem. Investeeringute seisukohalt jõudis R. Talumaa järelduseni, et CFB-ploki rajamine tuleks üle 1,5-korra odavam kui vastava õli- või gaasitehase rajamine selleks, et järgmises astmes nimetatud produkte elektri või soojusenergia tootmiseks kasutada.

Tehnilis-majanduslikud kaalutlused ongi seni olnud suunavaks jõuks tahkete ja vedelkütuste gaasistamisalaste uuringute valdkonnas. Olukord on muutunud aga seoses taastuvate energiatootmise toorainete üha laialdasema kasutamisega ja Eesti põlevkiviuurijate tegevuse kandumisega välismaale, näiteks Jordaaniasse, kus põlevkivi gaasistamine võib osutuda majanduslikult tasuvaks [9]. Kahjuks pole Eesti uurijate tööd välismaal seni tähelepanu leidnud, eeskätt just keelebarjääri tõttu. Näiteks K. Help`i [3] ja E. Rikk`i [4] kandidaaditööd on vormistatud eesti keeles ja on arusaadav, et neile pole viidatud ka hiinlaste värskes monograafias [5].

Käesoleva aruande eesmärgiks on käsitleda erinevaid alternatiive põlevkiviõli tootmisel kõrvalproduktina tekkiva uttegaasi kasutusvõimaluste rakendamiseks.

1. Põlevkivi uttegaasi tootmise ja kasutamise ajalooline ülevaade

Tahke kütuse ümbertöötamisel saadavat gaasi kasutati omal ajal majapidamisgaasina, tööstusahjude kütteks ja toorainena väärtuslike keemiliste ühendite valmistamisel.

Põlevkivist on saadud põhimõtteliselt kolme tüüpi gaasi. Ühel juhul kõrgel temperatuuril ja ainult põlevkivist põlevkivigaasi (majapidamisgaasi) tootmiseks kamberahjudes. Teistel juhtudel on olnud tekkiv gaas õlitootmise kõrvalproduktiks. Tahke soojuskandja (TSK) meetodil põlevkivist põlevkiviõli tootes saadakse kõrvalproduktina kõrge kütteväärtusega (38–49 MJ/Nm^3), kuid suhteliselt suurtes piirides kõikuva koostisega poolkoksgaasi. Gaasi kütteväärtus sõltub ka kasutatavast TSK meetodist. Gaasilise soojuskandja (GSK) meetodil põlevkivist põlevkiviõli tootes saadakse kõrvalproduktina madala kütteväärtusega (3–4 MJ/Nm^3) generaatorgaas, mida omal ajal kasutati kamberahjude kütusena, kus toodeti põlevkivigaasi. GSK meetod kasutab rikastatud tükkpõlevkivi ja TSK meetod kasutab peenfraktsiooni. Põlevkivi utmisel saadavat gaasi kasutatakse Eesti tingimustes elektri ja/või soojuse tootmiseks. TSK meetodi puhul tekib fenoolvett vähem kui GSK meetodi puhul ning see suunatakse elektrijaama energeetilisse katlasse või segatakse koos GSK meetodil tekkinud fenoolveega ja suunatakse defenoleerimisse.

Põlevkivigaasi ei toodeta aastast 1987.

Aastal 2012 tekkis generaator- ja poolkoksgaasi 1,14 mld Nm^3, kusjuures uttegaasi hakkas suuremates kogustes tekkima alles alates 2008. aastast, kui EE Õlitööstus AS sai TSK tehnoloogial töötavad Enefit-140 õlitehased projekteeritud kujul tööle. Tekkivate uttegaasi koguseid on suurendanud ka VKG Oil AS õlitehas, kus 2009. a alustas tööd uus TSK tuntud ka kui Galoter-meetodil töötav õlitehas Petroter. Tekkivat kõrvalprodukti – poolkoksgaasi, kasutatakse kõrvalasuvates elektrijaamades kas lisa- või siis põhikütusena.

1.1 Põlevkivigaasi tootmise ajalugu

1865. aastal valmis Tallinnas esimene gaasivabrik, kus tehisgaasi toodeti Inglise kivisöest. Enamik gaasist tarbiti tänavavalgustuses. Sama aasta jõulude ajal süüdati Raekoja platsil suure pidulikkusega ka esimene gaasilatern. Gaasiga varustati torustiku kaudu ka Balti Manufaktuuri, vineerivabrikut ning Kadrioru lossi ja parki.

1880. aastal avati ka Tartus gaasivabrik. See oli sama tehnoloogia ja tootlikkusega – 0,8 miljonit kuupmeetrit gaasi aastas – kui Tallinna gaasivabrik. Tartu vabrik suleti alles 1976. aastal, kui valmis Irboska – Tartu gaasiülekandetorustik.

Põlevkivitööstuse ajalugu Eestis algas maailmasõja-aastatel, nimelt 1916–1917 aastal, mil Vene valitsus kütteainete puuduse survel rajas Kohtla-Järvele lahtise põlevkivikaevanduse. Eestis algasid esimesed katsed põlevkivist õli ajamiseks veebruaris 1919 Riigi Sadamatehases [1].

Esimesed põlevkivigaasi tootmise pooltööstuslikud katsed viidi läbi kivisöe gaasistamise retortides [10]. Siis ei osatud veel arvestada põlevkivi termilise lagundamise omapäraga ja nii õnnestus kerogeeni gaasistada ainult 38–40% ulatuses.

Esimene suur õlivabrik käivitati 1924. aasta detsembris Kohtla-Järvel, läbilaskega 200 tonni põlevkivi päevas. Aastane toorõlitoodang oli umbes 10 000 tonni aastas. Samal ajal valmis ka õlitehase kõrval asuv jõujaam, mis varustas õlitehast auruga ja tootis ümbruskonda elektrienergiat. 1926. aastal asendati õlitehase kõrval asuva jõujaama senine põlevkivil baseeruv kütmisviis õlitehasest pärineva uttegaasiga. Seda aastat võib pidada uttegaasi kui energeetilise kütuse kasutuse algusaastaks. 1936. aastal valmis teine toorõlivabrik, koosnedes kaheksast püstgeneraatorist, läbilaskevõimega 320 tonni põlevkivi öö-päevas ja aastase õlitoodanguga kuni 20 000 t. 1938. aastal valmis kolmas toorõlivabrik, koosnedes 16 püstgeneraatorist, läbilaskevõimega 650 tonni põlevkivi öö-

päevas ja aastase õlitoodanguga kuni 40 000 t [1]. Õlitehastest tekkiv uttegaasi puhastati gaasbensiinist, saades nii 1–2% gaasbensiini toodangu kasvu. Peale gaasi puhastust suunati uttegaas gaasitorustiku kaudu kõrvalasuvasse jõujaama, kus seda kasutati aurukatelde kütusena.

1948. aasta 9. augustil asutati esimene gaasitranspordiettevõte Eesti territooriumil, pika ja kohmaka nimetusega Kohtla-Järve – Leningradi Gaasitorustiku Ekspluatatsioonivalitsus, mida võib lugeda tänase Eesti Gaasi eelkäijaks. Samal aastal valmis ka Kohtla-Järve Põlevkivitöötlemise tehas, kus hakati Leningradi jaoks põlevkivigaasi tootma. 1949. aastal lõpetati Kohtla-Järve – Leningradi gaasiülekandetorustiku ehitus, mille kaudu hakati Leningradi gaasiga varustama [11].

1953. aastal anti käiku esimene kõrgsurve gaasiülekandetorustik Kohtla-Järve – Tallinn ja alustas tööd trust Tallinngaas. Mõne aastaga suurenes gaasitarbimine Tallinnas paarikümnekordseks, ulatudes 1955. aastal 65 miljoni kuupmeetrini. Esimeste seas said gaasi Liviko tsehh Mere puiesteel ja Raua tänava saun [11].

1957. aastal kaotas Leningrad huvi Kohtla-Järve tehisgaasi vastu, sest seal hakati kasutama Stavropoli maagaasi. Kohtla-Järve kombinaat hakkas gaasi tootma oma tarbeks ja Eestis laiemalt kasutamiseks [11].

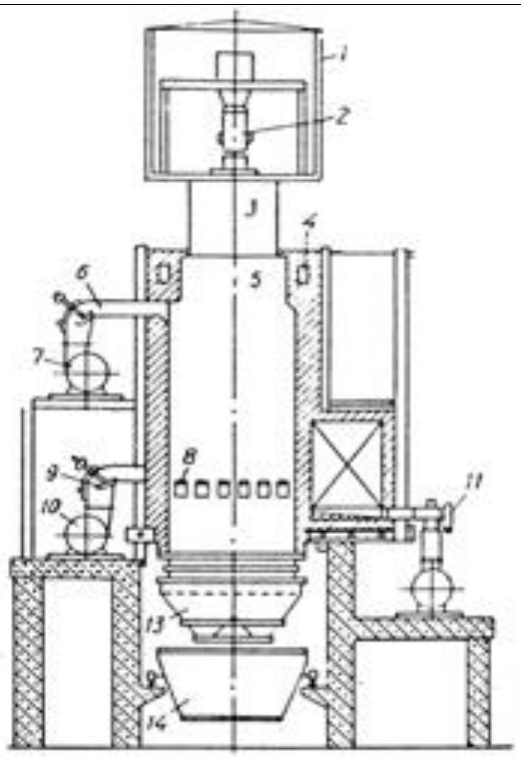
1962. aastal toodeti Kohtla-Järvel gaasi puhastamisel eralduvast gaasbensiinist esimesed tonnid benseeni ja tolueeni. Toodangu nimistusse ilmusid karbamiidvaigud, mis ei baseerunud enam põlevkivil, vaid importtoormel. Käivitati suured ja kaasaegsed formaliini ja bensoehappe tootmisüksused. Lisaks ehitati valmis ja käivitati võimas väävelhappetsehh, mis kasutas toorainena sisseveetavat väävlit [12].

1969. aastal hakati Leningradi – Kohtla-Järve ülekandetorustiku kaudu transportima Eestisse maagaasi, mis Jõhvis segati põlevkivigaasiga. Tallinn, Rakvere ja Kiviõli läksid üle uuele segugaasile. Päevakorrale kerkis ühtse maagaasil põhineva süsteemi loomine. Irboska-Tartu-Rakvere gaasiülekandetorustiku ehitus lülitati Nõukogude Liidu 1970 –1975 viisaastaku plaani [11].

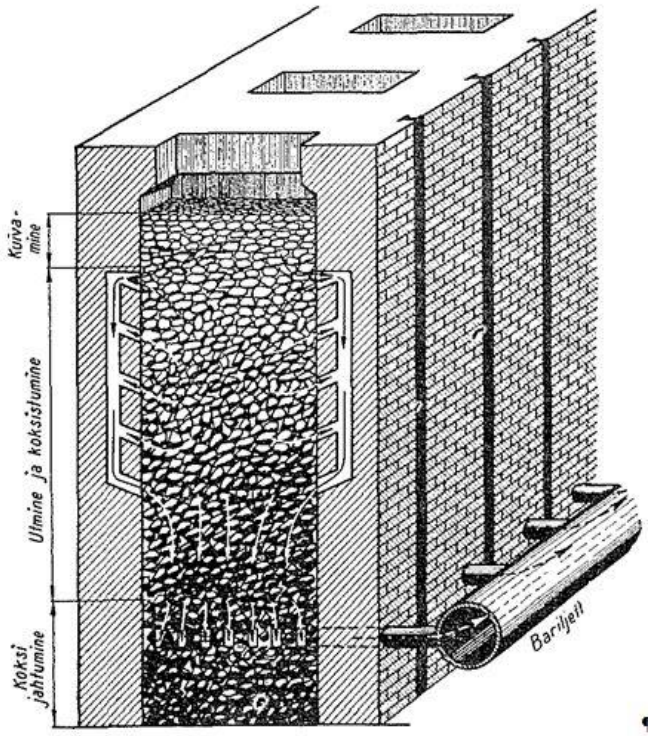
Gaasi tootmise tipp oli 1976. aastal, kui Kohtla-Järvelt väljastati 597,4 mln Nm^3 gaasi. Aeg läks ja üsna pea suretas odav maagaas põlevkivigaasi turult välja. Algas põlevkivi-gaasivabriku järkjärguline seiskamine, mis jõudis lõpule kaheksakümnendatel aastatel (1987) [13].

1.2 Põlevkivigaasi tootmise tehnoloogia ja transport

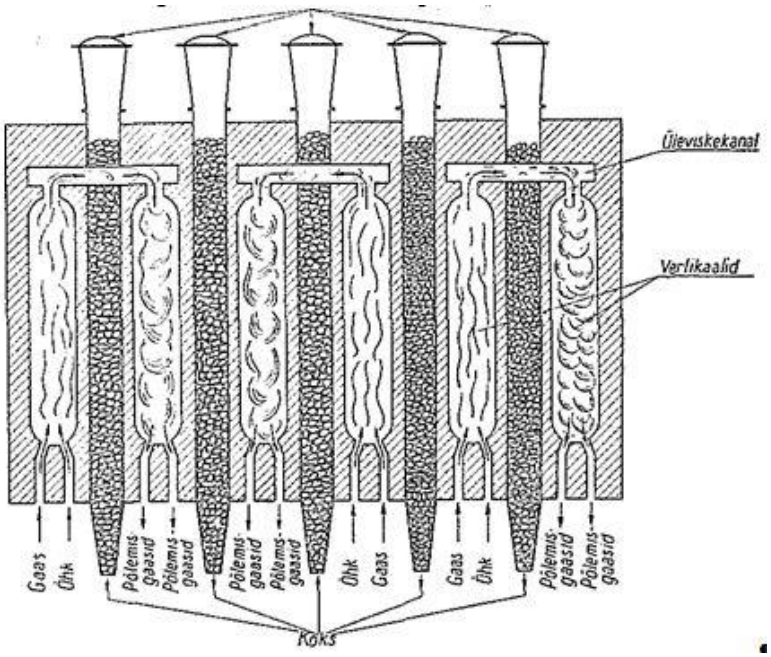
V. Žunko ja L. Zaglodini põlevkivi gaasistamiseks konstrueeritud kamberahi [13] avas uue tee terve seeria eri tüüpi kamberahjude konstrueerimiseks ja katsetamiseks. Mõnede praktikas kasutamist leidnud kamberahjude läbilõiked on toodud Joonis 2, Joonis 3 ja Joonis 4. Ahju kambri konstruktsioon on küllaltki keeruline. Paljuski kujunes see välja kambrite tegeliku tööstusliku ekspluateerimise käigus. Kamberahjud olid laotud nii tulekindlatest tellistest kui ka harilikest tellistest. 9,3 m kõrgune patarei oli pikivaheseintega jaotatud 23 kambriks. Põlevkivi sujuv liikumine allapoole kindlustati sellega, et kamber ise kujutas endast vertikaalset allapoole laienevat lõõritaolist moodustist.



Joonis 2. Kamberahju skeem: 1 – kambrite kattesild. 2 ja 14 – vagonett. 3 – põlevkivi laadimisseade. 4 – õhukanal. 5 – kamber. 6 ja 9 – gaasipõlv. 7 ja 10 – ülemine ja alumine bariljett. 8 – gaasikogumiskanal. 11 – õhu-gaasiklapp. 13 – koksi väljalaadimisseade [4]



Joonis 3. Kamberahju kambri ristlõige [14]



Joonis 4. Kamberahju küttekorraldus [14]

Orgaanilise aine sisalduse vähendamiseks tahkes jäägis juhiti kambrite alumisse ossa õhku (70–90 m³/t põlevkivi kohta). Kamberahjudes [3] saadud toorgaasist eraldati tõrv, gaasbensiin ja uttevesi. Gaas puhastati väävliühenditest. Gaasist saadi veel naftaliini, ammoniaak jt ühendid. Nii saadi tööstuslikul režiimil gaas küttevääртusega 3 752 kcal/Nm³ (15,71 MJ/Nm^3) (Tabel 1).

Tabel 1. Kohtla-Järvel saadud kamberahjugaasi iseloomustus [3]

Komponent	Projektijärgne	Tööstuslik
CO_2+ H_2S, mahu %	15,2	15,6
C_nH_m, mahu %	5,5	6,0
O_2, mahu %	0,7	0,7
CO, mahu %	18,4	12,3
H_2, mahu %	30,4	27,4
Cn H_{2n+2}, mahu %	19,5	16,4
N_2, mahu %	10,3	21,6
H_2S, g/Nm³	8,0	14,9
Kütteväärtus, MJ/Nm³	18,13	15,71

Kamberahjugaas (majapidamisgaas) sisaldab palju vesiniku (27,4%) ja süsinikmonooksiidi (vingugaas) (12,3%), kuid ka N_2 (21,6%) ja H_2S sisaldus (14,9 g/Nm^3) on suhteliselt kõrged. Tööstuslikul režiimil saadud toorgaasi N_2 sisaldus sõltus tahke jäägi järelkäitlemiseks kasutatud õhu hulgast. Toorgaasi küllastamata süsivesinike fraktsioonist moodustas kuni 75,0% etüleen (C_2H_2) ja küllastunud süsivesinikest metaan (CH_4) kuni 83%. Kamberahju tõrva iseloomustab kõrge kristalliseeruvate orgaaniliste ühendite sisaldus. Olgu märgitud, et K. Help sai 1962. aastal [9] põlevkivi ja freesturvast (10%) koos gaasistades kamberahjugaasi saagise suurenemise 30%, kusjuures vedelsaaduste kogus ei vähenenud.

Põlevkivigaasi tootmise kokkuvõttena saab väita [4] et:

- põlevkivigaasi tootmine oli suurtööstuslikult edukalt realiseeritud protsess, kusjuures kamberahjude tootmisvõimsuseks (faktiline põlevkivi läbilase) oli 16–17 t/ööpäevas. Kambri keskmisse ossa 80 Nm³/t õhu ja 90 kg/t veeauru sissejuhtimine tõstis kamberahjude tootlikkust oluliselt [3]. Gaasi saagis suurenes 27% ja vedelproduktide saagikus kasvas 2,2%. Kamberahjugaasi kütteväärtuseks oli 4 700–4 800 kcal/Nm³ (19,68–20,10 MJ/Nm^3) [4].

- Olenevalt tehnoloogilise režiimi parameetritest võisid produktide saagised oluliselt kõikuda:

kamberahjugaas	257–361 Nm³/t
tõrv	2,8–7,0%
gaasbensiin	1,57–2,1%

- Generaatorõli raskemate fraktsioonide tööstuslik ümbertöötamine kamberahjus kõrge kütteväärtusega gaasiks võimaldas suuremas koguses toota gaasbensiini, mille koostises oli kuni 90% aromaatseid ühendeid.

Rekordaastal (1971) kasutati põlevkivigaasi tootmiseks 1,74 mln tonni põlevkivi.

<u>Kamberahjudest saadud põlevkivigaas oli ainult toorprodukt, mis vajas hoolikat ümbertöötamist ja ettevalmistamist, kuni ta sobis transpordiks tarbijani</u>. Toorgaas vajas põhjalikku puhastamist kahjulikest lisandeist. Kamberahju üksikutest kambritest väljus gaas kuumana sisaldades tõrvaauru ja veeauru. Kuum gaasi juhiti läbi külmade, veega jahutatavate torude, et tõrv ning vesi koguneks tõrva ja vee kogujasse. See oli alles esimene samm põlevkivigaasi transpordiks ettevalmistamise käigus. Toorgaasis leidub alati bensooli, naftaliini ja ammoniaaki. Gaasi jahutamisel eraldub küll suur hulk naftaliini, kuid teda jääb siiski veel järele kuni pool grammi kuupmeetri gaasi kohta. Juba ühe aasta jooksul täituks gaasijuhe mitme kilomeetri ulatuses naftaliiniga, muutes gaasi voolamise võimatuks. Sama probleem on ka bensooliga. Bensool külmub juba +5 °C juures jäätaoliseks aineks ja võib põhjustada torude täielikku ummistumist.

Põlevkivigaasis sisalduva naftaliini ja bensooli kõrvaldamiseks kasutati gaaside „pesemist“. Naftaliin ja bensool lahustuvad hästi mitmesugustes õlides. Nende väljapesemiseks gaasisegust kasutatigi seepärast õli. Gaasipesutornis ehk -kolonnis nõrgus resti mööda alla pesuõli, temale vastu aga voolab naftaliini ja bensooli sisaldav gaas. Naftaliin ja bensool lahustuvad pesuõlis ning kantakse torni alumisest osast välja. Torni ülemisest osast aga väljus gaas naftaliini ja bensooli vabana.

Ammoniaagi väljapesemine gaasisegust oli lihtsam. Ammoniaak lahustub kergesti vees, andes ammooniumhüdroksiidi ehk nuuskpiirituse. Ammoniaagi väljapesemiseks kasutatigi pesutornis vett. Kõrvalproduktina saadi ammooniumhüdroksiidi, mida oli võimalik kasutada lämmastikväetise tootmiseks.

Sellega olid peamised kahjulikud lisandid, mis takistavad gaasi kaugtransporti, kõrvaldatud. Järele jäi veel väävelvesinik, mis on vältimatu lisand igas gaasisegus, mida saadakse tahke kütuse lagundamisel kuumuse mõjul. Kütuses olev väävel muutub õhu juurdepääsuta kuumutamisel mitmesugusteks väävliühenditeks, muuhulgas ka väävelvesinikuks, mille kõrvaldamiseks tuleb näha palju vaeva.

Väävelvesiniku kõrvaldamine on hädavajalik kuna tegemist on mürgise ainega. Juba viis sajandikku protsenti väävelvesinikku õhus mõjub sissehingamisel ühe tunni jooksul surmavalt. Gaasipliidis põlemisel muutub väävelvesinik väävlisgaasiks, mis eluruumi sattudes mürgitab õhku ja on ebameeldiv oma terava lõhna poolest. Samuti ei talu väävlisgaasi sööbivat mõju keedupotid ja kastrulid ning muutuvad kiiresti auklikeks. Torujuhtmetes ühineb väävelvesinik toru terasseintega ja rikub hinnalisi torujuhet, mille remont on väga tülikas.

Väävelvesinik lahustub vähesel määral vees ja õlis, kuid teda jääb gaasisegusse veel liiga palju. Väävelvesiniku väljapesemiseks ei piisa tema lahustamisest pesuvedelikus, vaid teda tuleb tugevasti siduda keemilisse ühendisse. Põlevkivigaaside puhastamiseks osutus sobivaks sooda ja arseenoksiidi segamisel tekkiva naatriumarseniidi vesilahus. Sellel pesulahusel on hea omadus kõrvaldada gaasist ka väga väikesi väävelvesiniku hulki. Pärast pesutornist väljumist puhutakse pesulahusest läbi õhku ja seotud väävelvesinik muutub kollaseks peeneteraliseks väävliks. Pesulahust, millest väävel on kõrvaldatud, saab uuesti tarvitada väävelvesiniku väljapesemiseks.

Väävelvesinik eraldub visalt gaasisegust. Pesutornis kemikaalidega kokku puutudes eraldub küll enamik väävelvesinikust, kuid mõni sajandik protsenti jääb teda siiski alles. Väävelvesiniku sisalduse alandamise teise astmena kasutati soorauamulda. Rooste-mullal on suurepärane omadus ühineda väävelvesinikuga. Väävelvesinikuga kokku puutudes muutub ta süsimustaks rauasulfiidiks – raua ja väävli keemiliseks ühendiks. Soo-rauamullal on nii suur tung väävelvesinikuga ühinemiseks, et isegi väga väikesed väävelvesinikuhulgad ei pääse temast läbi, ilma et moodustuks must rauasulfiid.

Soorauamulda rakendatigi põlevkivigaasi puhastamiseks väävelvesiniku jälgedest. Hiiglasuurde, õlireservuaariga sarnanevasse terastõrde oli ehitatud puidust riiulid. Riiulitel lebas saepuruga segatud soorauamuld. Saepuru oli vajalik soorauamulla poorsemaks muutmiseks, et hõlbustada gaasi läbitungimist temast. Põlevkivigaas tungis läbi soorauamulla ja andis ära endas leiduva väävelvesiniku. Tornist väljus puhas gaas. Kui soorauamullas olev aktiivne rauaoksiid ehk rauarooste oli ära kulutatud, siis lülitati tegevusse uus torn ja senikasutatud tornist hakatakse läbi puhuma õhku. Õhu hapendaval toimel rauaoksiid taastub ja on kõlblik edasiseks kasutamiseks.

Sedasi saadi põlevkivigaasist põlev gaas, mis sobis transpordiks torujuhtmete kaudu ja tarvitamiseks elukorterites majapidamisgaasina.

Majapidamisgaasi transpordiks ehitati torujuhe Kohtla-Järvelt Leningradini (~200 km) ja Tallinna (140 km). Gaasi algrõhk oli 50 atm. Põlevkivigaasi komprimeerimisel veelduvad temas esinevad bensiiniaurud, nn gaasbensiin, andes lähteaine bensooli, toluooli ja mitmete teiste ühendite saamiseks.

Põlevkivigaasi/majapidamisgaasi ligikaudne koostis oli järgmine [14]:

süsihappegaasi - 19%
vingugaasi - 11%
metaani - 24%
etüleeni - 5%
vesinikku - 39%
lämmastikku - 2%

Põlevkivigaas sisaldas näiteks palju etüleeni, mida saab muuta etüülalkoholiks ehk etanooliks, mida saab edasi kasutada butadieeni ehk divinüüli saamiseks.

Põlevkivigaasis leidub suures koguses metaani. Asendades metaani molekulis leiduvad vesiniku-aatomid klooriaatomitega, võib saada terve rea uusi tähtsaid keemilisi aineid, näiteks metüülkloriid, dikloormetaan ja tetrakloorsüsinik.

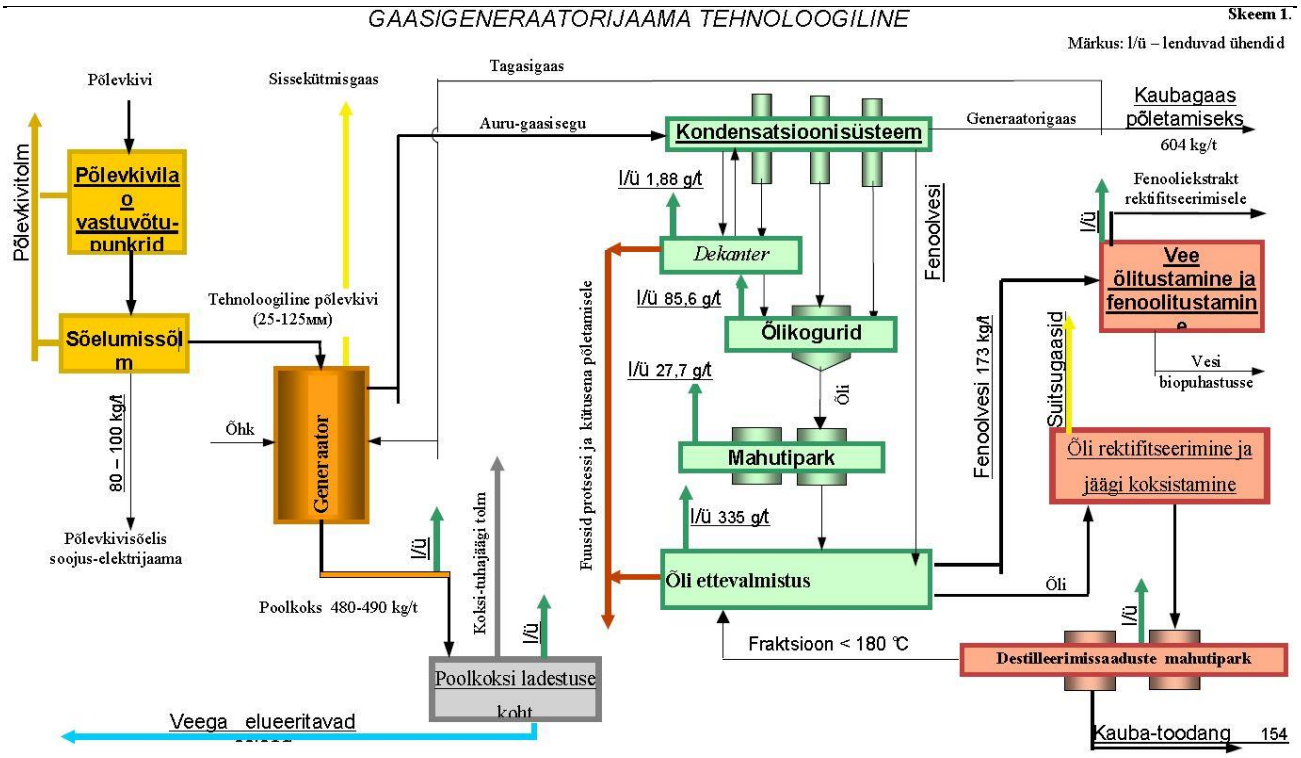
Vesiniku liitmisel õhu-lämmastikuga saadakse gaasiline ammoniaak. Vesinik on abiks ka väärtuslike bensiinide tootmisel. Hüdrogeniseerimine võimaldab tunduvalt laiendada bensiini tootmise baasi ja ühtlasi parandada põlevkivibensiini omadusi.

1.3 Põlevkiviõli ja -gaasi tootmine tunnelahjus

1956. aastal käivitus kahe ahjuga tunnelahjude tsehh, mis töötas GSK meetodil. Tunnelahjudes kasutati kütusena generaatorgaasi ja mis andsid ise generaatorgaasitorustikku tagasi kümme korda kõrgema küttevääртusega, kuid ligi kakskümmend korda väiksema mahuga uttegaasi. Õlisaagis oli tunnelahjudel laboratoorse õlisaagisega võrdne või isegi veidikene kõrgem, kuid mehhanismide rohkuse ja soojusvahetite torude kiire koksistumise tõttu lõpetati tunnelahjude kasutamine 1968. aastal. Seetõttu käesolevas aruandes seda õlitootmistehnoloogiat laiemalt ei käsitleta.

1.4 Põlevkiviõli ja gaasi tootmine gaasigeneraatoreis (200–1000 t põlevkivi)

Põlevkivi töötlemiseks põlevkiviõli ja generaatorgaasi ning muude keemiatoodete saamiseks on kasutatud pikka aega põhiliselt nn Kiviter-tüüpi uttegeneraatoreid. Protsess (edaspidi generaator-protsess) seisneb keskmiselt 12 MJ/kg küttevääртusega tükkpõlevkivi suurusega 25–125 mm utmises generaatoreis (püstretortides) gaasilise soojuskandja ristvooluses temperatuuril 800–900 °C, mis saavutatakse tagasiantava generaatorigaasi põletamisega ja põlemissaaduste segamisega tagasigaasiga soojuskandja ettenähtud temperatuuri saavutamiseks. Põlevkivi termilisel lagundamisel saadakse õli, vesi ja generaatorigaas. Töötlusjäägiks on poolkoks ja fuussid [8, 15]. Generaator-protsessil põhinevad seadmed töötavad praegu Kohtla-Järvel VKG Oil ASis ja Kiviõlis Kiviõli Keemiatööstuse OÜs. Toodetud põlevkiviõli ja keemiatooted müüakse, madala kalorsusega uttegaas põletatakse energeetilistes kateldes.



Joonis 5. VKG Oil ASi gaasigeneraatorijaama tehnoloogiline skeem [15]

Näitena on toodud Joonis 5, kus on VKG Oil ASi gaasigeneraatorijaama tehnoloogiline skeem [15] (Kiviter 1 tehnoloogilises protsessis põlevkiviõli töötlemise osas tuharikast raskeõli ei teki, sest põlevkiviõli termosetitamist dekanterites ei toimu. Protsessis tekib ka filtrikook ja seda kasutatakse tööstuskütusena), mis jaguneb etappideks järgnevalt:

Etapp 1. Põlevkivi ettevalmistamine. Rikastatud põlevkivi saabub põlevkivi töötlevasse tootmisse raudteevaguneis. Vagunitest laaditakse põlevkivi isevooluliselt luukide kaudu välja põlevkivilao vastuvõtupunkreisse. Punkrist antakse see tiiviksööturitega konveierilintidele ja edasi sõelumissõlme sõeluritele, kus toimub kuni 25 mm klassi kuuluva põlevkivi eraldamine (sõelis). Viimane suunatakse katlaagregaatidesse põletamiseks. Tehnoloogiline tükipõlevkivi (25–125 mm) suundub generaatorite punkritesse (5 GGS ja 1000-tonnine generaator (Kiviter-protsess)).

Etapp 2. Põlevkivi termotöötlus. Generaatori punkrist antakse põlevkivi automaatselt toiteseadiste abil generaatori ülaossa, kus toimub põlevkivi kuivatamine, aga seejärel termiline lagundamine gaasilise soojuskandja ristvoolus, mida saadakse tagasigaasi põletamisel erikolletes. Soojuskandja temperatuuri viimiseks normideni (700–900 °C) segatakse juurde külma tagasiantavat generaatorigaasi. Tahke jääk (poolkoks) laskub allossa, kus toimub selle jahutamine tagasiantava ringlusgaasiga, aga seejärel tühjendusseadises veega (taldmikul või ekstraktoris).

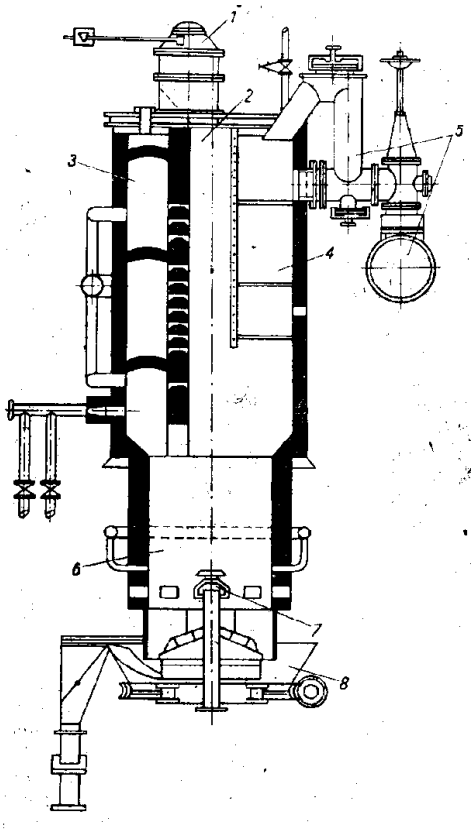
Etapp 3. Põlevkivitöötluse tahke jäägi eemaldamine. Jahutatud ja niiske poolkoks laaditakse tühjendamisseadisest välja "tuha" konveierilintidele, mida mööda suunatakse "tuha" punkritesse. Nendest veetakse poolkoks autodega poolkoksi ladestuse kohta.

Etapp 4. Auru– ja gaasisaaduste kondenseerimine ning lahutamine. Õli- ja veeaurud ning generaatorigaas suunatakse kondenseerimissüsteemi, kus toimub õli- ja veeaurude jahutamine ning kondenseerimine ja saadakse õli rask- ning kerg-keskfraktsioon ja fenoolvesi. Osa gaasi suunatakse tagasi generaatorisse, ülejäänud gaas antakse tarbijaile. Vedelsaadused kogutakse tsehhi vastavatesse mahutitesse.

Etapp 5. Vedelsaaduste töötlemine. Tsehhi mahuteist suunatakse õli ja vesi edasisele töötlusele. Õli pestakse läbi fenoolveega ja setitatakse dekanterites ja termosetitis, mis võimaldab

vähendada selles tuha, mehaaniliste lisandite ja vee sisaldust normini, samuti eraldada sellest veeslahustuvad fenoolid. Edasi suunatakse ettevalmistatud õli destilleerimisele, kus lahutatakse kaubafraktsioonideks. Fenoolvett töödeldakse defenoolimisseadmel, mille tulemusel saadakse veeslahustuvad fenoole.

Kiviter-tüüpi põlevkivi uttegeneraator (Joonis 6) kujutab endast vertikaalset šahti, mis on püstvaheseintega jaotatud kolmeks osaks. Põlevkivi variseb laadimiskarbist keskmisse sektsiooni, uttešahti *2,* milles liigub aeglaselt alla, kusjuures toimub utmine šahti läbiva kuuma soojuskandja horisontaalse vooluga.



Joonis 6. Põlevkivi uttegeneraator. 1- laadimiskarp, 2-uttešaht, 3- soojuskandja kamber, 4- utteproduktid, 5- utteproduktide eraldamise torustik, 6- gasifikaator, 7- puhumispea, 8- tuhataldrik

Soojuskandja saadakse generaatorgaasi põletamisel soojuskandja kambris *3,* kust see tungib läbi vaheseinas olevate avade uttešahti. Soojuskandja gaasiga segunenud utteproduktid kogutakse kambrisse *4,* mis on šahtist eraldatud metallvarbadest seinaga, ning eemaldatakse sealt torustiku *5* kaudu. Poolkoks langeb uttešahtist gasifikaatorisse *6.* Viimasesse antakse puhumispea *7* kaudu sisse õhku, mille tulemusena poolkoksist põletatakse välja süsinik. Tuhk eraldatakse pöörlevalt tuhataldrikult *8.* Poolkoksi põlemisproduktid suunduvad gasifikaatorist läbi poolkoksi soojuskandja kambrisse, kus segunevad soojuskandjaga. Edaspidi kasutatakse neid põlevkivi utmiseks uttešahtis. Põlemisproduktide kohest suundumist gasifikaatorist utteproduktide kambrisse *4* takistab paks kütusekiht. Šlaki sulamise ja resti ülekuumenemise vältimiseks antakse gasifikaatorisse veeauru, mis reageerib süsinikuga ja annab juurde täiendava koguse gaasi. Sobiva temperatuuri hoidmiseks soojuskandja kambris lisatakse sinna tavaliselt **külma generaatorgaasi.**

<u>Põlevkivi utmisel tekib 1 tonni tehnoloogilise põlevkivi kohta:</u>

- **14–16 % põlevkivi õli, s.o. 140–160 kg**
- **poolkoksi kuivale massile arvutatuna 450–550 kg**
  (Poolkoksi kütteväärtus on piirides 2,41–3,73 MJ/kg (575–890 kcal/kg), kuid energeetilises mõttes ei leia kasutamist ja ladustatakse tuhamägedele.)

- **750–850 Nm^3 generaatorgaasi, mille koostis on keskmiselt järgmine (**Tabel 2**)**:

Tabel 2. Generaatorgaasi koostis

Komponent	%, mahu järgi
CO_2+H_2S	17,5
O_2	1,4
H_2	6,0
N_2	66,0
CO	6,6
CH_4	1,5
C_nH_m	1,0

- H_2S sisaldus on 8,21 g/Nm^3
- küttevääртus 800–1100 kcal/Nm^3 (3,35–4,61 MJ/Nm^3).

1.5 Põlevkiviõli ja poolkoksgaasi tootmine TSK meetodil

Põlevkivi energotehniline töötlus tahket soojuskandjat kasutades annab võimaluse kasutada peeneteralist põlevkivi (kaasa arvatud tolm), mis tekib põlevkivi kaevandamisel. Põlevkivi töödeldakse termiliselt ja saadakse õlisaadused ja kõrge kalorsusega gaas küttevääртusega kuni 50 MJ/m³. Saadud tooteid kasutatakse puhaste kõrgekvaliteediliste energiakandjatena, aga hinnalisemad keemilised koostisosad on täiendavaks toormebaasiks keemiatööstusele.

Protsessi olemus on selles, et põlevkivi termiliseks lagunemiseks vajalik soojus edastatakse tahke soojuskandjaga – ringleva kuumutatud põlevkivituhaga. Tuhk pidevalt seguneb põlevkiviga enne pöörlevat trummelreaktorit ja selle sees, siis kuumeneb uuesti tehnoloogiliseks koldes segusse jääva tuha ja poolkoksi orgaanilise aine põletamisel eralduva soojuse arvel. Tuha liig, mis vastab selle sisaldusele saabuvas põlevkivis, viiakse süsteemist välja. Tuhast puhastatud tehnoloogilise kolde põlevaid suitsugaase kasutatakse põlevkivi kuivatamiseks.

Protsessi võib jagada etappidesse järgnevalt [15]:

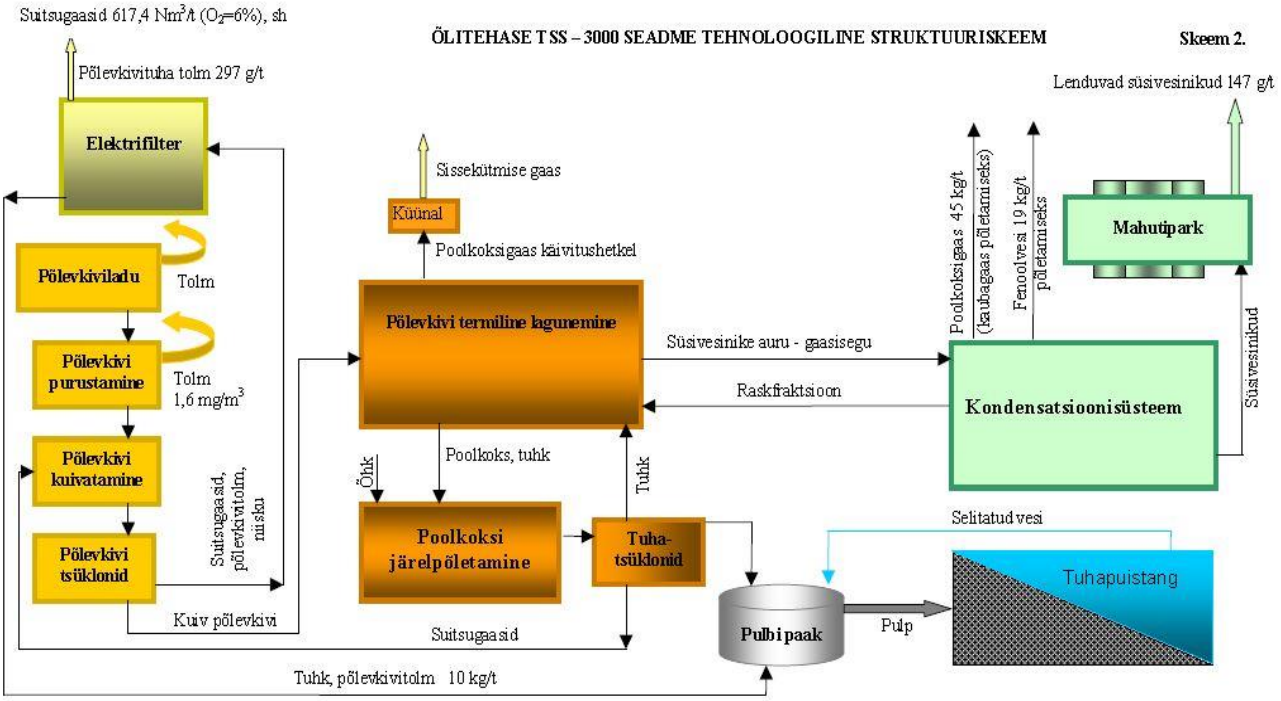
Etapp 1. Põlevkivi ettevalmistamine. Töötlusse saabunud põlevkivi läbib purusti ja tükkidena suuruses 0÷20 mm antakse aerofontäänkuivatisse, kus tuhatsüklonitest saabuvate jääkgaaside soojuse arvel toimub põlevkivi kuivatamine. Kuiva põlevkivi ja suitsugaaside aerohõljum suundub kuiva põlevkivi tsüklonisse tahke faasi eraldamiseks gaasilisest faasist.

Etapp 2. Põlevkivi termotöötlus. Kuiv põlevkivi antakse läbi seguri pöörlevasse trummelreaktorisse (rõhtretorti). Põlevkivi termilise lagunemise teostamiseks antakse segurisse koos kuiva põlevkiviga soojuskandja – tuhatsüklonites eraldatud kuumutatud põlevkivituhk. Samal ajal pritsitakse sisse raskõli saastunud fraktsioone. Soojusvahetus nende vahel toimub kõrge intensiivsusega tänu soojuskandja väikeste osakeste ja kuiva põlevkivi väga arenenud pinnale, mille tõttu vajalik aeg põlevkivi kuumutamiseks lenduvate maksimaalseks eraldamiseks on väike. Põlevkivi termilise lagunemise saadused: auru-gaasisegu, poolkoks, aga samuti soojuskandja suunduvad reaktorist tolmukambrisse, kus toimub gaasifaasi ja tahke materjali esmane lahutamine gravitatsiooni teel. Poolkoks segus tuhaga tolmukambri allosast antakse põletamisele. Koldes toimub utmise põlevjäägi põletamine õhu vajaku puhul, mille tõttu soojuskandja mass kuumeneb vajaliku temperatuurini.

Etapp 3. Tahke jäägi eemaldamine. Elektrifiltris püütud põlevkivituha tolm heidetakse hüdraulilise tuhaärastussüsteemi kaudu pulbipaaki, kus segatakse tuhatsüklonites eraldatud liigtuhaga ja edasi tahkete jäätmete hõljum suunatakse tuhapuistangule.

Etapp 4. Auru –gaasisaaduste kondenseerimine ja lahutamine. Puhastatud auru–gaasisega suundub kondenseerimisosakonda, kus eraldatakse kesk-raskõli fraktsioon ja petrooli- so-

laarõli fraktsioon. Seejärel jahutis kondenseeruvad vee ja bensiini aurud, poolkoksgaas vabaneb kondenseerunud saadustest ja suunatakse kütusena energeetilistesse kateldesse. Käivitusperioodil poolkoksgaas põletatakse „küünlal“.



Joonis 7. TSK-140/UTT-3000 seadme tehnoloogiline skeem [15]

Joonis 7 toodud Eesti Energia Õlitööstus ASi TSK-140 seade, tänaseks modifitseeritud Enefit-140, töötab järgmisel põhimõttel.

Eelnevalt kuivatatud peenpõlevkivi segatakse 800 ºC kraadise põlevkivituhaga, mis suunatakse trumlikujulisse pöörlevasse horisontaalsesse reaktorisse, kus toimub utmine. Õliaurud, gaas ja tahke jääk satuvad tolmueraldus kambrisse. Kondensatsioonplokis toimub õli ja vee kondenseerumine. Poolkoksi ja tuha segu juhitakse aerofontäänkoldesse, kus toimub poolkoksi põletamine ja suitsugaaside eraldamine. Suitsugaasid juhitakse põlevkivi kuivatisse, tuhk tuhaväljale ja osaliselt tagasi reaktorisse. Utmisel on võimalik kasutada madalama orgaanilise aine sisaldusega põlevkivi kui teistes seadmetes. Tööstuslik õlisaagis ulatub kuni 78% laboratoorsest ning gaas on kõrge kütteväärtusega 46 MJ/Nm^3. Õlitehases toodetud õlidele kehtib ettevõttestandard EE 10579981-NJ ST 6:2001.

Peenpõlevkivi energotehnoloogilisel kasutamisel saastunud õlijäätmed – fuussid ja osa raskõli fraktsioonist antakse süsteemi tagasi teiseseks lagundamiseks. Auru-gaasisegu puhastatakse peendisperssest tuhast ja tahmast, läbides kõrge efektiivsusega kaheastmelise tsüklonpuhastuse süsteemi. Ultradisperssetest osistest vabanetakse skraberites.

1.6 Kiviõli Keemiatööstuse OÜ põlevkiviõli ja poolkoks- ning generaatorgaasi tootmine

Kiviõli Keemiatööstuse OÜ põlevkiviõli tootmine baseerub kaheksa, 1953. a ehitatud ja 1960-ndatel aastatel rekonstrueeritud põikvoolu uttegeneraatori baasil ning kahel tahke soojuskandjaga TSK-500 retordil.

Kiviõli Keemiatööstuse OÜ on koostanud ka ettevõtte standardi generaatorgaasile, mis saadakse põlevkivi poolkoksistamisel ja kasutatakse kütusena. Standardi järgi peab generaatorgaas vastama alljärgnevatele nõuetele (Tabel 3).

Tabel 3. Generaatorgaasi koostis mahu järgi

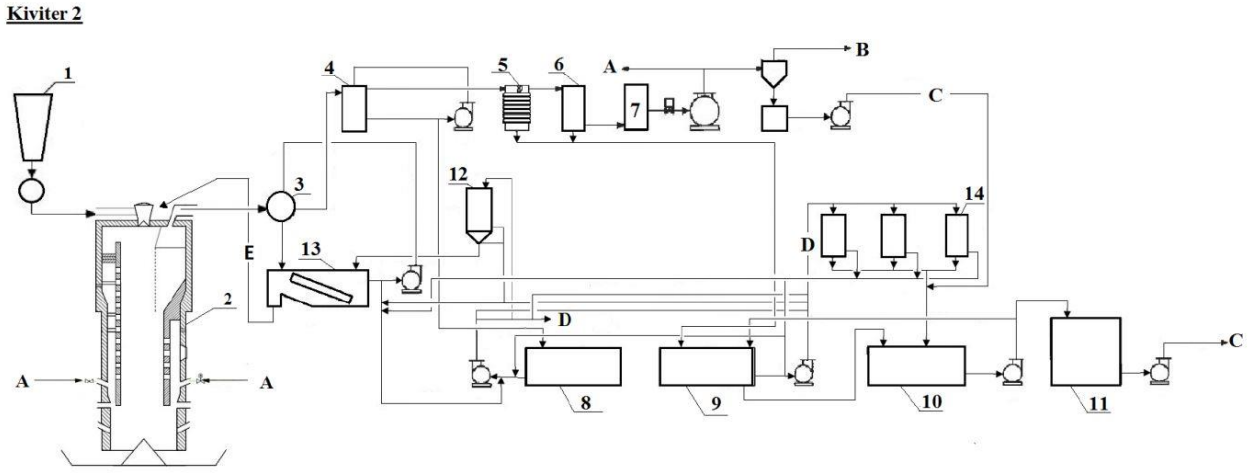
Komponent	%, mahu järgi
CO_2+H_2S	14–18
O_2	0–2
H_2	7–10
N_2	64–68
CO	3,5–5,6
CH_4	2–4
C_nH_m	0,5–2,5

- H_2S sisaldus on 8,21 g/Nm^3
- küttevärtus 800–1100 kcal/Nm^3 (3,35–4,61 MJ/Nm^3).

Märkus: põlevkiviõli tootmise tehnoloogiast tulenevalt suunatakse 50–60 % generaatorgaasi tagasi uttegeneraatorisse. Seega Kiviõli SEJ kütusena leiab kasutamist tonni põlevkivi utmisel ca 405 Nm^3 generaatorgaasi keskmise küttevärtusega 670 kcal/Nm^3 (2,81 MJ/Nm^3).

Põlevkivi üks uttegeneraator on võimeline maksimaalselt töötlema 200 tonni tehnoloogilist põlevkivi ööpäevas. Tehnoloogilise töörütmi järgi saab korraga töötada seitse gaasigeneraatorit. Põlevkivi uttegeneraatorid on pidevtoimelised ja seega hüppelisi kõikumise toodangus, s.h. generaatorgaasi tekkimisel, ei esine.

Täpsem skeem Kiviõli Keemiatööstuse OÜs kasutatavast Kiviter tehnoloogiast on toodud Joonis 8 [16]. Kiviter 2 tehnoloogilises protsessis tekib tuharikas raskõli, samuti TSK protsessides. Seda suunatakse korduvalt tagasi termilisesse töötlusesse. Väike osa tuharikast raskõli saadetakse alternatiivkütusena tsemenditööstusesse.



Joonis 8. Kiviter-2 tehnoloogia põhimõtteline skeem [16]:
1 – põlevkivi mahuti, 2 – gaasigeneraator, 3 – barilett (horisontaalne skraber), 4, 5, 6 – erifraktsioonide kondensaatorid, 7 – absorber, 8 – raskõli koguja, 9 – keskõli koguja, 10 – fenoolvee koguja, 11 – fenoolvee settepaak, 12 – reserv tuhapunker, 13 – dekanter , 14 – keskõli settepaagid.
A – generaatorgaas; B – generaatorgaas tarbijatele; C – fenoolvesi; D – põlevkiviõli; E – tuharikas raskõli

Kiviõli Keemiatööstuse OÜ-s on valminud põlevkiviõli tootmiseks kaks TSK-500 retorti. Üks TSK retort on oma tootmismahtude poolest kuus korda väiksem kui Narva Õlitehase omaaegne UTT-3000 või VKG Grupp AS Petroter tahke soojuskandjaga tootmisseade.

Üheaegselt on töös üks tahke soojuskandja seade ja seitse gaasigeneraatorit (parimal juhul kõik 8), kuna üks generaator on tavaliselt hoolduses. Kiviõli Keemiatööstuse viimase viie aasta keskmine aasta põlevkiviõli toodang on olnud 65 000 tonni [16]. Uttegaaside koostis on esitatud Tabel 4.

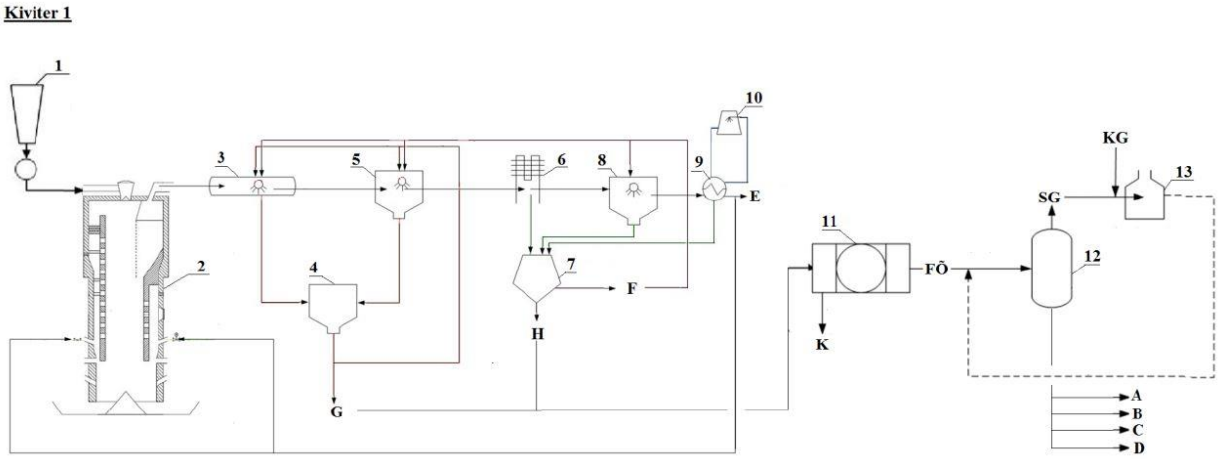
Tabel 4. Põlevkiviõli tootmisel tekkivate gaaside analüüside tulemused

Näitaja	Mõõtühik	Generaatorgaas[1]	Poolkoksgaas[2]
Süsinikdioksiid (CO_2)	Mahu %	17,22	2,26
Eteen (C_2H_4)	Mahu %	0,54	10,00
Etaan (C_2H_6)	Mahu %	0,29	7,63
Propeen (C_3H_6)	Mahu %	0,19	6,11
Propaan (C_3H_8)	Mahu %	0,09	2,44
Buteen (C_4H_8)	Mahu %	0,08	4,62
N-butaan (C_4H_{10})	Mahu %	0,04	1,02
Vesinik (H_2)	Mahu %	5,44	15,06
Lämmastik (N_2)	Mahu %	68,34	18,38
Metaan (CH_4)	Mahu %	1,51	13,86
Süsinikoksiid (CO)	Mahu %	3,69	11,71
Hapnik (O_2)	Mahu %	1,88	0,27
Vesiniksulfiid (H_2S)	Mahu %	0,52	3,45
C_{5+}/C_{6+}	Mahu %	0,20	3,19
Gaasibensiini sisaldus	g/Nm^3	21,80	–
Tihedus	kg/Nm^3	1,23	1,15

Generaator- ja poolkoksgaasid (Tabel 4) leiavad kasutamist Kiviõli Keemiatööstuse OÜ Kiviõli soojuselektrijaamas, kus on installeeritud neli katelt.

1.7 VKG Oil AS põlevkiviõli ja utte- ning generaatorgaasi tootmis-võimsused

VKG-s kasutatav Kiviteri tehnoloogilise protsessi põhimõtteline skeem on toodud Joonis 9 [16].



Joonis 9. Kiviter-1 tehnoloogia põhimõtteline skeem:
1 – põlevkivi mahuti, 2 – gaasigeneraator, 3 – horisontaalne skraber, 4 – raskõli mahuti, 5 – skraber, raskõli ja fenoolvee pihustamisega, 6 – õhksoojusvaheti-kondensaator, 7 – õli-veesegu seliti (eraldi kerg-keskõli ja fenoolvesi), 8 – fenoolvee pihustamisega tilgapüüdja-kondensaator, 9 – vesisoojusvahetid-kondensaatorid,

[1] 2012 a tehtud analüüside aritmeetiline keskmine. VKG OIL AS.
[2] 02.05.2012 välja antud katseprotokolli põhjal. VKG OIL AS.

10 – ventilaatorgradiirid (keskringlusveesõlm), 11 – filtreerimisseade, 12 – destillatsioonikolonn, 13 – destillatsiooniseadme katel.
A – põlevkiviõli raskfraktsioon; B – põlevkiviõli keskfraktsioon; C – põlevkiviõli kergfraktsioon; D – bensiin; E – generaatorgaas; F – fenoolvesi; G – raskõli; H – kerg–keskõli; K – filtrikook; FÕ – filtreeritud õli; SG – separaatorgaas; KG – küttegaas.

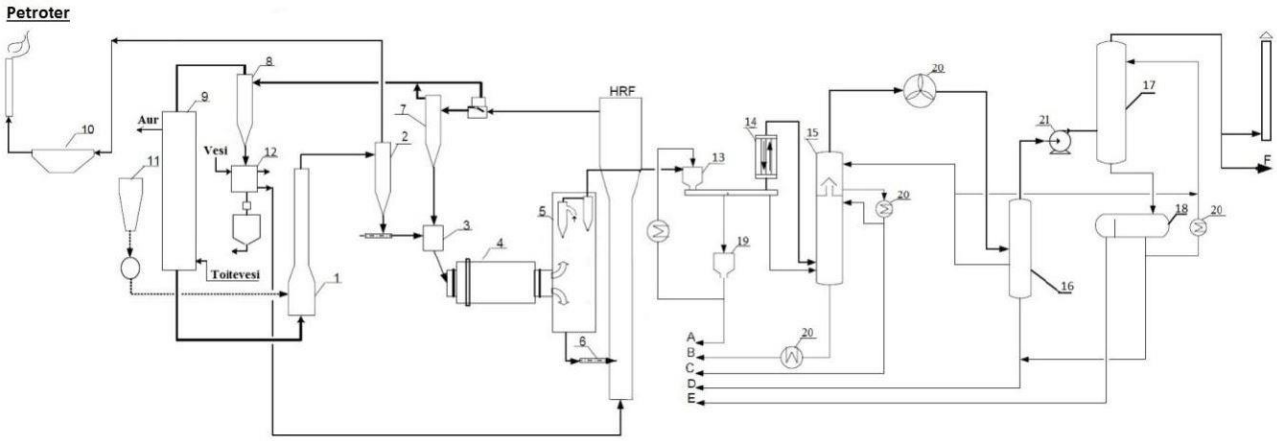
VKG OIL AS töötleb põlevkivi järgmiste seadmetega:

- Gaasigeneraatorjaam nr 3 (GGJ-3) – 16 generaatorit nimivõimsusega 40 t põlevkivi ööpäevas ja ca 207 000 t/a;
- Gaasigeneraatorjaam nr 4 (GGJ-4) – 20 generaatorit võimsusega 50 t põlevkivi ööpäevas, aastamahuga ca 309 000 t;
- Gaasigeneraatorjaam nr 5 (GGJ-5) – 16 generaatorit võimsusega 200 t põlevkivi ööpäevas, aastamahuga ca 895 000 t;
- 1000-tonnine generaator – võimsus 1000 t põlevkivi ööpäevas. Aastas töödeldava põlevkivi maht ca 278 000 t;
- Tahke soojuskandjaga „Petroter I“ tootmisseade

Märkus: Gaasilist destillatsioonijääki nimetatakse separaatorgaasiks ja seda kasutatakse kütusena destillatsiooniseadme toruahjus koos teiste põlevkiviõli tööstuses tekkivate uttegaasidega (nn küttegaas sisaldab veel generaatorgaasi, poolkoksgaasi, koksgaasi ja vajadusel ka maagaasi).

Kokku toodetakse aastas Kiviter-seadmetel generaatorgaasi ca 860 000 tuh Nm^3 kütteväärtusega ca 3,64 MJ/Nm^3.

VKG-s kasutatav tahke soojuskandjaga Petroter-tehnoloogia põhimõtteline skeem on toodud Joonis 10 [16].



Joonis 10. Petroteri tehnoloogiline skeem:
1 – aerofontäänkuivati, 2 –põlevkivitsüklon, 3 – segisti, 4 – pöörlev trummelreaktor, 5 – tolmueraldaja, 6 – kruvikonveier, 7 – soojuskandja tsüklon, 8 – tuhatsüklon, 9 – utilisatsioonkatel, 10 – elektrifilter, 11 – põlevkivi mahuti, HRF – aerofontäänkolle, 12 – tuhasoojusvaheti, 13 – gaasipuhasti, 14 – õhkjahutusega kondensaator, 15 – destillatsioonikolonn, 16 – separaator, 17 – vesijahutusega kondensaator, 18 – fenoolvee ja bensiini vahevastuvõtja, 19 – jahuti, 20 – õhkjahuti, 21 – gaasipuhur.
A – Põlevkiviõli raskfraktsioon; B – Põlevkiviõli keskfraktsioon; C – Diislifraktsioon; D – Bensiini fraktsioon; E – Fenoolvesi; F – Poolkoksgaas.

Põlevkivi termilise töötlemise protsess Petroter-tehnoloogia kasutamisel toimub järgnevalt.

Vajaliku fraktsioonikoostiseni peenestatud põlevkivi kuivatatakse. Kuivatamiseks kasutatakse suitsugaaside soojust. Kuivatatud põlevkivi segatakse kuuma tuhaga pöörlevas trummelreaktoris, temperatuuri toimel laguneb põlevkivis sisalduv orgaaniline aine ja moodustuvad aurud ning gaas. Auru-gaasi segu juhitakse reaktsioonitsoonist välja, segust eraldatakse tahke jääk – põlevkivituhk ja

osaliselt lagunenud põlevkivi, nn poolkoks. Auru-gaasi segu puhastatakse tolmust, seejärel kondenseeritakse õliaurud ja vesi, mis lähevad edasisele puhastusele ja töötlusele.

Pärast vedelate fraktsioonide kondenseerumist mittekondenseerunud jääk – poolkoksgaas suunatakse utiliseerimiseks VKG Energia OÜsse, kuna see omab piisavat küttevääртust, siis utiliseerimise tulemusena saadakse soojus- ja elektrienergiat.

Erinevalt Kiviter-protsessi generaatorgaasist on Petroter-protsessi poolkoksgaas kõrge küttevääртusega ~45 MJ gaasi (koos bensiiniaurudega) kuupmeetri kohta, ületades selles osas koguni maagaasi küttevääртust.

Kokku toodeti 2012. aastal Petroter-seadmel ca 26 000 tuh Nm^3 poolkoksgaasi.

Petroter-protsessis tekkiva poolkoksgaasi keemiline koostis on toodud Tabel 5.

Tabel 5. Petroteri poolkoksgaasi koostis

Komponent	%, gaasi kogusest
CO_2+H_2S	10,95
C_2H_4	11,75
C_2H_6	8,48
C_3H_6	7,75
C_3H_8	2,78
C_4H_8	3,31
C_4H_{10}	1,05
O_2	0,39
H_2	11,95
N_2	11,64
CO	8,42
CH_4	15,92
C_nH_m	5,6

Põhiliselt leiavad generaatorgaas ja poolkoksgaas kasutamist kütusena VKG Energia kahes elektri ja soojuse koostootmise jõujaamas (Põhja SEJ ja Lõuna SEJ). Jaamad väljastavad soojus- ja elektrienergiat kolmel erineval viisil:

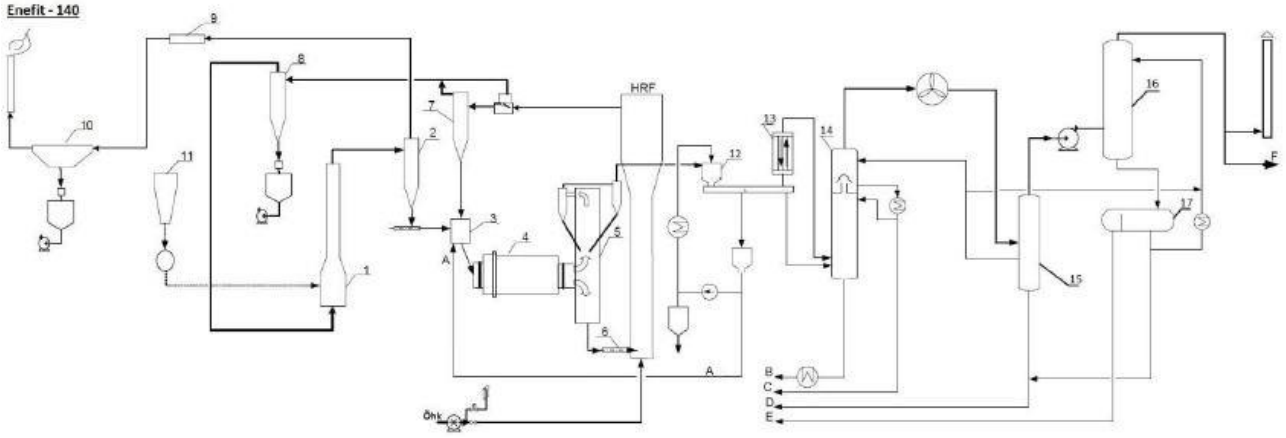
- ülekuumendatud auruna tööstustarbijatele;
- kaugküttesoojusena Kohtla-Järve linnale;
- elektrienergiana.

Suhteliselt marginaalne kogus leiab kasutamist VKG Oil AS põlevkiviõli, koksi ja fenooltoodete tootmisprotsessis.

1.8 Eesti Energia Õlitööstuse AS põlevkiviõli ja utte- ning generaatorgaasi tootmisvõimsused

Eesti Energia Õlitööstuse ASis on hetkel töös kaks TSK-seadet – varasemalt TSK-140, kuid täna nimega Enefit-140. Toorainena kasutatakse madala küttevääртusega põlevkivi (8,37 MJ/kg), mille tükisuurus ei ole limiteeritud. Kaks Enefit-140 seadet töötlevad projektvõimsuse kohaselt kumbki ööpäevas 3000 t peenpõlevkivi. Nimetatud seadmed annavad kolmandiku Eesti õlitoodangust. TSK-protsessi olemus seisneb selles, et põlevkivi termiliseks lagunemiseks vajalik soojus edastatakse tahke soojuskandjaga – ringleva kuumutatud põlevkivituhaga. Põlevkivi energotehnoloogiline töötlus tahke soojuskandjaga annab võimaluse kasutada peeneteralist põlevkivi (kaasa arvatud

tolm), mis tekib põlevkivi kaevandamisel. Põlevkivi töödeldakse termiliselt ja saadakse õlisaadused ning kõrge kalorsusega poolkoksgaas (Tabel 6) kütteväärtusega 39,8–46,8 MJ/Nm^3.



Joonis 11. Enefit-140 tehnoloogiline skeem [16]:
1 – aerofontäänkuivati, 2 – põlevkivitsüklon, 3 – segisti, 4 – pöörlev trummelreaktor, 5 – tolmueraldaja, 6 – kruvikonveier, 7 – soojuskandja tsüklon, 8 – tuhatsüklon, 9 – gaasipuhasti, 10 – elektrifilter, 11 – põlevkivi mahuti, HRF – aerofontäänkolle, 12 – tornskraber, 13 – õhkjahutusega kondensaator, 14 – destillatsiooni-kolonn, 15 – separaator, 16 – skraber, 17 – fenoolvee ja bensiini vahevastuvõtja.
A – Põlevkiviõli raskfraktsioon; B – Põlevkiviõli keskfraktsioon; C – Põlevkiviõli kergfraktsioon; D – Bensiini fraktsioon; E – Fenoolvesi; F – Poolkoksgaas.

Õlitehases toodetakse järgmisi tooteid:

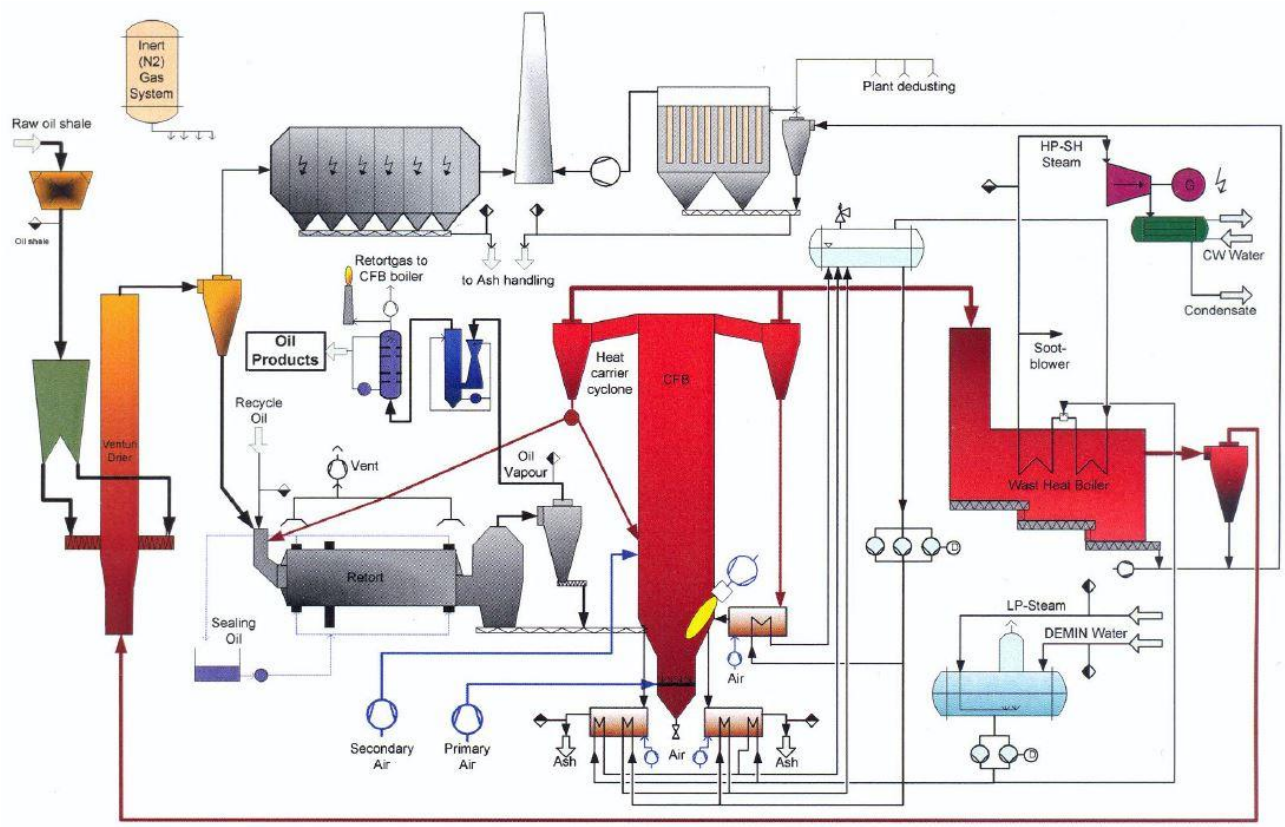
- põlevkivikütteõlisid, mis on kütusena kasutusel nii suuremates kui väiksemates kateldes;
- teebituumenit, mida kasutatakse vabariigi siseselt teekatete ehitamiseks;
- poolkoksgaasi, mida kasutatakse Eesti Elektrijaamas täiendava kütusena elektri tootmiseks.

Tabel 6. Enefit-140 poolkoksgaasi koostis

Komponent	%, gaasi kogusest
CO_2	8,55
H_2S	2,15
C_2H_4	11,58
C_2H_6	9,46
C_3H_6	8,4
C_3H_8	3,63
C_4H_8	3,54
C_4H_{10}	1,09
O_2+Ar	0,17
H_2	17,92
N_2	2,06
CO	10,99
CH_4	16,91
C_nH_m	2,0

Aastal 2012 valmis uus õlitehase tootmisüksus – Enefit-280.

Enefit-280 tehnoloogia põhineb paljuski Enefit-140 põlevkiviõli tootmise tehnoloogia edasiarendusel. Täisvõimsusel töötamisel tarbiks Enefit-280 tehas aastas 2,26 mln tonni põlevkivi. Tehase kavandatud tootmisvõimsus on 290 000 tonni põlevkiviõli, 75 mln Nm^3 poolkoksgaasi ning 280 GWh elektrit [16].



Joonis 12. Enefit-280 tehnoloogiline skeem [17]

Enefit-280 tehnoloogias (vt Joonis 12). antakse peenpõlevkivi niiskusega kuni 12% venturi-tüüpi kuivatisse. Põlevkivi purustatakse enne vajaliku tükisuuruseni (0–6 mm) ja antakse kuivatisse tigutoitjate abil.

Utilisatsioonikatlast väljuvate kuumade suitsugaaside abil, mille maksimumtemperatuur on 500 °C, aurustatakse põlevkivist otsese kokkupuute teel üleliigne niiskus. Põlevkivist niiskuse eraldamise energiaga jahutatakse protsessis ringlevaid suitsugaase. Põlevkivi veesisaldust vähendatakse alla 0,1%.

Pärast põlevkivi kuivatit eraldatakse tsüklonis suitsugaasi voolust kuiv põlevkivi ning järelejäänud tahked osakesed koos suitsugaasidega suunatakse elektrifiltrisse (ESP), kus allesjäänud osakesed sadestatakse elektrostaatiliselt. Elektrifiltrist suunatakse suitsugaasid korstnasse ning sealt edasi välisõhku.

Kuivatatud põlevkivi ja tahke soojuskandja, mis saadakse poolkoksi põletamisel tekkinud tuha näol, suunatakse pöörlevasse trummelreaktorisse. Trummelreaktoris põlevkivi kuumutatakse tahke soojuskandjaga, mille tulemusena toimub põlevkivi orgaanilise aine termiline lagunemine põlevkiviõli- ja veeaurudeks ning poolkoksgaasi seguks. Tuhakambris ja tuhakambri tsüklonis lahutatakse põlevkiviõli- ja veeaurude ning poolkoksgaasi segu tahkest faasist, s.o. poolkoksi ja soojuskandja segust ning juhitakse kondensatsioonisüsteemi, kus toimub kesk-raskõli ning bensiinifraktsiooni ja fenoolvee eraldamine aurugaasisegust. Tootmisprotsessi stabiliseerimiseks kasutatakse utmisprotsessi erinevate sektsioonide eraldamiseks lämmastikku. Seda toodetakse õhu lõhustamise generaatoris.

Tolmukambrist eraldatud tahke utmisjääk (poolkoks) ja tolmukambri tsüklonist eraldatud tuhajäägid akumuleeruvad tolmukambri põhjas. Sealt suunavad tigutoitjad materjali keevkihtkoldesse

(CFB), kus toimub utmisjäägis sisalduva orgaanilise aine väljapõletamine. Keevkihtkatlasse juhitakse kahel erineval kõrgusel põlemisõhku, et tagada põletamisprotsessi jaoks vajalik hapnik. Keevkihtkatlast lahkuvad kuumad gaasid ja tahked osakesed juhitakse paralleelselt kahte tsüklonisse – tuha tsirkuleerimise tsüklonisse ja soojuskandja tsüklonisse [16].

Selline tahkete osakeste ringlemine läbi tuha tsirkuleerimise tsükloni kindlustab ühtlase temperatuuri reaktoris. Tuha tsirkuleerimine läbi soojuskandja tsükloni tagab vajaliku soojuskandja lisamise retorti.

Tsüklonitest väljuvad gaasid jahutatakse ja kasutatakse ära soojusvahetussüsteemis, mis koosneb jääksoojuskatlast, aurutrumlist ning mitmetest abisüsteemidest nagu pumbad, mahutid ja katla toitevee ettevalmistus. Keevkihtkatlast väljuv jääktuhk jahutatakse tuhajahutites temperatuurini 80–150 °C ning eralduv soojus kasutatakse ära katla toitevee eelsoojendamiseks. Tekkinud põlevkivituhk ladestatakse või taaskasutatakse [16].

Tänasel päeval kasutatakse tekkivat poolkoksgaasi energeetilise lisakütusena põlevkivi tolm- ja keevkihtkateldes. Samuti põletatakse koos poolkoksgaasiga ära tekkiv fenoolvesi ja mõningal määral ka gaasbensiini.

1.9 Aastatel 2000 kuni 2012 toodetud uttegaaside kogused

Praegu toodavad põlevkiviõli Viru Keemia Grupp AS, AS Narva Elektrijaamad ja Kiviõli Keemiatööstuse OÜ.

Põlevkiviõli tootmisel tekib ka märkimisväärne kogus uttegaasi, mille kütteväärtus ja kogus sõltub kasutatavast tootmistehnoloogiast. Ettevõtete toodetud uttegaaside kogused perioodil 2000–2012 a on esitatud Tabel 7.

Näiteks aastal 2011 toodeti Eestis põlevkiviõli kokku 24 627,5 TJ. Selleks kasutati toormena põlevkivi kokku 42 556,8 TJ. Kõrvalproduktina tekkinud generaator-, poolkoksgaaside ja bensiinikondensaadi energeetiline väärtus oli kokku 6 727,7 TJ. Uttegaaside energeetiline väärtus oli 6 401 TJ. Seega põlevkiviõli tootmise arvutuslik energeetiline efektiivsus 2011. aastal oli 73,7%. Nii eespool nimetatud uttegaase kui ka õlitootmisel tekkinud suitsugaaside jääksoojuse utiliseerimist kasutatakse praegu elektri ning elektri ja soojuse koostoomisel.

Aastal 2012 toodeti Eestis põlevkiviõli kokku 26 130,8 TJ. Selleks kasutati toormena põlevkivi kokku 48 522,6 TJ. Kõrvalproduktina tekkinud generaator-, poolkoksgaaside ja bensiinikondensaadi energeetiline väärtus oli kokku 7 933,4 TJ, ning aurutoodang 366,8 TJ. Uttegaaside energeetiline väärtus oli 6 649 TJ. Põlevkiviõli tootmise arvutuslik energeetiline efektiivsus 2012. aastal oli 71,0% [18].

Tabel 7. Põlevkivi töötlemisel tekkinud uttegaaside kogused aastatel 2000–2012 (ettevõtete andmetel)

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Narva Õlitehas	**TSK**													
Poolkoksgaas	MNm^3	22,0	26,7	26,5	27,9	31,2	33,6	34,1	32,3	42,2	50,6	59,8	58,1	65,2
	TJ	1043	1263	1256	1322	1479	1593	1617	1529	1997	2398	2834	2518	2824
VKG Oil	**GSK**													
Generaatorgaas	MNm^3	496,1	558,4	611,1	644,0	648,8	641,2	754,6	830,3	791,8	818,1	857,8	832,9	832,0
	TJ	1583	1781	1949	2054	2070	2046	2407	2649	2526	2610	2736	2657	2359
VKG Oil	**TSK**													
Poolkoksgaas	MNm^3											9,9	18,8	25,6
	TJ												703	894
Kiviõli	**GSK**													
Generaatorgaas	MNm^3	166,9	184,8	191,5	186,3	187,7	206,2	216,6	210,9	195,8	196,3	204,4	203,4	211,6
	TJ	350	388	402	391	394	433	455	443	411	412	429	447	513
Kiviõli	**TSK**													
Poolkoksgaas	MNm^3											1,1	2,7	1,9
	TJ											32	76	59

KOKKU		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Uttegaas	MNm^3	685,0	769,9	829,1	858,2	867,7	881,1	1005,4	1073,5	1029,8	1065,1	1133,1	1116,0	1136,2
	TJ	2976	3433	3607	3768	3943	4072	4479	4621	4934	5420	6032	6401	6649
sh TSK														
Poolkoksgaas	MNm^3	22,0	26,7	26,5	27,9	31,2	33,6	34,1	32,3	42,2	50,6	70,9	79,6	92,6
	TJ	1043	1263	1256	1322	1479	1593	1617	1529	1997	2398	2866	3298	3777
sh GSK														
Generaatorgaas	MNm^3	663,0	743,2	802,6	830,3	836,5	847,4	971,2	1041,2	987,6	1014,5	1062,3	1036,3	1043,6
	TJ	1933	2169	2351	2446	2464	2479	2862	3092	2937	3022	3166	3104	2872

Kütteväärtus														
Keskmine		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Uttegaas	GJ/tuh Nm^3	4,34	4,46	4,35	4,39	4,54	4,62	4,46	4,30	4,79	5,09	5,32	5,74	5,85
TSK														
Poolkoksgaas	GJ/tuh Nm^3	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	47,37	40,44	41,41	40,77
GSK														
Generaatorgaas	GJ/tuh Nm^3	2,92	2,92	2,93	2,95	2,95	2,92	2,95	2,97	2,97	2,98	2,98	2,99	2,75

2. Seni uuritud uttegaasi kasutusvõimalustest keemiatööstuse toorainena

Uttegaaside kasutamist keemiatööstuse toorainena kirjanduse allikate alusel uuritud ei ole. Keemiatööstuse toorainena on käsitletav ainult tahke soojuskandja protsessist saadav kõrge kütteväärtusega poolkoksgaas (Tabel 8). Kiviter-protsessist saadav generaatorgaas (Tabel 9) ei ole käsitletav kui süsivesinikgaas keemiatoorainena. Pürolüüsist eralduv mittekondenseerunud süsivesinikgaas on segunenud protsessist eralduvate suitsugaasidega. Nende eraldamine protsessipõhiliselt ei ole võimalik ja töötlemine keemiliste meetoditega on küll mitte võimatu, aga sisuliselt absurdne variant.

Tabel 8. Poolkoksgaaside võrdlustabel [16]

Näitaja	Ühik	Nominaalväärtus		
		Petroter	Enefit – 140	TSK – 500
Vesinik	mahu %	14,37	13,31	12,51
Süsivesinikud:				
- küllastatud	mahu %	11,86	33,46	23,71
- küllastamata	mahu %	20,13	29,39	18,37
Süsinikoksiid	mahu %	9,63	9,53	8,75
Süsinikdioksiid	mahu %	8,85	9,54	3,18
Lämmastik	mahu %	11,17	1,10	30,91
Hapnik	mahu %	0,21	0,15	2,48
Väävelvesinik	mahu %	2,04	2,53	0,12
Gaasbensiini sisaldus	g/nm^3	306,6	200	204
Bensiinivaba kuiva gaasitihedus	kg/nm^3	1,27	1,30	1,18

**Lämmastiku sisaldus TSK-500 poolkoksgaasil peaks olema 18% ringis*

Tabel 9. Generaatorgaaside võrdlustabel [16]

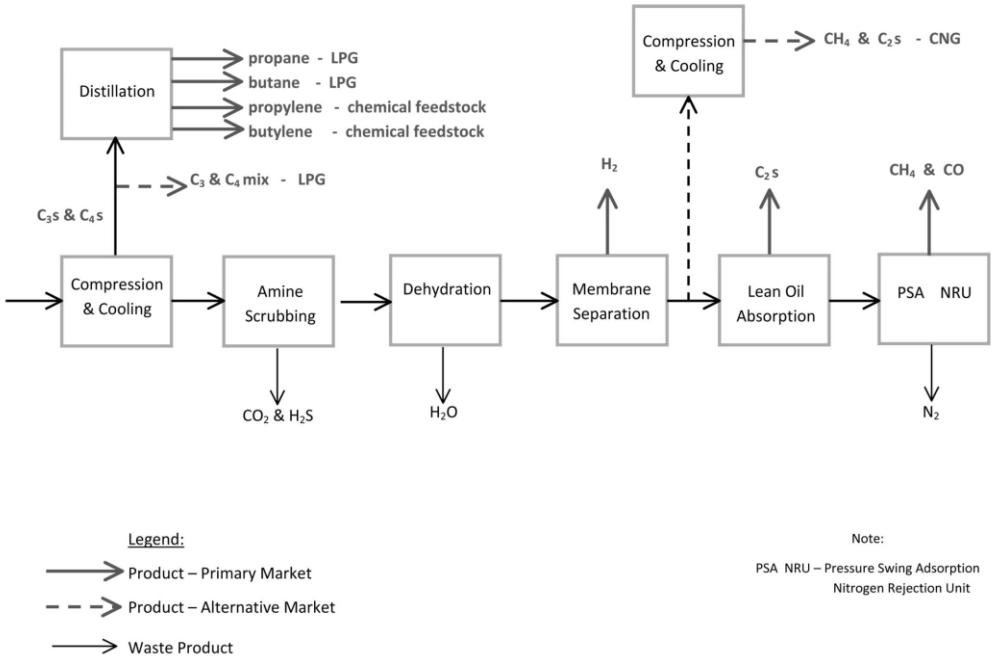
Näitaja	Ühik	Kiviter 1	Kiviter 2
Vesinik	mahu %	3,70 – 6,65	3,93 – 6,58
Süsivesinikud:			
- küllastatud	mahu %	1,0 – 2,17	1,46 – 2,56
- küllastamata	mahu %	0,4 – 1,3	0,59 – 1,18
Süsinikoksiid	mahu %	5,92 – 6,53	3,12 – 4,90
Süsinikdioksiid	mahu %	15,42 – 17,74	15,87 – 18,83
Lämmastik	mahu %	65,06 – 69,39	65,79 – 69,63
Hapnik	mahu %	1,21 – 1,74	1,39 – 2,02
Väävelvesinik	mahu %	0,35 – 0,42 0,49 – 0,57*	0,33 – 0,53
Gaasbensiin	g/nm^3	16,2 – 21,8	
Bensiinivaba kuiva gaasi tihedus	kg/nm^3	1,211 – 1,238	1,207 – 1,256
Kütteväärtus (Q_L^r, gaasbensiiniga)	$GJ/10^3 nm^3$	3,458 – 3,678	3,045 – 3,786

Tahke soojuskandjaga protsess, millest saadakse poolkoksgaasi, hakkas üldse märkimisväärselt toodangut andma aastal 2004. Siis toodeti Narva Õlitehases 31,22 mln Nm^3 poolkoksgaasi. Aastal 2011 aga juba 58,11 mln Nm^3. Seega puudus ka praktiline huvi poolkoksgaasi kui keemiatööstuse tooraine vastu.

Süsivesinikgaaside kasutamisel keemiatööstuse toorainena lahutatakse nad komponentideks. Enne gaaside kasutamist tuleks nad kuivatada ja puhastada ebasobivatest komponentidest. Poolkoksgaas sisaldab gaasbensiini, ka kergesti kondenseeruvaid ühendeid, väävelvesinikku.

Tulevikuvaates saame aga öelda, et poolkoksgaasi kasutamist küttegaasina (kateldes, gaasiturbiinis vms) „segab“ gaasbensiini sisaldus. Seega esimeseks ülesandeks tuleb lugeda poolkoksgaasi puhastamist gaasbensiinist. Gaasbensiini eraldamiseks on erinevad meetodid, nt komprimeerimine jahutamisega, absorbtsioon raskemate süsivesinikega ja adsorptsioon. Gaasbensiini täielikuks eraldamiseks tuleb seda teostada rangetel tingimustel ja suurema moolmassiga süsivesinikomponendid tuleks stabiliseerida (propaani, butaani eraldamist rektifitseerimisel). Eraldunud gaasbensiin on kasutatav lisandina mootorkütuste toomisel või keemilisel töötlemisel.

Siiski on avaldatud ajakirjas „Oil Shale“ artikkel [19], mis käsitleb poolkoksgaasi kui keemiatööstuse toorainet. Artiklis esitatakse kokkuvõtliku skeemina poolkoksgaasi võimalikust süsteemsest kasutamisest. Artiklis tuuakse ära kirjeldusi poolkoksgaasi käitlemise, komponentideks lahutamise, võimalike turuvalmidusega toodete nimetamisega kohta, samuti esitatakse kokkuvõtlik skeem poolkoksgaasi võimalikust süsteemsest kasutamisest, mille toome allpool Joonis 13.



Joonis 13. Poolkoksgaasi töötlemise skeem

Siinkohal lühikokkuvõte eelnimetatud artiklist.

Arvutused näitavad, et poolkoksgaas moodustab olulise osa põlevkiviretortides toodetud energiast. Galoter-tüüpi protsessi korral, mida kasutab Eesti Energia, moodustab poolkoksgaas umbes neljandiku energiast, mis sisaldub retorti antavas põlevkivis. Lähiajal käiku lastavas Enefit-280 retordis tekib poolkoksgaasi koguses, millest piisab 40 MW genereerimisvõimsuse töös hoidmiseks. See eeldab kogu toodetud poolkoksgaasi põletamist elektritootmisseadmes. Seejuures tuleb aga rõhutada, et poolkoksgaasi põletamine elektri tootmiseks on teistest kasutusvõimalustest vähem otstarbekas.

Põlevkivi poolkoksgaas koosneb mitmest huvipakkuvast ja potentsiaalselt väärtuslikust komponendist, mis ulatuvad tavalisest metaanist kuni eksootilisemate osisteni nagu näiteks butüleen/buteen, propüleen/propeen ja etüleen/eteen. Viimatinimetatud omavad olulist väärtust keemiatööstuse toorainena. Ligikaudu pool gaasist koosneb süsivesinikest, ülejäänud osa moodustavad vesinik, süsinikdioksiid ja -monoksiid, hapnik ning lämmastik.

Poolkoksgaasi koostisosi saab eraldada kasutades mitmeid gaaside eraldamise tehnoloogiaid. Selliselt on võimalik saada mitmeid saadusi/aineid, mille väärtus eraldi või lihtsate segude koosseisus on oluliselt suurem kui poolkoksi toorgaasina.

Arvestades põlevkivi poolkoksgaasi töötlemise ja kasutamise arvukaid võimalusi, tekib väga palju võimalusi mitmesuguste saaduste tootmiseks. Käesolevas artiklis kirjeldatakse ühte võimalikku skeemi poolkoksigaasi süsteemseks töötlemiseks. See võimalus seisneb poolkoksgaasi järjestikuses töötlemises viisil, mis võimaldab toota kuni üheksa erinevat saadust. Kui määrata nende poolkoksgaasist toodetud saaduste hinnad, saab anda nende tootmise majandusliku tasuvuse hinnangu. Nende hindade määramine väljub käesoleva artikli raamidest. Siin antakse ülevaade tehnoloogilistest variantidest ja kirjeldatakse majanduslikku potentsiaali. Töötlemise erinevate variantide majanduslik hindamine eeldab töötlemise konkreetse asukoha määramist kuna erinevate energialiikide majanduslikud parameetrid on erinevates riikides erinevad ja võivad erineda piirkondlikult ka ühe riigi piirides.

Vajadus anda poolkoksgaasi komponentide eraldamisele majanduslik hinnang on kindlasti olemas. Isegi ühe ainsa komponendi – propüleeni/propeeni – potentsiaalne turuväärtus võib olla kuni 250 mln USD aastas juhul kui seda toodetaks retortides mahus, mis on Eesti Energia plaanides Utah osariigis USA-s. Isegi poolkoksgaasi praeguse Eestis tootmise mahu juures oleks võimalik teenida kümnetesse miljonitesse USA dollaritesse ulatuvat tulu kui saadusi poolkoksgaasist müüa eraldi selle asemel, et kasutada gaasi kütusena elektrijaamas.

Uttegaasi kasutusvõimalusi keemiatööstuses tuleks tulevikus kindlasti uurida, kuna tehnoloogiad ja tehnilised võimalused pidevalt laienevad. Määravaks jääb siiski lõpptoodangu omahind, mis seni pole uttegaasi väärindamist soosinud. Esmaseks ülesandeks jääb H_2S eemaldamine, mida on generaatorgaasis 6,5 g/Nm^3 ja poolkoksgaasis 31,6 g/Nm^3. Arvestades loodusliku ja kildagaasi tänast turuhinda jäävad investeeringud uttegaasi väärindamiseks tulevikku.

3. Uttegaasi tootmispotentsiaal lähima 10–20 aasta jooksul

Uttegaasi kasutamise mahu elektri- ning soojusenergia tootmiseks määrab ära põlevkiviõli tootmismaht, kuna uttegaas on praegu kasutusel olevate tootmistehnoloogiate juures põlevkivi utmise kõrvalsaadus ja leiab kasutust ainult põletamise teel energia tootmiseks. Põlevkiviõli tootmistehnoloogiast sõltub tekkiva uttegaasi kütteväärtus ja kogus. Põlevkiviõli tootmisel tahke soojuskandja (edaspidi TSK) protsessil on kõrvalsaaduseks kõrge kütteväärtusega (kõrgem kui maagaasil) poolkoksgaas, aga gaasilise soojuskandjaga (edaspidi GSK) protsessil madala kütteväärtusega generaatorgaas [18]. Suurimaks tundmatuks jääb Enefit-280 õlitehasest tekkima hakkava poolkoksgaasi koostis. Tuha transpordiks kasutatav lämmastik suurendab kindlasti ka lämmastikusisaldust poolkoksgaasis. Kasutatav ringleva keevkihiga tehnoloogia suurendab ülipeente tuhaosakeste teket, mille mõju õli ja poolkoksgaasi koostisele hinnata on keerukas. Tehnoloogiliste protsesside ja süsteemide edasiarenduse ja muudatuste tulemusel võib eeldada pigem poolkoksgaasi kütteväärtuse langust võrreldes Enefit-140 seadmest tuleva poolkoksgaasi kütteväärtusega (käivituskatsetel pole prognoositud poolkoksgaasi saadud). Siiski on allpool toodud tootmispotentsiaali hinnangus veel kasutatud eeldust, et Enefit-280 tekkiv poolkoksgaas on samasuguse koostise ja kütteväärtusega kui Enefit-140 poolkoksgaas.

<u>Eesti Energia Õlitööstus AS tulevikuplaanid</u>

EE Õlitööstuse tulevikuplaanid 2014–2030 on alljärgnevad:

- 2014. aastal töötab üks Enefit-280 ja kaks Enefit-140 õlitehast;
- 2020. aastal töötab kolm Enefit-280 ja kaks Enefit-140 õlitehast;
- 2025. aastal töötab viis Enefit-280 ja kaks Enefit-140 õlitehast;
- 2030. aastal töötab kaheksa Enefit-280 ja kaks Enefit-140 õlitehast

2015 toodetaks poolkoksigaasi 145 200 tuh Nm^3 (töötab kaks Enefit-140 seadet ja üks Enefit-280), mis leiaks kasutamist kõrvalasuvas Eesti Elektrijaamas.

2020 toodetaks poolkoksigaasi 302 877 tuh Nm^3 (töötab kaks Enefit-140 seadet ja kolm Enefit-280), millest osa leiaks kasutamist kõrvalasuvas Eesti Elektrijaamas. Lisaks on vaja installeerida lisatootmisvõimsuseid, et tekkivat poolkoksgaasi utiliseerida.

2025 toodetaks poolkoksigaasi 460 557 tuh Nm^3 (töötab kaks Enefit-140 seadet ja viis Enefit-280), millest osa leiaks kasutamist kõrvalasuvas Eesti Elektrijaamas. Lisaks on vaja installeerida lisatootmisvõimsuseid, et tekkivat poolkoksgaasi utiliseerida.

2030 toodetaks poolkoksigaasi 697 077 tuh Nm^3 (töötab kaks Enefit-140 seadet ja kaheksa Enefit-280), millest osa leiaks kasutamist kõrvalasuvas Eesti Elektrijaamas. Lisaks on vaja installeerida lisatootmisvõimsuseid, et tekkivat poolkoksgaasi utiliseerida.

Uttegaasi oli esialgu Eesti Energia Õlitööstuse ASil plaanis kasutada rafineerimistehases, kuid see investeerimisotsus on edasi lükatud, seetõttu on eespool käsitletud poolkoksgaasist elektritootmist.

<u>VKG Oil AS tulevikuplaanid</u>

VKG tegevuskavad, mis mõjutavad tekkivate uttegaaside koguseid ja kasutamist

VKG tegevuskava 2014–2030 on alljärgnev:

- 2015. aastal VKG Oil AS Petroter II seadme ning VKG Energia OÜ Põhja soojuselektrijaama väävlipuhastusseadme NID-2 rajamine;

- 2016. aastal VKG Oil AS Petroter III seadme rajamine, VKG Energia OÜ Põhja soojus-elektrijaama tootmisvõimsuse suurendamine ning väävlipuhastusseadmete NID-3 ja NID-4 rajamine;
- 2017. aastal põlevkiviõlide rafineerimistehase rajamine;
- 2018. aastal AS VKG Tsement tsemenditehase rajamine;
- 2020. aastal VKG Oil AS Petroter IV seadme rajamine, VKG Energia OÜ Põhja soojus-elektrijaama tootmisvõimsuse suurendamine ning väävlipuhastusseadme NID-5 rajamine.

2015. a toodetaks poolkoksigaasi 85 802 tuh Nm^3 (töötab kaks Petroter-seadet), mis leiaks kasutamist järgmiselt:

- 6 237 tuh Nm^3 VKG Oil AS põlevkiviõli, koksi ja fenooltoodete tootmine (Kiviter tehnoloogia);
- 79 466 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Põhja SEJ (ilma lubjatehaseta);
- 99 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Põhja SEJ Lubjatehas.

2017 toodetaks poolkoksigaasi 143 350 tuh m^3 (töötab kolm Petroter-seadet), mis leiaks kasutamist:

- 6 237 tuh Nm^3 VKG Oil AS põlevkiviõli, koksi ja fenooltoodete tootmine (Kiviter-tehnoloogia)
- 122 268 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Põhja SEJ (ilma lubjatehaseta);
- 40 000 tuh Nm^3 kasutatakse ära juhul kui ehitatakse rafineerimistehas.

2020–2030 toodetaks aastas poolkoksigaasi 201 106 tuh Nm^3 (töötab neli Petroter-seadet), mis leiaks kasutamist järgnevalt:

- 6 237 tuh Nm^3 VKG Oil AS põlevkiviõli, koksi ja fenooltoodete tootmine (Kiviter-tehnoloogia);
- 29 700 tuh Nm^3 VKG Tsement AS Tsemenditehas;
- 165 070 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Põhja SEJ (ilma lubjatehaseta);
- 99 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Põhja SEJ Lubjatehas.

Lisaks toodetakse generaatorgaasi (2015 plaanides 868 655 tuh Nm^3) Kiviter-tehnoloogiaga ja kuna Kiviter-tehnoloogia laienemist ette ei nähta, siis kogused ja jaotus kasutamises tulevikuvaates ei muutu:

- 868 655 tuh Nm^3, millest leiab kasutamist 860 000 tuh Nm^3 VKG Energia OÜ Soojuse ja elektrijaamades ja VKG Oil AS põlevkiviõli, koksi ja fenooltoodete tootmisel.

<u>Kiviõli Keemiatööstuse OÜ tulevikuplaanid</u>

Kiviõli Keemiatööstus OÜ on esitanud Kiviõli linnavalitsusele taotluse projekteerimistingimuste väljastamiseks generaatorseadme hoone laiendamiseks ja nelja uue Kiviter-200 gaasigeneraatori ehitamiseks Kiviõli Keemiatööstuse territooriumile.

Kavandatav tootmishoone laiendus hõlmab põlevkivi ettevalmistamist ja utmist, milleks projekteeritakse neli Kiviter-200 generaatorit. Eeldatav õli tootmise maht on ca 37–41 tuhat tonni aastas. Samuti hõlmab tehnoloogia kondensatsiooni, poolkoksi eemaldust, utiliseeritavat generaatorgaasi ja fenoolvett. KMH aruande avalik arutelu toimub märtsis 2014.

Kiviõli Keemiatööstus OÜ tulevikuplaanid 2014–2030:

- 2014. aastal töötab kaheksa Kiviter-200 generaatorit ja kaks TSK-500 õlitehast;
- 2020. aastal töötab kaksteist Kiviter-200 generaatorit ja neli TSK-500 õlitehast;

- 2025. aastal töötab kaksteist Kiviter-200 generaatorit ja kuus TSK-500 õlitehast;
- 2030. aastal töötab kaksteist Kiviter-200 generaatorit ja kaheksa TSK-500 õlitehast.

2015 toodetaks uttegaasi (poolkoks- ja generaatorgaasi segu) 339 950 tuh Nm^3 (töötab kaksteist Kiviter-tüüpi gaasigeneraatorit ja kaks TSK-500), mis leiaks kasutamist kõrvalasuvas Kiviõli soojuselektrijaamas (1394,8 TJ).

2020 toodetaks uttegaasi (poolkoks- ja generaatorgaasi segu) 350 900 tuh Nm^3 (töötab kaksteist Kiviter-tüüpi gaasigeneraatorit ja neli TSK-500), mis leiaks kasutamist kõrvalasuvas Kiviõli soojuselektrijaamas (1439,7 TJ).

2025 toodetaks uttegaasi (poolkoks- ja generaatorgaasi segu) 361 850 tuh Nm^3 (töötab kaksteist Kiviter-tüüpi gaasigeneraatorit ja kuus TSK-500), mis leiaks kasutamist kõrvalasuvas Kiviõli soojuselektrijaamas (1484,7 TJ).

2030 toodetaks uttegaasi (poolkoks- ja generaatorgaasi segu) 372 800 tuh Nm^3 (töötab kaksteist Kiviter-tüüpi gaasigeneraatorit ja kaheksa TSK-500), mis leiaks kasutamist kõrvalasuvas Kiviõli soojuselektrijaamas (1529,6 TJ).

Ekspertarvamusena võib eeldada, et nelja Kiviter-200 generaatori lisamisel ja töötamisel võib kujuneda väljastatava generaatorgaasi soojuslikuks võimsuseks ca 30 MW_{th} ning kaheksa TSK-500 seadme poolkoksgaasi soojuslikuks võimsuseks 69,6 MW_{th}. TSK-500 seadmete ehituseks vajalike KMH pole veel alustatud.

Suurenev uttegaaside kogus nõuab ka Kiviõli SEJ katelde ja auruturbiinide võimsuse kasvu, milleks tuleb investeerida uutesse tootmisseadmetesse.

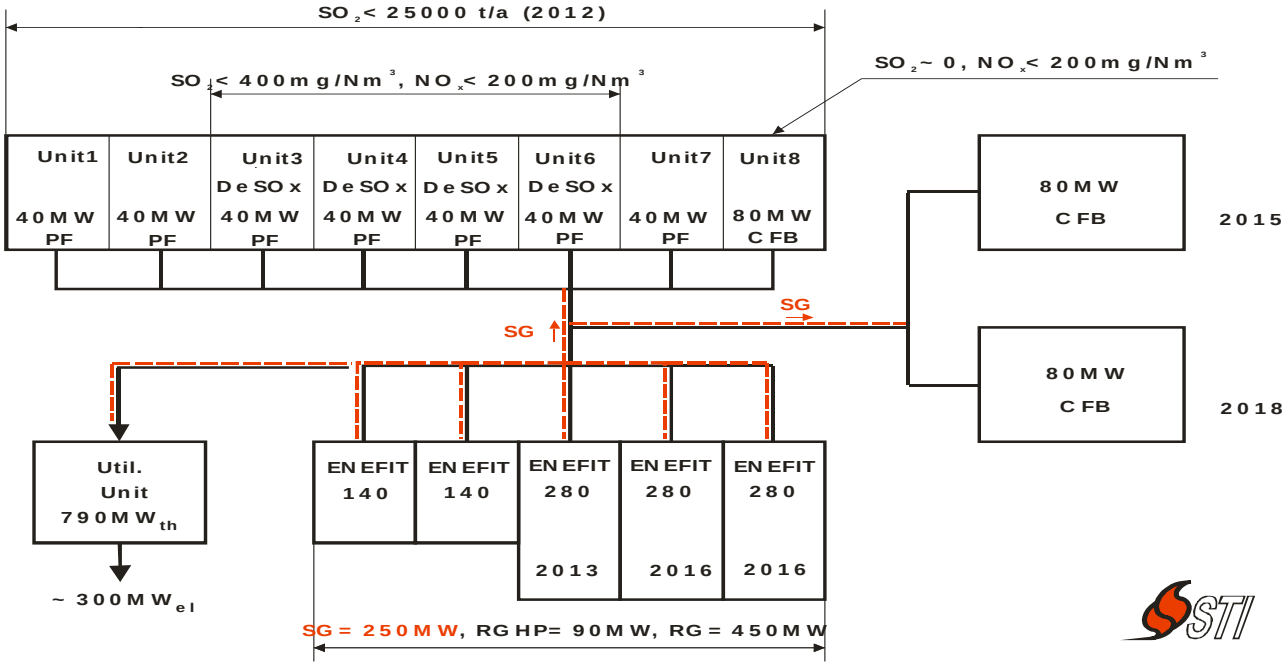
4. Uttegaasi ja tehnoloogilise auru (s.h elektri tootmiseks) summaarse kasutuspotentsiaali hindamine

Praegused õlitehased põlevkiviõli ja -gaasi tootmiseks asuvad põlevkivikaevanduste ja -elektrijaamade läheduses. Ka uued õli- ja gaasitootmisvõimsused on otstarbekas ehitada põlevkivikaevanduste ja -elektrijaamade lähedusse. Seda tingib asjaolu, et põlevkivi transport pika maa taha ei ole majanduslikult otstarbekas ja uttegaasi selles sisalduva väävelvesiniku (H_2S) tõttu on otstarbekas põletada koos põlevkiviga põlevkivikateldes, kuna väävel seotakse põlemisprotsessil tekkiva kaltsiumoksiidiga.

Uttegaasi on kõige otstarbekam kasutada energiatootmiseks koostootmisjaamas, mis asub vahetult õlitehase juures. Soojuse ja elektri koostootmine on piiratud soojustarbimisega [8]. Nii soojusenergia kui ka elektrienergia tarbijaks oleks õlitehas ise ja nende vajadustest ülejääv elekter müüakse teistele tarbijatele. Samas hõlbustaks see ka õlitootmisega kaasneva uttegaasi utiliseerimist, kui seda ei ole kavas kasutada muude keemiatoodete valmistamiseks. Samas põlevkivigaasi kasutamiseks nii õlitehase juures asuvas koostootmisjaamas kui ka näiteks kombineeritud tsükliga elektrijaamas on vaja veel teha uuringuid ja leida tehnilised lahendused, et välistada väävelvesiniku jt komponentide negatiivset mõju seadmetele ja keskkonnale.

4.1 Olemasolevad tootmisvõimsused Enefit-140 ja Enefit-280 õlitehastes tekkiva poolkoksgaasi kasutamiseks

Rafineerimistehase puudumise tõttu on tekkinud küsimus – kus utiliseerida tekkivat uttegaasi. Aastast 2013 oleks pidanud tekkima uttegaasi soojusvõimsusega 270 MW_{th} (2*Enefit-140 ja Enefit-280). Tänase päeva seisuga saab Eesti EJ plokkidel 1–8 uttegaasi utiliseerida hetkvõimsusega 360 MW_{th} (vt Joonis 14). Hetkel Eesti Energia Narva Elektrijaamad AS uurib võimalusi suuremas koguses poolkoksgaasi tolmpõletusplokkides kasutamiseks.



Joonis 14. Eesti Elektrijaamas olemasolevad võimsused poolkoksgaasi kasutamiseks

Aastast 2016 on tekkiva uttegaasi kasutamiseks vajalik võimsus 540 MW_{th}. Selleks ajaks on valminud uus 300 MW_{el} plokk, milles projekttingimuste järgi on võimalik utiliseerida kuni 80 MW_{th} ut-

tegaasi. 1., 2. ja 7. energiaplokk on selleks ajaks suletud või töötavad piiratud ressursiga. Seega aastast 2016 on võimalik uttegaasi utiliseerida hetkvõimsusega 320 MW_{th}.

Uttegaasi utiliseerimisvõimsuse suurendamiseks oleks ühe lahendusena olemasolevate tolmpõlevkivikatelde TP-101 rekonstrueerimine. Sellisel juhul tuleks muuta küttepindade konstruktsioone, kuid kuna katelde ja auruturbiini projektijärgse eluea täitumise tõttu tuleks seda käsitleda ajutise lahendusena.

Hetkeolukord:

Hetkel saab tolmpõlevkivi aurukatlasse TP-101 lisada uttegaasi kuni 1800 Nm^3/h ning üle 20 MW soojuskoormust uttegaasist pole ühe katlaga võimalik saavutada.

Plokkidel 3–6 on sisseantava uttegaasi kogus veelgi madalam – 1600 Nm^3/h katla kohta (DeNOx seadmete piirang). Seetõttu saab DeSOx-DeNOx seadmetega varustatud plokkides põletada kokku 160 MW_{th} uttegaasi.

8. ploki kateldele paigaldatud uttegaasi põletid on projekteeritud koguvõimsusele 80 MW_{th}, kusjuures tegelikult saavutatud võimsus on madalam.

Ülalesitatut arvesse võttes saab praeguse parima teadmise kohaselt EEJ plokkidel 1–8 gaasi utiliseerida hetkvõimsusega 360 MW_{th} (vt skeem), mis aastaks 2016 väheneb võimsuseni 320 MW_{th}.

Meetmed uttegaasi utiliseerimisvõimsuse suurendamiseks:

a) TP-101 ümberehitus. (1, 2 ja 7 plokist on vaja rekonstrueerida vähemalt kaks)

Olemasolevad nn põletid (kahe katla kohta) tuleb ümber ehitada. Sellise moderniseerimise mõttekus turbiiniressursi täitumise ja katla töökindluse tõttu on küsitav. Ei piisa ka ainult katla ümberehitusest. Vaja on ka uusi gaasipuhastusseadmeid ja uusi korstnaid. Sisuliselt oleks tegu juba uute katelde ja gaasipuhastusseadmete ehitamisega. Ühe ploki üleviimisest gaasile ei piisa, sest sellisel juhul peaks see plokk töötama pidevalt nominaalkoormusel, et põletada ära kogu õlitehasest tulev gaas.

Väga jämeda hinnangu põhjal on vaja puhastada ~480 000 Nm^3/h suitsugaase, mille väävlisisaldus on ~5 700 mg/Nm^3. Ligilähedase hinnanguna võib öelda, et selleks hakkab kuluma ~3,5 t/h lupja. See kehtib nii vanade plokkide moderniseerimise kui ka uue gaasiploki rajamise kohta.

b) Ehitada uus gaasikatel

Aastal 2016 on EEJ-s olemasolev uttegaasi utiliseerimisvõimsus 320 MW_{th}. Vaja oleks 540 MW_{th}, seega puudu jääb 220 MW_{th}. Seetõttu tuleks ehitada puudujääva võimsuse katmiseks tipukoormuse õli-gaasikatel 220–570 MW_{th} võimsusele. Sellise katla tarnimine on jõukohane kõikidele katla tootjatele. Positiivse küljena saab tuua, et kasutades skraberit, saab minna alla suitsugaaside kastepunkti, saades niimoodi suitsugaasid puhtaks ja kondensaadist lisaenergiat. Oluline on rõhutada, et praeguste tolmpõlevkivi katelde lahkuvgaaside temperatuur on 200 ˚C juures. Gaasikatlal oleks see vähemalt 100 ˚C madalam, mis tõstab oluliselt katla kasutegurit. Hiljem oleks võimalik kasutada seda katelt rafineerimistehase jääkgaasi utiliseerimiseks ja kasutada tipujaamana.

Standardne gaasiturbiin ei tule kõne alla, sest tegemist ei ole „puhta gaasiga“ – see sisaldab väävlit (H_2S), tahkeid osakesi ja gaasbensiini. Ettepanek – uurida uttegaasi kasutamise võimalusi gaasiturbiinis. Suure gaasihoidla rajamine on samuti probleemiks.

c) Plussid ja miinused vana katla ümberehitamisele

TP-101 on tahkekütusekatel ja selle ümberehitamine suurele uttegaasi kogusele ei ole otstarbekas. Aurutoodang langeb, koldest lahkuvate gaaside temperatuur tõuseb, katlast lahkuvate gaaside temperatuur tõuseb, mis toob kaasa kasuteguri languse.

Kui jätkata uttegaasi andmist plokkidesse 1, 2 ja 7, siis need tuleb varustada DeSOx-seadmetega.

Korraliku tulemuse saamiseks oleks tegemist sisuliselt uute katelde ehitamisega vana turbiini külge vähemalt 3–7 aastaks.

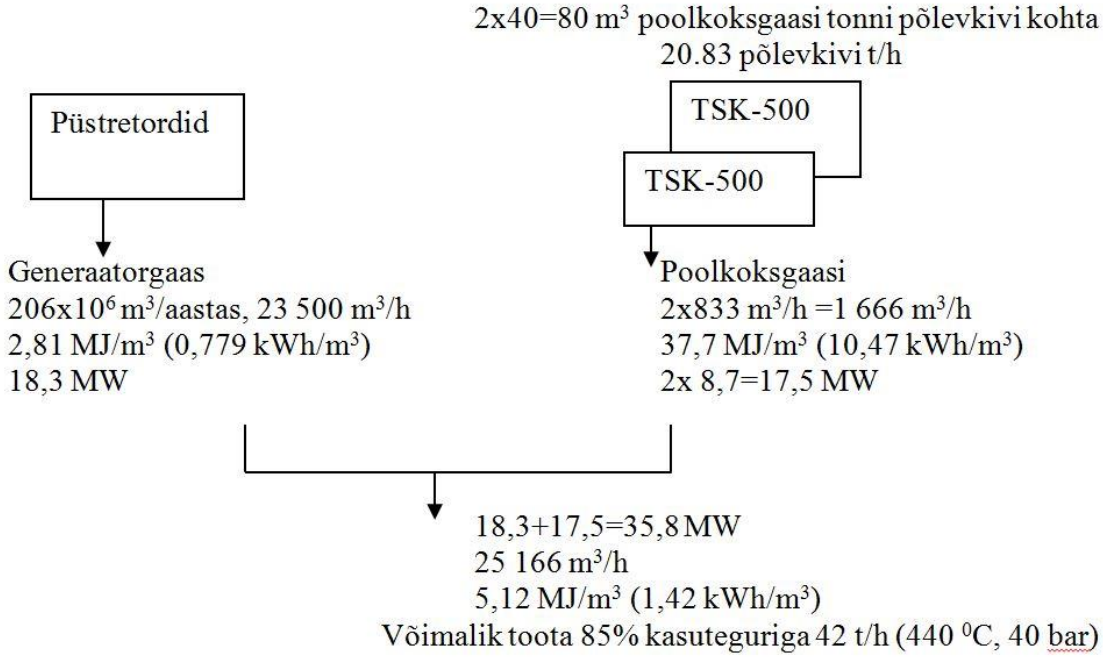
Juhul kui Enefit-280 õlitehaseid tuleb rohkem kui kolm, siis on ka tootmisvõimsuste puudujääk vastavalt suurem.

4.2 Olemasolevad tootmisvõimsused gaasigeneraatorites ja Petroter-seadmetes tekkiva uttegaasi kasutamiseks

Aastal 2015 on VKG Energia OÜ Põhja ja Lõuna SEJ soojusvõimsuseks prognoositud 365 MW_{th}. See väärtus suureneb aastast 2016 soojusvõimsusele 460 MW_{th} ning sellele lisandub lubjatehase soojusvõimsus 77 MW_{th}. Aastateks 2020–2030 jäävad need väärtused praeguse prognoosi järgi muutumatuteks. Nende andmete põhjal saab hinnata, et VKG õlitehastes tekkivad uttegaasid leiavad kasutust VKG Grupp AS tütarettevõtetes ja lisa võimsuseid prognositavale juurde installeerida pole vaja.

4.3 Olemasolevad tootmisvõimsused gaasigeneraatorites ja TSK-500 tekkiva uttegaasi kasutamiseks

Allpooltoodud Skeem 1 esitab Kiviõli Keemiatööstuse OÜ kõigi gaasilise ja tahke soojuskandjaga tootmisseadmete koostöötamisel tekkivate uttegaaside (generaatorgaas + poolkoksgaas) maksimaalsed gaaside kogused ja nende arvutusliku soojusvõimsus.



Skeem 1. Kiviõli Keemiatööstuse OÜ tekkivate uttegaaside kogused

Generaator- ja poolkoksgaasi (Tabel 4) segunemisel tekib kokku 23 500+1 666=25 166 Nm^3 tunnis uttegaasi, mille kaalutud keskmine küttevärtus on:

$$\frac{670 \times 23500 + 166 \times 9000}{23500 + 1666} = 1222.45 kcal / m^3$$

Hetkel toodetakse poolkoksgaasi ca 2 x 833 = 1666 Nm^3/h ja seda tehakse ca 5 400 h/aastas ehk aastas toodetav kogus on 8 996x10^3 Nm^3/a. Poolkoksgaasi küttevärtus on viimastel andmetel 9 000 kcal/Nm^3 (37,68 MJ/Nm^3 = 10,47 kWh/Nm^3). Seega on poolkoksgaasi näol saada olev energeetiline ressurss 94 462 MWh/a. Energeetiline võimsus poolkoksgaasi tunnipõhise tekkekoguse järgi on 17,5 MW.

Generaatorgaasi toodetakse 23 500 Nm^3/h ja seda tehakse ca 8 760 h/aastas ehk aastas toodetav kogus on 205 860x10^3 Nm^3/a. Generaatorgaasi küttevääртus on analüüside põhjal 670 kcal/Nm^3 (2,81 MJ/Nm^3 = 0,78 MWh/1000 Nm^3). Seega on generaatorgaasi näol saada olev energeetiline ressurss 160 571 MWh/a. Energeetiline võimsus generaatorgaasi tunnipõhise tekkekoguse järgi on 18,3 MW.

Generaator- ja poolkoksgaasid (Tabel 4) leiavad kasutamist Kiviõli Keemiatööstuse OÜ Kiviõli soojuselektrijaamas, kus on installeeritud neli katelt:

- kaks katelt E-25/40-440 GM, valmistatud 1966. aastal, on varustatud spetsiaalsete, madala küttevääртusega gaasi põletamiseks projekteeritud põletitega. Töötades põlevkiviõli tootmisel tekkinud jääkgaasil (generaatorgaasil), on katelde summaarne soojusvõimsus 23,8 MW ja tootlikkus 26 t/h.
- kaks aurukatelt TS-35, valmistatud 1958. ja 1967. a, kütuseks samuti generaatorgaas ning reserv- ja sissekütmiskütuseks tahked kütuseid. Katlad on projekteeritud tahke kütuse (peenpõlevkivi) põletamiseks restil, kuid on ümber seadistatud spetsiaalsete põletitega generaatorgaasi põletamiseks. Katelde summaarne soojusvõimsus 48,6 MW ja tootlikkus 53,2 t/h.

Juhul kui lisanduvad neli Kiviter-200 generaatorit võib eeldada väljastatava generaatorgaasi soojuslikuks võimsuseks ca 30 MW_{th}, mis nõuab Kiviõli SEJ katelde ja auruturbiinide võimsuse suurendamist. Juhul kui neljale Kiviter-200 generaatorile lisanduvad veel kuus TSK-500 seadet, siis poolkoksgaasi soojuslikuks võimsuseks nendelt kuuelt seadmelt võib hinnata 69,6 MW_{th}. Sel juhul tuleb kindlasti investeerida uutesse tootmisseadmetesse.

5. Hinnang uttegaasi torutranspordi ja muude kasutusalade võimalikkusele

Võttes lühidalt kokku alapeatükis „Põlevkivigaasi tootmise tehnoloogia ja transport“ toodud ülevaate, saab väita, et uttegaasi on võimalik torujuhtmega transportida, kuid see eeldab gaasi puhastamist vähemalt väävelvesinikust. Puudub ka turg uttegaasile. Tuleb rõhutada, et põlevkivi-, generaator- ja poolkoksgaas on kolm oluliselt erinevat gaasi. Poolkoks- ja generaatorgaas on õlitootmise kõrvalproduktid, aga põlevkivigaasi toodeti põlevkivist majapidamisgaasi saamiseks. Generaatorgaas omab energeetiliselt väikest osakaalu, on madala küttevääртuse ja suure mahuga, seega tuleks selle gaasi energeetilist kasutust jätkata tootmisüksuste juures. Kuna uttegaasi kogused, mahuline koostis ja küttevääртus muutuvad ajas pidevalt, siis maagaasi torujuhet ja võrku ei ole võimalik sellise gaasi edastamiseks kasutada. Mõeldav oleks poolkoksgaasi torutransport Eesti Elektrijaamast Balti Elektrijaamani, kus oleks võimalik gaasi kasutada energeetilise kütusena soojuse ja elektri koostootmiseks. Sellisel juhul tuleb arvesse võtta ka gaasi komprimeerimisele kuluvat energiat, gaasi puhastust ja happekindla roostevaba materjali opereerimis-, soetus- ja paigalduskulusid. Pigem tuleks kaaluda kaugküttetrassi ehitamist Eesti Elektrijaamast nt Narva ja Sillamäe linna, tootes sellisel juhul õlitehase juures soojust ja elektrit.

Eesti on hajaasustatud ja madala populatsiooniga riik. Enamus suurlinnade kaugküttepiirkondi on üle viidud tõhusale koostootmisele, mis baseeruvad kohalikel ja loodussõbralikel kütustel. Sellistel juhtudel on investeeringuid teinud kaugkütteettevõtetel sõlmitud ka pikaajalised lepingud kohalike omavalitsustega ning lähiajal ei ole võimalik kaugkütte turule ligi pääseda. Veelgi enam, sellisel juhul hakkaks ka õlitootmine sõltuma kaugkütte koormusgraafikutest, mis komplitseeriks õlitootmist. Seega jääb järele võimalus uttegaasist toota elektrit vabaturule. Elektri tootmiseks oleks mõeldav kasutada gaasiturbiin-, aurujõuseadmed või gaasimootoreid.

5.1 Gaasiturbiinseadmed

Gaasiturbiinseadmete kasutusel peab elektri omatarve vähendamine olema lahendatud veetarbimise minimiseerimisel ja tuleb tagada maksimaalne utmisprotsessides jääkide, eelkõige gaasi ärakasutamine. Need on eeldused optimaalseimaks lahenduseks elektritootmisel gaasturbiinide baasil.

Gaasturbiinide kasutamise eelised on:

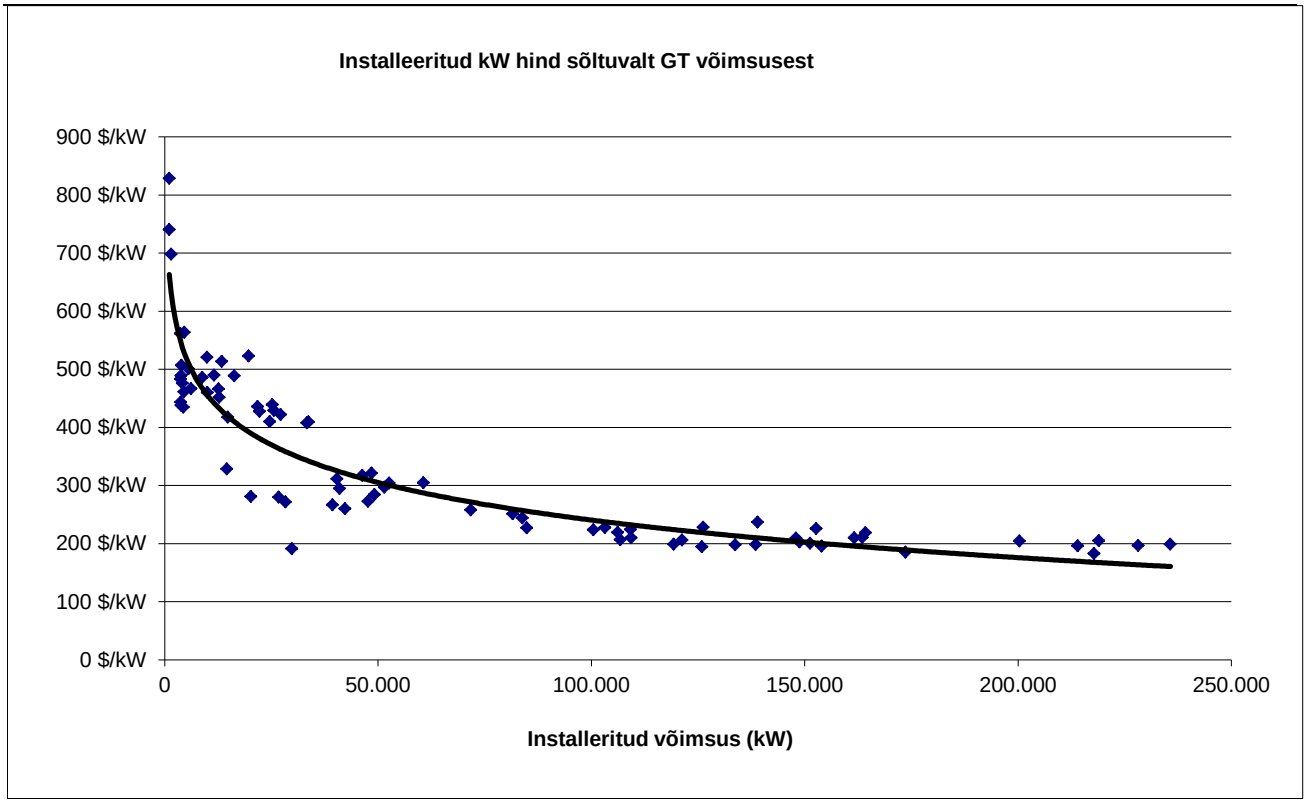
- nende töötamisel koormuse kiire muutmise võimalus;
- töötamine koormuste suurtes piirides;
- vee vajaduse täielik puudumine;
- aurujõuseadmetega võrreldavad kasutegurid.

Gaasiturbiinide rakendamiseks on vaja uttegaasid puhastada tolmust ja väävelvesinikust. Samuti on vaja gaas komprimeerida rõhuni ca 1,2-1,5 MPa.

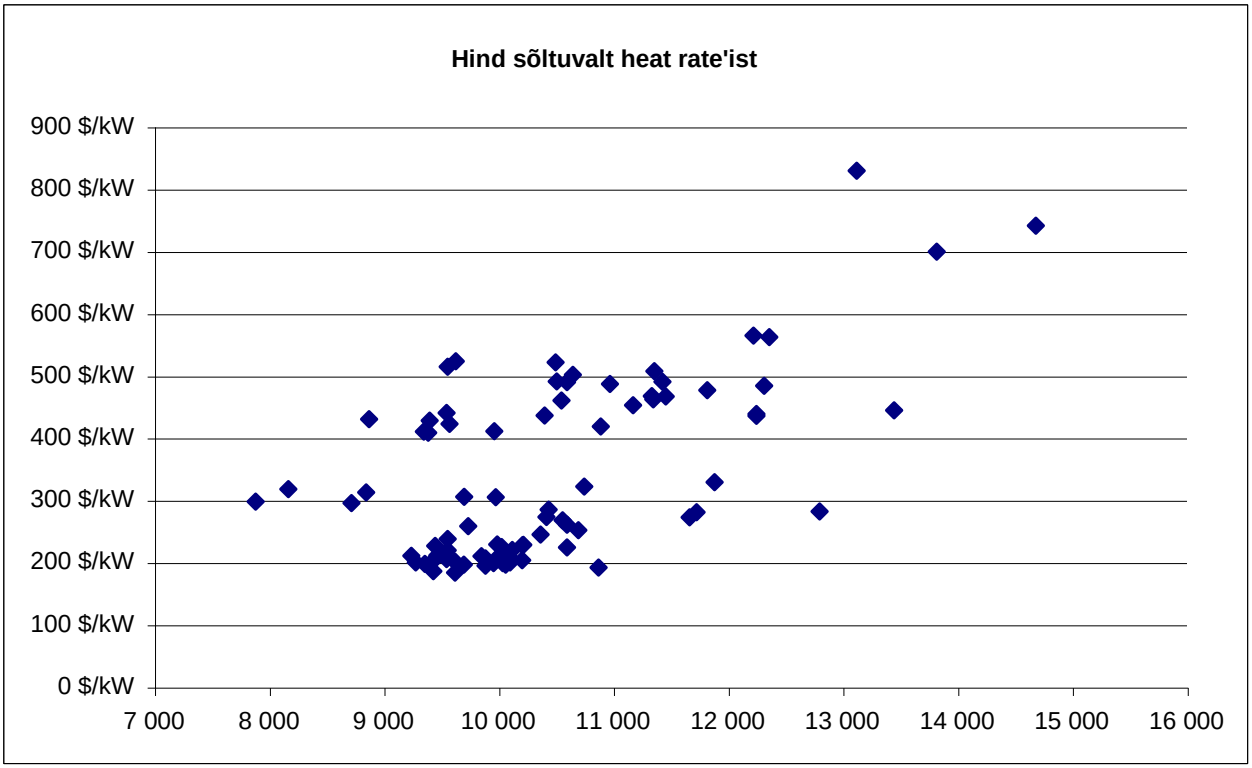
Gaasiturbiinide tüüp, arv, ühikvõimsus, väävelvesinikust puhastamise seadmed ja nende soojustarve hinnatakse töö järgnevates etappides.

Uttegaaside puhul ei tule standardne gaasiturbiin kõne alla, sest tegemist ei ole „puhta gaasiga“ – see sisaldab väävelvesinikku (H_2S), tahkeid osakesi ja gaasbensiini. Seetõttu tuleb kõigepealt uurida uttegaasi kasutamise võimalusi gaasiturbiinis. Uttegaaside korral on ka suure gaasihoidla rajamine probleemiks.

Alljärgnevalt on esitatud näitliku materjalina graafiliselt gaasiturbiinide hinnad ja soojuslike kasutegurite statistilised näitajad, mida käesoleva töö raames eeluuringu korras teostati (Graafik 1, Graafik 2).



Graafik 1. Installeeritud kW hind sõltuvalt gaasiturbiini võimsusest



Graafik 2. Hind sõltuvana heat rate'ist (kJ/kWh)

Gaasiturbiinide puhul tekib vajadus suitsugaasi puhastamiseks, et tagada tekkiva suitsugaasi vastavus kehtivatele keskkonnanõuetele.

5.2 Gaasimootorid

Võimalikuks lahenduseks elektrienergia tootmiseks uttegaasidest on ka gaasimootorite kasutamine. Võrreldes gaasiturbiinidega on investeeringu hind väiksem (~0,65 mln EUR/MW), kuid puhastada tuleb gaas nii tolmust kui väävelvesinikust (vt Tabel 10). Kasutatavas uttegaasis ei tohi olla ka kondenseeruvaid komponente nagu näiteks veeaur ja gaasbensiin. Puuduseks on, et maksimaalne kasutatav ühikvõimsus on ainult 10 MW ning uttegaasi madalam metaani jt komponentide sisaldus võib põhjustada järeldetonatsiooni. Mootorite kasutusaeg on ca 12 aastat, ka vajavad need suuremat hooldust.

Tabel 10. Wärtsilä 32GD gaasimootoris kasutatava kütuse näide

Example of fuel analyses from Secoya (Dygoil) power plant

GAS COMPONENT [Mole %]				
Methane	CH4	43,74	42,81	35,83
Ethane	C2H6	10,21	13,36	9,04
Propane	C3H8	12,25	14,05	18,21
i - Butane	i-C4H10	1,2	1,87	2,21
n - Butane	n-C4H10	2,32	4,81	5,39
i - Pentane	i-C5H12	0	0,93	0
n - Pentane	n-C5H12	0	0,84	1,91
n - Hexane	n-C6H14	0	0	4,66
n - Heptane	n-C7H16	0	0	0
Water (vapor)	H2O	0	0	0
Carbon monoxide	CO	0	0	0
Carbon dioxide	CO2	27,49	18,77	19,9
Hydrogen sulphfide	H2S	0	0	0
Hydrogen	H2	0	0	0
Nitrogen	N2	2,79	2,56	2,85
Oxygen	O2	0	0	0
Argon	Ar	0	0	0
Helium	He	0	0	0
MN		~71	~57	~49
LHV [kJ/nm^3@0C, 100 kPa]		36927	46526	54927
Density [kg/m^3 @0C, 100 kPa]		1,339903976	1,3747	1,5921

Juhul kui gaasimootorisse antavat uttegaasi mitte puhastada või siis puhastada ainult teatud määral, tekib vajadus suitsugaaside järelpuhastussüsteemile, et tagada keskkonnaseisukohalt nõutavad tingimused. Sellisel juhul mootorite kasutusaeg ja hooldusintervall lüheneb.

5.3 Aurujõuseadmed

Aurujõuseadme kasutamisel on puuduseks turbiinist lahkunud auru kondenseerumiseks jahutusvee vajadus. Kogu tehase (nt 10 mln tonni põlevkivi aastas) käitamisel tekkinud gaasi kasutamisel aurujõuseadmes on paratamatult vajalik aurustunud jahutusvee lisamiseks ca 640 tonni vett tunnis. Jahutusvee bassein (ringleva vee kogus) peaks olema ca 5 000–6 000 tonni tunnis. Aurujõuseadme katelde järel on vajalik väävlipüüdmisseadmete rakendamine, mis omakorda vajavad tööks vett (märgpuhastus). Lisaks tuleb arvestada, et poolkoksgaasi põletamisel eraldub õhku ka CO_2. Poolkoksigaasi põletamisel on CO_2 eriheide 67,5 ... 68,5 t CO_2/TJ, mis on küll madalam põlevkivi otsesel põletamisel tekkivast eriheitest (96,8 ... 100,1 t CO_2/TJ), kuid kõrgem näiteks maagaasi eriheitest (55,0 t CO_2/TJ). Uttegaas on oluliselt erinev maagaasist, seetõttu nõuab ka aurujõuseadme projekteerimine ja materjalide ning suitsugaasi puhastussüsteemi valik rohkem aega ja erilahendusi. Kuna tegu pole riiulikaubaga, võib eeldada ka pakkujate/tarnijate vähesust ja kõrgemat hinda võrreldes maagaasi aurujõuseadmetega.

Uutele seadmetele kehtivad nõuded, mis tuleb tagada 3% O_2 juures kuivades gaasides:

SO_x = 35 mg/Nm^3, NO_x = 100 mg/Nm^3, tahked osakesed = 5 mg/Nm^3.

6. Uttegaasi potentsiaalne mõju Eesti energiamajandusele

Hetkel puuduvad täpsed andmed poolkoksgaasi tegeliku koostise kohta, mis peaks tekkima Enefit-280 õlitehasest. Seetõttu on lõppjärelduste tegemine praegusel hetkel ennatlik. Võib juhtuda, et poolkoksgaasi kütteväärtus jääb projekteeritust madalamaks. Näiteks TSK-500 töös pole poolkoksgaasi projekteeritud kütteväärtust seni saavutatud. Esialgsed andmed kinnitavad eelpooltoodud fakti Enefit-280 tekkiva poolkoksgaasi madalama kütteväärtuse kohta.

Käesoleva uuringu käigus kogutud andmete alusel on koostatud põlevkivi uttegaasi tekke kohta stsenaariumid kuni aastani 2030. Lähtudes põlevkivi töötlevate ettevõtete arenguvariantidest koostati viis võimalikku stsenaariumit. Põlevkivi uttegaas on põlevkiviõli tootmise kõrvalsaadus, seetõttu on arengustsenaariumides määrava tähtsusega kahe suurema põlevkiviõli tootja – Eesti Energia Õlitööstus AS ja VKG Oil AS – kavad õli tootmist laiendada. Põlevkiviõli toomisel tekkiva gaasi energeetilist kasutamist vaatleme põhiliselt tahke soojuskandjaga protsessi põhjal, sest seal tekkiv gaas on kõrgema kütteväärtusega.

Praegusel ajal töötab Eesti Energia Õlitööstuses kaks Enefit-140 seadet ja käivitamisel on Enefit-280 seade. Nimetatud seadmed jäävad töösse kogu prognoosiperioodi jooksul. Eesti Energia on oma grupi arengut kavandades teatanud lisaks praegu käivitamisel olevale veel kuni seitsme Enefit-280 ehitamisest, seda hiljemalt aastaks 2030.

VKG Oil AS tehases töötab käesoleval ajal üks Petroter-tüüpi seade. Teise sama tüüpi ja sarnase tootmisvõimsusega seadme ehitamine on käimas ning ettevalmistusi kolmanda Petroter-seadme rajamiseks on samuti juba alustatud. Edaspidi on kavandatud ehitada ka neljas Petroter-seade.

Võttes aluseks eeltoodud informatsiooni on põlevkivigaasi tekke kohta koostatud viis stsenaariumit, millest esimene kajastab n.ö tagasihoidlikku arengut olles seega nn *'business as usual'* (BAU) stsenaarium, iga järgmine kajastab aga põlevkivist õli tootmise kiirenevat arengut. Seega väljendab viies stsenaarium aastaks 2030 praeguses nägemuses põlevkivist õli tootmise kõige optimistlikumat arengut.

Stsenaarium 1

	2015	2020	2025	2030
Eesti Energia Õlitööstus AS				
Tootmisseadmed	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280
Gaasi teke, mln Nm^3	145,2	145,2	145,2	145,2
VKG Oil AS				
Tootmisseadmed	2 × Petroter	3 × Petroter	3 × Petroter	3 × Petroter
Gaasi teke, mln Nm^3	85,8	143,4	143,4	143,4
Kokku gaas, mln Nm^3	231,0	288,5	288,5	288,5

Stsenaarium 2

	2015	2020	2025	2030
Eesti Energia Õlitööstus AS				
Tootmisseadmed	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280
Gaasi teke, mln Nm^3	145,2	224,0	224,0	224,0
VKG Oil AS				
Tootmisseadmed	2 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter
Gaasi teke, mln Nm^3	85,8	202,0	202,0	202,0
Kokku gaas, mln Nm^3	231,0	426,0	426,0	426,0

Stsenaarium 3

	2015	2020	2025	2030
Eesti Energia Õlitööstus AS				
Tootmisseadmed	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280	2 × Enefit-140 4 × Enefit-280	2 × Enefit-140 4 × Enefit-280
Gaasi teke, mln Nm^3	145,2	224,0	381,7	381,7
VKG Oil AS				
Tootmisseadmed	2 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter
Gaasi teke, mln Nm^3	85,8	202,0	202,0	202,0
Kokku gaas, mln Nm^3	231,0	426,0	583,7	583,7

Stsenaarium 4

	2015	2020	2025	2030
Eesti Energia Õlitööstus AS				
Tootmisseadmed	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280	2 × Enefit-140 6 × Enefit-280	2 × Enefit-140 6 × Enefit-280
Gaasi teke, mln Nm^3	145,2	224,0	539,4	539,4
VKG Oil AS				
Tootmisseadmed	2 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter
Gaasi teke, mln Nm^3	85,8	202,0	202,0	202,0
Kokku gaas, mln Nm^3	231,0	426,0	741,4	741,4

Stsenaarium 5

	2015	2020	2025	2030
Eesti Energia Õlitööstus AS				
Tootmisseadmed	2 × Enefit-140 1 × Enefit-280	2 × Enefit-140 2 × Enefit-280	2 × Enefit-140 6 × Enefit-280	2 × Enefit-140 8 × Enefit-280
Gaasi teke, mln Nm^3	145,2	224,0	539,4	697,1
VKG Oil AS				
Tootmisseadmed	2 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter	4 × Petroter
Gaasi teke, mln Nm^3	85,8	202,0	202,0	202,0
Kokku gaas, mln Nm^3	231,0	426,0	741,4	899,1

Kokkuvõte stsenaariumidest – poolkoksgaasi teke, mln Nm^3

Stsenaarium	2015	2020	2025	2030
1	231,0	288,5	288,5	288,5
2	231,0	426,0	426,0	426,0
3	231,0	426,0	583,7	583,7
4	231,0	426,0	741,4	741,4
5	231,0	426,0	741,4	899,1

Lisaks stsenaariumides esitatud poolkoksgaasi toodangule tekib VKG Oil AS ja Kiviõli Keemiatööstuse OÜ poolt gaasilise soojuskandjaga töötavates Kiviter-seadmetes aastas ligikaudu 1,2 mlrd Nm^3 madala kütteväärtusega generaatorgaasi. Kiviõli Keemiatööstuses paigaldatud tahke soojuskandjaga töötava seadme TSK-500 nominaalkoormusel töö korral tekib ka seal poolkoksgaasi ligikaudu 9 mln Nm^3 aastas.

Tuleb rõhutada, et stsenaariumide koostamisel ei ole arvestatud võimalikku iga-aastast piirangut põlevkivi kaevandamise mahule vaid on lähtutud põlevkivi töötlevate ettevõtete arengukavadest. Koostatud stsenaariumide realiseerimiseks vajaliku põlevkivikoguse hindamine väljub küll käes-

oleva ülevaate raamidest kuid sellegipoolest esitame ligikaudsed summaarsed hinnangud stsenaariumides toodud põlevkivigaasi mahtudele vastavate vajalike põlevkivikoguste kohta.

Vajalik kaubapõlevkivi kogus poolkoksgaasi tootmiseks, mln t

Stsenaarium	2015	2020	2025	2030
1	6,50	8,14	8,14	8,14
2	6,50	12,03	12,03	12,03
3	6,50	12,03	16,44	16,44
4	6,50	12,03	20,86	20,86
5	6,50	12,03	20,86	25,27

Oluline on märkida, et perspektiivsed andmed õlitootmiseks vajaliku põlevkivi koguste kohta on ligikaudsed põhinedes peamiselt ettevõtete poolt esitatud andmetele, mida vajadusel on täiendatud statistilistel andmetel põhinevate näitajate (nt erikulud, kütteväärtused jm) alusel.

Kui lisada stsenaariumides hõlmatud põlevkivi töötlemisele ka Kiviter-seadmete (VKG Oil ja Kiviõli KT) ning TSK-500 (Kiviõli KT) poolt vajatav põlevkivi, siis ulatub aastal 2030 vajaliku põlevkivi kogus 10,8 (stsenaarium 1) kuni 27,9 mln tonnini (stsenaarium 5) aastas.

Tuleb rõhutada, et põlevkivi uttegaasi võimalikku teket kajastavad stsenaariumid ei ole n.ö klassikalised arengustsenaariumid, kuna arengu kavandamise objektiks on ressurss, mis tekib kaas- ehk kõrvalproduktina põhisaaduse (põlevkiviõli) tootmisel põlevkivist. Seega nii stsenaariume koostada kui nende tulemuste mõju analüüsida tuleks koos põlevkivi ja põlevkiviõli tootmise ja kasutamise arenguvariantidega. Tulenevalt käesoleva uuringu tööülesandest tuli põlevkivi uttegaasi vaadelda siiski peamiselt eraldiseisva kütusena. Siiski valiti stsenaariumid lähtudes põlevkivist õli tootvate ettevõtete arengukavadest. Koostati viis stsenaariumit võimaldamaks analüüsida kavandatud arenguid paindlikumalt. Stsenaariumide tegelikkuses teostumise tõenäosus on suurim esimese stsenaariumi korral ja kahaneb iga järgmise stsenaariumi korral järk-järgult.

Analüüsimaks põlevkivi uttegaasi, eriti poolkoksgaasi, senisest oluliselt laialdasema tekke mõju energiatarbimisele tuleb arvesse võtta nimetatud gaasi omadusi, mida käesoleva uuringu aruandes on põhjalikult käsitletud. Tulenevalt nendest omadustest ei osutu otstarbekaks põlevkivi uttegaasi tekkekohast kaugele transportida ja seetõttu on vaja gaasi kasutada võimalikult põlevkiviõli tootmiskohtade lähistel. Kuna soojuse vajadust nendes paikkondades ei ole piisavalt, siis jääb uttegaasi põhiliseks kasutusvõimaluseks elektri tootmine. Seega hakkab uttegaas osaliselt asendama selles piirkonnas elektri tootmisel kasutatavat põlevkivi, seejuures asendab ühte tonni põlevkivi ligikaudu 200 tuh Nm^3 poolkoksgaasi. 2030. aastal võiks poolkoksgaas asendada elektri tootmisel põlevkivi alates 1,44 mln tonnist (stsenaarium 1) kuni 4,50 mln tonnini (stsenaarium 5). Siiski on see teoreetiline võimalus, mille realiseerimiseks tegelikkuses tuleb arvesse võtta poolkoksgaasi omadustest lähtuvaid probleeme, mida on kirjeldatud peatükis 1, 2 ja 4. Nende probleemide lahendamine nõuab täiendavaid investeeringuid. Samuti tuleb arvestada, et üheski katelseadmes ei ole ilmselt otstarbekas asendada kogu põletatav põlevkivi uttegaasiga, vaid tuleks minna nende kütuste koospõletamisele. See aitab leevendada väävliheitmete probleemi. Kasvuhoonegaaside heite seisukohalt vähendaks poolkoksgaasi kasutamine CO_2 emissiooni ligikaudu 29 t CO_2 võrra iga asendatud TJ kütuseenergia kohta. (Poolkoksigaasi põletamisel on CO_2 eriheide 67,5 ... 68,5 t CO_2/TJ. Põlevkivi otsesel põletamisel on CO_2 eriheide 96,8 ... 100,1 t CO_2/TJ. Maagaasi otsesel põletamisel on CO_2 eriheide 55,0 t CO_2/TJ.)

Kütuste, antud juhul põlevkivi ja poolkoksgaasi, omavahelise konkurentsi täpsem analüüs väljub käesoleva uuringu raamidest, kuna seda tuleks vaadelda koos põlevkiviõli poolse kaudse mõjuga. Lisaks kütuste tehnilistele omadustele tuleb seejuures kindlasti arvestada ka majanduslikke aspekte. Siinjuures on poolkoksgaasil põlevkiviga võrreldes teatud eelis kuna formaalselt on võimalik lähtuda seisukohast, et gaas on põlevkiviõli tootmise kõrvalsaadusena n.ö tasuta ressurss ja seetõttu võiks sellest elektri tootmine olla majanduslikult väga otstarbekas. Selline lähenemine vajaks eraldi põhjalikku analüüsi, seda eriti elektri vabaturu tingimuste taustal.

7. Kokkuvõte ja soovitused

Põlevkiviõli tootmisel tekib märkimisväärne kogus uttegaasi, mille küttevääртus ja kogus sõltub kasutatavast tootmistehnoloogiast.

Põlevkivist on saadud põhimõtteliselt kolme tüüpi gaasi. Ühel juhul kõrgel temperatuuril ja ainult põlevkivist põlevkivigaasi (majapidamisgaasi) tootmiseks kamberahjudes, mida ei toodeta 1987. aastast alates. Teistel juhtudel on tekkiv gaas õlitootmise kõrvalproduktiks. Tahke soojuskandja (TSK) meetodil põlevkivist põlevkiviõli tootes saadakse kõrvalproduktina kõrge küttevääртusega (38–49 MJ/Nm^3), kuid suhteliselt suurtes piirides kõikuva koostisega poolkoksgaasi. Gaasi küttevääртus sõltub ka kasutatavast TSK meetodist. Gaasilise soojuskandja (GSK) meetodil põlevkivist põlevkiviõli tootes saadakse kõrvalproduktina madala küttevääртusega (3–4 MJ/Nm^3) generaatorgaas, mida omal ajal kasutati kamberahjude kütusena, kus toodeti põlevkivigaasi. GSK meetod kasutab rikastatud tükkpõlevkivi ja TSK meetod kasutab põlevkivi peenfraktsiooni. Põlevkivi utmisel saadavat gaasi kasutatakse Eesti tingimustes elektri ja/või soojuse tootmiseks. TSK meetodi puhul tekib fenoolvett vähem kui GSK meetodi puhul ning see suunatakse elektrijaama energeetilisse katlasse või segatakse koos GSK meetodil tekkinud fenoolveega ja suunatakse defenoleerimisse.

Põlevkivi uttegaase saab kasutada nii keemiatööstuse toorainena kui ka soojuse ning elektri tootmiseks.

Keemiatööstuse tooraine seisukohalt koosneb põlevkivi poolkoksgaas mitmest huvipakkuvast ja potentsiaalselt väärtuslikust komponendist, mis ulatuvad tavalisest metaanist kuni eksootilisemate osisteni nagu näiteks butüleen/buteen, propüleen/propeen ja etüleen/eteen. Viimatinimetatud omavad olulist väärtust keemiatööstuse toorainena. Ligikaudu pool gaasist koosneb süsivesinikest, ülejäänud osa moodustavad vesinik, süsinikdioksiid ja -monoksiid, hapnik ning lämmastik.

Uttegaasi kasutusvõimalusi keemiatööstuses tuleks tulevikus kindlasti uurida, kuna tehnoloogiad ja tehnilised võimalused pidevalt laienevad. Määravaks jääb siiski lõpptoodangu omahind, mis seni pole uttegaasi väärindamist soosinud. Esmaseks ülesandeks jääb H_2S eemaldamine, mida on generaatorgaasis 6,5 g/Nm^3 ja poolkoksgaasis 31,6 g/Nm^3. Arvestades loodusliku ja kildagaasi tänast turuhinda jäävad investeeringud uttegaasi väärindamiseks tulevikku.

Analüüsimaks põlevkivi uttegaasi, eriti poolkoksgaasi, senisest oluliselt laialdasema tekke mõju energiatarbimisele tuleb arvesse võtta nimetatud gaasi omadusi, mida käesoleva uuringu aruandes on põhjalikult käsitletud. Tulenevalt nendest omadustest ei osutu otstarbekaks põlevkivi uttegaasi tekkekohast kaugele transportida ja seetõttu on vaja gaasi kasutada võimalikult põlevkiviõli tootmiskohtade lähistel. Kuna soojuse vajadust nendes paikkondades ei ole piisavalt, siis jääb uttegaasi põhiliseks kasutusvõimaluseks elektri tootmine. Seega hakkab uttegaas osaliselt asendama selles piirkonnas elektri tootmisel kasutatavat põlevkivi, seejuures asendab ühte tonni põlevkivi ligikaudu 200 tuh Nm^3 poolkoksgaasi. 2030. aastal võiks poolkoksgaas asendada elektri tootmisel põlevkivi alates 1,44 mln tonnist (stsenaarium 1) kuni 4,50 mln tonnini (stsenaarium 5).

Uttegaasi mõju Eesti energiamajandusele on hetkel veel vara hinnata, kuna suurimaks tundmatuks jääb Enefit-280 õlitehasest tekkima hakkava poolkoksgaasi koostis. Tuha transpordiks kasutatav lämmastik suurendab kindlasti ka lämmastikusisaldust poolkoksgaasis. Kasutatav ringleva keevkihiga tehnoloogia suurendab ülipeente tuhaosakeste teket, mille mõju õli ja poolkoksgaasi koostisele hinnata on keerukas. Tehnoloogiliste protsesside ja süsteemide edasiarenduse ja muudatuste tulemusel võib eeldada pigem poolkoksgaasi küttevääртuse langust võrreldes Enefit-140 seadmest tuleva poolkoksgaasi küttevääртusega (käivituskatsetel pole prognoositud poolkoksgaasi saadud).

<u>Käesolevas töös ei ole ettevõtete poolt esitatud arengustsenaariume hinnatud ja maksimaalseid uttegaasi tekkimise mahte tuleks käsitleda teatud reservatsiooniga.</u> Esiteks võtavad keskkonnamõjude hinnangute tegemine ning keskkonna- ja ehituslubade saamine aega. Teiseks tuleb arvestada ehitu-

sele kuluvat aega ja käivitamise protsessi komplitseeritust ning ajamahukust. Kolmandaks, olles Eesti esindaja Rahvusvahelises Energiaagentuuris (IEA) saab öelda, et seoses tuumaenergeetika vähendamisega ja tagamaks puudujääke elektriturul, on võetud suund fossiilkütustest energiatootmisele ülekriitilistel parameetritel ja varustatuna CCS (süsinikdioksiidi kinnipüüdmine ja hoiustamine) tehnoloogiaga. Eesmärgiks on võetud vähendada söe põletamisel tekkiva CO_2 teket 1000 grammilt ühe kilovatttunni elektrienergia kohta (g CO_2/kWh) kuni 740 g CO_2/kWh [20]. Põlevkivi keevkihtkateldel on see näitaja väiksem ja seda isegi madalamatel auruparameetritel [21], olles seetõttu igati konkurentsivõimeline vabaturu tingimustes. Põlevkivikatelde sh. ka keevkihtkatelde ümberehitamine söele on võimalik, kuid arvestades investeeringumahte katelde rekonstrueerimisele ja DeNOx ning DeSOx suitsugaaside puhastussüsteemide vajalikkust, et sütt põletada, ei saa pidada seda reaalseks võimaluseks. Selle juures tekib probleem ka tuhaladestusega, sest söe tuhka ei ole võimalik olemasoleva süsteemiga ladestada ning tuhka jääv orgaanika on keskkonnaohtlik.

Pidades täna kõige tõenäolisemaks stsenaariumi 1, toodetaks sellisel juhul Eesti Energia Õlitööstuse AS ja VKG Oil ASi poolt kokku elektrienergiat 2015. aastal 1104 GWh_{el} ja 2020. ning 2030. aastal 1379 GWh_{el}[3] See moodustaks Eesti prognoositavast elektri sisetarbimisest vastavalt 12,4%, 13,7% ja 11,0%[4]. Stsenaariumi 2 võib pidada ka reaalseks, kuid kuna hetkel on Enefit-280 õlitehases lisaks mehaanilistele probleemidele probleeme ka tehnoloogiliste sõlmedega, siis võib eeldada, et teine tehas tuleks oluliste muudatustega. Sel juhul oleks tekkiv poolkoksgaas ka teistsuguste mahtude ja koostisega. Tuleb rõhutada, et põlevkivi uttegaasi võimalikku teket kajastavad stsenaariumid ei ole n.ö klassikalised arengustsenaariumid, kuna arengu kavandamise objektiks on ressurss, mis tekib kaas- ehk kõrvalproduktina põhisaaduse (põlevkiviõli) tootmisel põlevkivist. Seega nii stsenaariume koostada kui nende tulemuste mõju analüüsida tuleks koos põlevkivi ja põlevkiviõli tootmise ja kasutamise arenguvariantidega.

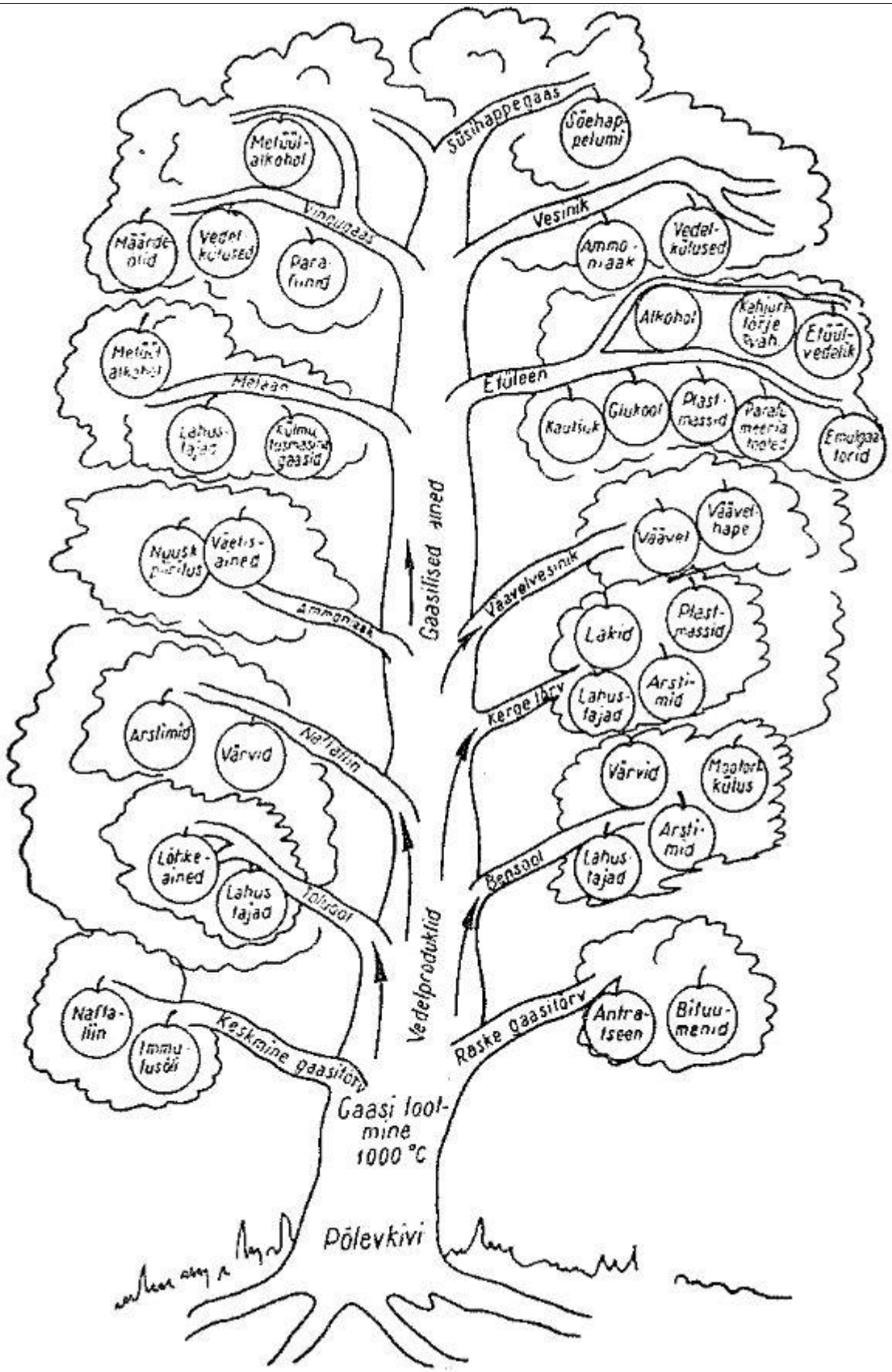
[3] Eelduseks on kogu poolkoksgaasi kasutamine elektri tootmiseks, seejuures on elektri tootmise kasuteguriks võetud 40% ja gaasi keskmiseks kütteväärtuseks 43 MJ/Nm^3

[4] Elektri sisemaise tarbimise aluseks on Elering AS prognoos (03.06.2013)

Kasutatud kirjandus

1. *A/S Esimene Eesti Põlevkivitööstus*. 1938, Tallinn.
2. Aarna, A., *Põlevkivi*. 1989, Tallinn: Valgus. 144.
3. Help, K., *Kamberahjus põlevkivi ümbertöötamise protsessi uurimine*. 1960: Kohtla-Järve. p. 230.
4. Rikk, E., *Põlevkiviümbertöötamise tehnoloogia dinastellistest kamberahjudes*. 1966: Tallinn. p. 256.
5. Qian, J., et al., *Oil shale-petroleum alternative*. 2010, Beijing: China Petrochemical Press.
6. Glinka, N.L., *Üldine keemia*. 1962, Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus.
7. Talumaa, R., *Põlevkivi kasutamine energiatootmiseks*. 2006: Tallinn.
8. *Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2008-2015*. 2008: Tallinn. p. 46.
9. Raukas, A.K., J, *Eesti oskusteave kukersiitpõlevkivi gaasistamisel.* Eesti Põlevloodusvarud ja jäätmed, 2011: p. 9-11.
10. Ševkunov, H.D., *Dinastellistest kamberahjude bilansikatsed*. 1960.
11. EG. *Gaasi ajalugu Eestis*. [cited 2013 30.12]; Available from: http://www.gaas.ee/kontsern/ajalugu/.
12. VKG. *Ajaloost lähemalt*. [cited 2013 30.12]; Available from: http://www.vkg.ee/est/kontsern/ajaloost/ajaloost-lahemalt.
13. Rooks, I., *Esimesest Eesti Põlevkivitööstusest Kiviterini*. 2004, Kohtla-Järve: AS Viru Keemia Grupp / OÜ Mark & Partnerid. 131.
14. Aarna, A.K., K; Reier, A; Öpik, I, *Põlevkivi*. 1954.
15. *Põlevkivi tehnoloogilise töötlemise etappide kirjeldus BAT kriteeriumites*. 2004.
16. *Eesti Põlevkiviõli tootmise parim võimalik tehnika*. 2013, ÅF-Consulting AS; Eesti Keemiatööstuse Liit.
17. Outotec, *New generation of oil production using oil shale - Enefit - Narva, Estonia*. 2013.
18. *Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2016-2030*. 2013, Keskkonnaministeerium.
19. Soot, P.M., H. Voll, and T.A. Koiv, *UTILIZATION OF OIL SHALE RETORT GAS.* Oil Shale, 2012. **29**(3): p. 248-267.
20. IEA, *Resources to Reserves 2013*. 2013.
21. Konist, A., et al., *LOW GRADE FUEL - OIL SHALE AND BIOMASS CO-COMBUSTION IN CFB BOILER.* Oil Shale, 2013. **30**: p. 294-304.

LISAD



Joonis 15. Põlevkivigaaside puu gaaside tootmisel 1000 °C juures [14]