



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

EESTI MEREAKADEEMIA Merenduskeskus

Evelin-Erika Kutnik

**PÕLEVKIVIÕLI KASUTAMISE VÕIMALUSTEST
LAEVANDUSES ALTERNATIIVSE KÜTUSEALLIKANA**

Lõputöö

Juhendaja: Karina Vesselova

Tallinn 2022

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

/Ees- ja perekonnanimi/ ...Evelin-Erika Kutnik.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: ...183630VDSR.....

Üliõpilase e-posti aadress:evelinerikak@gmail.com.....

Juhendaja /tiitel, ees- ja perekonnanimi/: Karina Vesselova

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: /tiitel, ees- ja perekonnanimi/ Lubatud kaitsmisele

DBT AS-i BCT Terminali tootmisdirektor, Marko Jürjoja.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

Sisuskord

Jooniste loetelu.....	5
Tabelite loetelu.....	6
Lühendid	7
Annotatsioon	8
Sissejuhatus.....	9
Uurimismetoodika.....	10
1 Põlevkivi	11
1.1 Kiltkivi	11
1.2 Kaevandamine.....	12
1.3 Kasutamine	14
2 Põlevkivi kütus.....	15
2.1 Põlevkiviõli	16
2.2 Põlevkivi masuut.....	16
2.3 Põlevkivi gaas.	17
2.4 Tootmismeetodid	19
2.5 Põlevkiviõli kasutamine	22
2.6 Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemise standart.....	23
2.7 Kütuse omadused	25
2.8 Laevade kütuse liigid	27
2.9 Laevakütuse ja põlevkivikütuse võrdlus	31
3 Laevakütusena kasutamise võimalused	34
3.1 Mootorid	34
3.2 Mootori muutused.....	36
3.3 Põlevkiviõli ja väävel.....	38

4 Keskkonnareostus	40
5 Põlevkiviõli hinna analüüs	44
Kokkuvõte.....	48
Summary	49
Allikad.....	50
Lisa 1. Intervjuuküsimused Eesti Energia tehnilise juhile.....	53
Lisa 2. Intervjuuküsimused Arte Bunkering OÜ spetsialistiga	54
Lisa 3. Intervjuuküsimused TalTech inseneriteaduskonna abiprofessor Allan Niidu	55

Jooniste loetelu

Joonis 1. Kaevandamine	13
Joonis 2. Põlevkivigaasi tootmine.....	18
Joonis 3. Pürolüüs	20
Joonis 4. Vedelkütuste keskmine müügihind.....	45
Joonis 5. Raske kütteõli (1%) maailmaturuhind	45

Tabelite loetelu

Tabel 1. Eestis kasutati 1980. aastal tootmiseks põlevkivi	14
Tabel 2. Põlevkivi kvaliteedinormid	19
Tabel 3. Põlebkiiviõlist saadud toodete fraktsioonid	21
Tabel 4. Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine EVS/TK 57	24
Tabel 5. Põlevkiviõli ja põlevkivibensiini füüsikalised katsed	26
Tabel 6. Põlevkiviõli ja raskemasuuti keemiliste-füüsiliste omadused	31
Tabel 7. Põlevkiviõli- raskemasuuti segu ja raskemasuuti keemiliste-füüsiliste omadused ..	32
Tabel 8. Heitmete sattumine keskkonda ja keskkonna kokkupuude: laevakütuse tootmine ...	41
Tabel 9. Heitmete sattumine keskkonda ja keskkonna kokkupuude: põlevkiviõli segude	42
Tabel 10 Kütusehinnad	46

Lühendid

CEN – The European Committee for Standardization

EVS/TK – Eesti Vabariigi standardi tehnilised komiteed

HFO – Heavy fuel oil

HRV – Hiina Rahvavabariik

ICE – Internal Combustion Engines

IFO – Intermediate Fuel Oil

IMO – International Maritime Organization

ISO – International Organization for Standardization

MABUX – Marine Bunker Exchange

MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

mt – metric tonnes

NSV – Nõukogude Liit

REACH – Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals

TC – Technical Committees

TSP – Total Sediment Potential

VKG – Viru Keemia Grupp

VLSFO – Very Low Sulphur Fuel Oil

Annotatsioon

Viimasel ajal on paljudes meediakanalites aktiivselt arutletud õlikütusele alternatiivse põlevkivikütuse laialdase kasutamise teemal. Huvi põlevkivikütuse vastu on igati põhjendatud, kuna Maal uuritud põlevkivi toormevarud ületavad oluliselt traditsiooniliste süsivesinike energiakandjate uuritud varusid. Eesti põlevkivimaardlaid on tööstuslikus mastaabis kasutatud alates 20. sajandi algusest ja just Eesti oli pikka aega põlevkivi tootmises maailma liider. Kas põlevkivikütus on tõesti võimeline traditsiooniliselt kasutatavaid süsivesinikke praktikas asendama?

Selle lõputöö eesmärgiks oli uurida põlevkiviõli nii kütusena kui ka lisandina raskekütuses. Samuti oli oluline teada saada, milline on nende kütuseliikide mõju laevale ning keskkonnale.

Töö koosneb viiest põhiosast. Esimene osa räägib põlevkivist ja kaevandamisest. Teises osas uuritakse põlevkivikütuse ning laevakütuse liike, nende omadusi, standardeid ja võrdlusi. Kolmandas osas on kirjutatud laeva mootoritest ja sellest, milliseid muutusi oleks vaja teha. Neljandas osas kirjeldati mõju keskkonnale alates tootmisest kuni põlevkiviõlini. Viiendas kirjutati põlevkivikütuse kommertsist, uurides ja võrreldes vedelkütuste, raskekütteõli, diiselmootori, raskemasuudi ja põlevkivikütteõli hindasid.

Lõputöö kirjutamise käigus kasutas autor teadusallikaid, võttis intervjuu Eesti Energia tehniliselt juhilt, Arte Bunkering OÜ spetsialistilt ning TalTech inseneriteaduskonna abiprofessor Allan Niidult.

Võtmesõnad: Põlevkivi, Põlevkiviõli, Kütus, Laev, Mootor, Eesti Energia, VKG, väävel, tuhk, viskoossus

Sissejuhatus

Laevanduse ajaloo üheks suuremaks osaks ja olulisemaks temaks on kütus. Tänapäeval on see aga eriti aktuaalne, kuna alternatiivseid energiaallikaid otsitakse üle maailma väga aktiivselt, sealhulgas ka laevanduses. Käib võitlus keskkonnareostuse vähendamiseks, vähendades omakorda kütuse põlemisel tekkivaid kahjulikke heitmeid.

Kõik kasutatavad kütused on maakera varudest ammutatud fossiilid ja üks neist fossiilidest on kiltkivi, mille üks liikidest on põlevkivi, mida kaevandatakse ka Eestis. Eesti põlevkivitööstus on üks Eesti mõjukamatest tööstusharudest, mis on tähtis nii riigi energeetika põhivarustajana kui ka otsese ja kaudse tööandjana. Põlevkivi kasutatakse Eestis eelkõige elektri tootmiseks, kuid sellest valmistatakse ka põlevkiviõli ning keemiatooteid. Eestis toodetud põlevkiviõli saab kasutada laevakütuse tootmiseks, mis võib aidata nii põlevkivi kaevandamise arendamisel kui ka riigi majanduse edendamisel. Põlevkiviõli saab kasutada lisandina nii raske kütteõli kvaliteedi parandamiseks kui kütuse enda loomiseks. Teadaolevad õlivarud, mis peituvad maailma põlevkivivarudes, on umbes 6050 miljardit barrelit. Seda on mitmekordselt rohkem, kui toornafta varusid ja seetõttu võib oletada, et põlevkivist võib saada üks levinumaid kütuseliike.

Antud töös käsitletakse järgmisi teemasid: põlevkivi tootmise ja töötlemise meetodid, põlevkivi kasutusala, põlevkivist saadavad kütuseliigid. Käsitletakse ka põlevkivikütuste standardiseerimist, omadusi, võrdlust naftakütustega, põlevkivi kütuse kokkusobivust olemasolevate laevamootoritega ning kuidas põlevkivi ja põlevkiviõli mõjuvad keskkonnale ning laevakütusele.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on autor püstitanud järgmisi uurimisküsimusi:

Kas põlevkivist toodetud kütused saavad asendada naftakütuseid?

Kas põlevkivikütused on keskkonnale kahjulikumad või sõbralikumad, kui olemasolevad naftasaadused?

Milliste naftast toodetud kütustega oleks põlevkivikütus kõige sarnasem?

Põlevkivikütuste kasutamiseks vajalikud laeva mootorite modifikatsioonid.

Käesoleva töö kirjutamiseks kasutati kirjalikke materjale põlevkivi, selle kaevandamise ja kasutamise teemadel, uuriti erinevate ekspertide uuringuid. Läbi viidi intervjuud

põlevkivikütuse kaevandamise, tootmise ja müügiga tegelevate ettevõtete ning punkerdamisettevõtete spetsialistidega. Samuti kasutas autor praktika käigus saadud teadmisi. Töö lõpus teeb autor töö käigus saadud andmete põhjal järeldused ning vastab püstitud küsimustele.

Uurimismetoodika

Antud lõputöö uuritavaks objektiks on põlevkivist toodetud kütus laevanduseks. Teema on väga aktuaalne, kuna üle maailma otsitakse aktiivselt alternatiivseid energiaallikaid, sealhulgas ka laevanduses.

Lõputöö koostamiseks kasutas autor erinevaid andmete kogumise viise ning analüüsimeetodeid. Töö kirjutamiseks kasutas autor kirjalikke materjale põlevkivi ja selle kaevandamise ning kasutamise teemadel, uuris erinevate ekspertide uuringuid. Kasutas erinevaid internetiallikaid, raamatuid ning aastaraamatuid. Samuti viis läbi intervjuud põlevkivikütuse kaevandamise, tootmise ja müügiga tegelevate ettevõtete ning punkerdamisettevõtete spetsialistidega. Läbis praktika Inspectorate Estonia AS – part of Bureau Veritas Group ettevõttes, kus sai laevakütuse kohta teadmisi, mis olid kasulikud käesoleva töö oluliste järelduste tegemiseks.

Kuna Eesti põlevkivitööstus on üks Eesti mõjukamatest tööstusharudest, valis autor intervjuuks ka põlevkivitööstuse mõjukamaid ettevõtteid ehk Eesti Energia ja VKG. Autor võttis nende kontaktidega ühendust, kuid paraku vastas nendest vaid Eesti Energia ja pakkus intervjuud tehnilise spetsialistiga, kes omakorda töötas ka VKGs. Samuti oli ülesandeks uurida küsimust teiste kütuseliikidega tegelevate ettevõtetega ning koostööks tuli vastu Arte Bunkering OÜ.

Lõputöö kirjutamise ajal sai autor teada Põlevkivi Kompetentsikeskuse olemasolust. Ida-Virumaal on põlevkivi süsteemselt uuritud 1958. aastast. Kohtla-Järve Põlevkivi Instituudi teadustegevuse järglasena töötab TalTech Virumaa kolledžis kütuste tehnoloogia teadus- ja katselaboratoorium. 25. jaanuaril 2011 loodi selle labori baasil TalTech Virumaa kolledži struktuuriüksusena Põlevkivi Kompetentsikeskus (Põlevkivi kompetentsikeskus).

Lisaks huvitas Lõputöö kirjutamisel autorit põlevkivi tootmisettevõtetega mitteseotud spetsialistide arvamused ning sellest tulenevalt võttis ta intervjuu Põlevkivi Kompetentsikeskuse abiprofessori Allan Niidult.

Lõputöö koostamisel võttis autor kokku kolm intervjuud. Kriteeriumid, mille alusel valiti ettevõtted intervjuudeks, on:

- Ettevõttel on põlevkivikütusega tegelevad spetsialistid.
- Ettevõtte, mis tegeleb põlevkivikütuse ning selle kaevandamisega.
- Ettevõtte, millel on kogemus põlevkiviõli kasutamises kütuselisandina.

Intervjuud toimusid Teams'i keskkonnas ja e-kirjade kaudu. Igale spetsialistile esitas autor erinevad intervjuuküsimused, kuna nende valdkonnad on samuti erinevad (vt Lisa 1, Lisa 2, Lisa 3). Uurimisküsimused on seotud lõputöö eesmärgi ja uurimisülesannetega. Intervjuu küsimused on seotud põlevkivist toodetud kütustega, nende spetsiifikaga ning omadustega, mille põhjal saaks ka võrdlusi teha. Spetsialistide vastuste põhjal tehti järeldused, mille abi autor kirjutas oma lõputöö. Arvamused olid küll erinevad, kuid intervjuu Allan Niiduga aitas siiski otsusele jõuda.

1 Põlevkivi

1.1 Kiltkivi

Tänapäeval on olemas palju erinevaid looduslikke kiltkivide liike. Kivide erinevus seisneb mitte ainult nende värvide variatsioonid, vaid peamiselt nende mineraalkoostises, kivide kujunemises ning struktuurilises ehitises. Kiltkivi värv sõltub just mineraalide kontsentratsioonist tema koostises.

Erinevad kiltkivide liigid:

Savikilt – selle koostises domineerib kloriid ja mikrovilgukivi. Omadused: ei ole vastuvõtlik vee poolt hävitamisele.

Ränikilt – koostises domineerivad kvarts ja kaltsedon. Omadused: moodustab õhukesed ja üsna tihedad musta, halli ja tumerohelist värvi lehed.

Vilkkilt – koosneb peamiselt kvartsist ja vilgust. Omadused: kristalne "habras" struktuur.

Põlevkivi – koosneb erinevatest mineraalidest ja orgaanilisest ainest. Omadused: kergestisüttiv, keskmise tihedusega.

Seega on kiltkivi mineraalide rühm, mis sisaldab mitmeid sarnaste omadustega kivimeid.

Töö uurimisobjektiks on võetud põlevkivi. Põlevkivi on orgaanilise päritoluga settekivim, mis peamiselt koosneb mitteorgaanilisest osast (mineraalid) ning orgaanilisest osast (kerogeen). Kerogeen on üks tahkete fossiilkütuste tüüpidest. Põlevkivi orgaanilise ehk põleva osa moodustavad süsinik ja vesinik, samuti hapnik ja lämmastik ning vähemal määral fosfor ja kloor. Põlevkivi põletamisel jääb järele ligi 55% tuhka. Välimuselt on põlevkivid kihilised, harvem tihedad, massiivsed, mõnikord kooruvad erinevat tooni tumehallideks või pruunideks kivimiteks. Süütamisel põlevad nad suitsuse leegiga. Põlevkivid on levinud üle kogu maakera ja moodustavad suure paksuse ja pikkusega leiukohad (kihid ja läätsed). Need leiukohad omavad erinevaid geoloogilisi vanuseid – kambriumist neogeenini. (Энергохимическое использование горючих сланцев,; Геология месторождений угля и горючих сланцев, 1978, 1-12)

Eesti põlevkivi ehk kukersiit on Balti põlevkivibasseinis esinev pruunivärviline põlevkivi. Oma nime sai ta Ida-Virumaal asuvast Kukruse külast, kust põlevkivi leiti. Kukersiidi põhikomponendid on kerogeen (orgaaniline aine) ja kaltsiumkarbonaat – üks tahketest põlevatest mineraalidest. Kukersiidi leiukohad Eestis moodustavad 1,1% maailma põlevkivivarudest. Põlevkivi on seal tekkinud umbes 450 miljonit aastat tagasi madalas, soojas ning soolases meres. Soodsatel aastatel settisid põhja vetikakihid, mis segunesid savi ja lubjarikaste mineraalidega. Läänemere basseini maardlates kaevandatakse kõrge kerogeeni sisaldusega kukersiiti. Kukersiidi põlemissoojus on 12,6–13,4 MJ/kg, väävlisisaldus ca 1,5% (mass). Sellest saadava vaigu saagis ulatub 22-24% (massi järgi). Esmane vaik sisaldab palju fenoole (kuni 28%), umbes 30% süsivesinikke, 35% neutraalseid hapnikku sisaldavaid ühendeid ja 2–3% asfalteene. Vaigu süsivesiniku osa koostises on umbes 30% olefiinide poolt. (Põlevkivi, 2020)

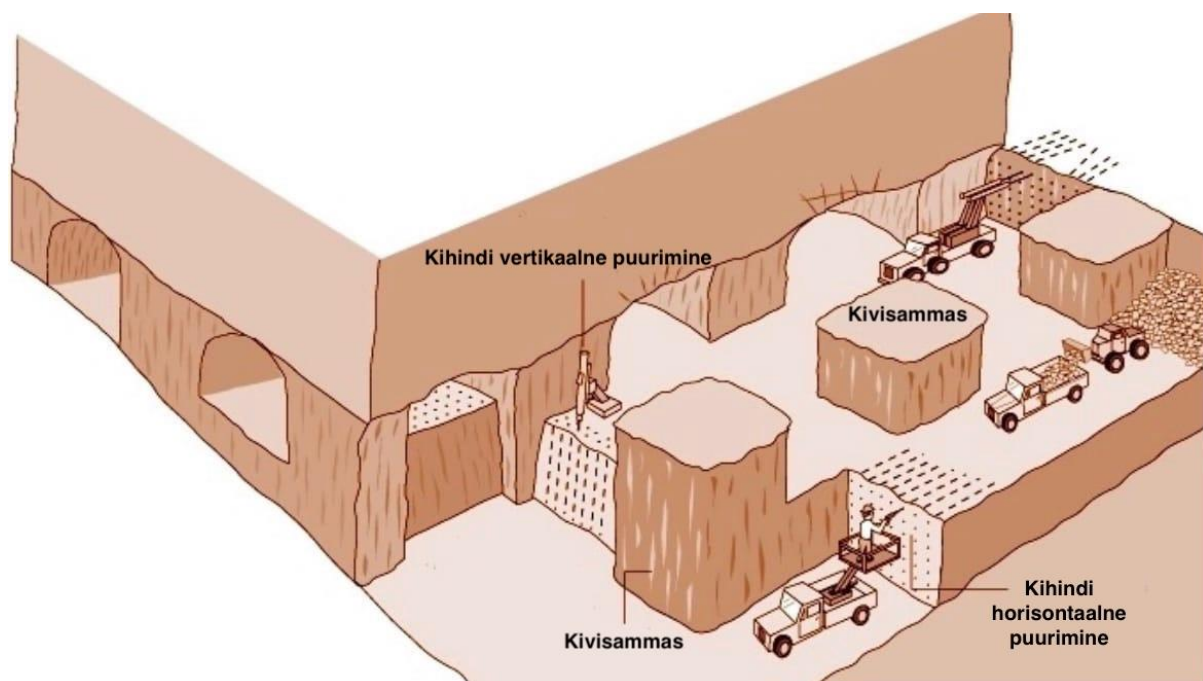
1.2 Kaevandamine

Põlevkivi kaevandamine jaguneb Eestis kahe põhimeetodi vahel: pealmaakaevandamismeetod ja allmaakaevandamismeetod.

Pealmaakaevandamismeetodi korral toimub põlevkivi kaevandamine karjäärides, kasutatakse transport- ja vaalkaevandamise tehnoloogiaid. Esimene etapp on ettevalmistus, mille käigus tehakse planeerimis- ja ettevalmistustöid, näiteks metsade raadamist ja vee kuivendamist. Järgmise sammuna eemaldatakse katend – selleks kasutatakse ekskavaatoreid, draglaine ning lõhkumistöid. Edaspidine töö võib toimuda kahel erineval viisil: esimesel tehnoloogial toimub

põhikihi kobestamine puurlõhketöödega, kobestatud mäemass laetakse kopplaadurite, ekskavaatorite või mehaaniliste labidatega kalluritele ja transporditakse purustus-sortimissõlme ning sealt vajaduse korral edasi rikastusvabrikusse. Teine meetod on enam kasutatav ning kaevandamine toimub selektiivselt ehk põhimõttel, et põlevkivikihindist väljatakse eraldi kvaliteetsemad põlevkivikihind. Selle meetodi puhul kasutatakse buldoosereid, mis kobestavad pinda ja väljastava kihi paksus on hästi kontrollitav. Kobestatud kaevis laetakse puisturi või kopplaaduritega kalluritele. Seejärel toimub kaevis transportimine purustus-sortimiskompleksi. Pärast kaevandustööde lõpetamist teostatakse rekultiveerimistööd, mis jagunevad tehnoloogilisteks ja bioloogilisteks. Tehnoloogilise rekultiveerimise käigus tasandatakse kaevandamisel tekkinud vallid ja valmistatakse ette pinnas bioloogiliseks rekultivatsiooniks. Bioloogilise rekultiveerimise käigus toimub metsa istutamine vastavalt rekultiveerimisprojektile. (Tootmine, 2022)

Teiseks põhimeetodiks on põlevkivi allmaakaevandamine, see meetod on palju keerulisem ja kulukam ning vajab rohkem uuringuid, kvalifitseeritud spetsialiste ja põlevkivikaevude loomist. Samuti on see meetod vähem keskkonnasõbralik võrreldes põlevkivi pealmaakaevandamisega. Põlevkivi kaevandamine toimub kamberkaevandamisviisil. Joonisel nr 1 on näidatud, kuidas sellel meetodil põlevkivi kaevandatakse.



Joonis 1. Kaevandamine (Allikas: Методы разработки подземным)

Põlevkivikihindit raimatakse puur-lõhketöödega, mille tulemina tekivad 7–8 m laiused piki- ja põikikambrid. Seejuures on ühe lõhkamise samm ehk kaeveõõne ettenihe 1,8 või 4 m.

Lõhatava kihi paksus ehk kaeveõõne lae kõrgus sõltub vahetu lae ehk lasuva kihindi püsivusest ja kaeveõõne kapitaalsusest ehk kasutusajast. Kasutatakse nii madalat ehk ~2,8 m lage kui ka kõrget ehk ~3,8 m lage. Viimast kasutatakse kapitaalkaeveõõntes, kus tuleb tagada lagede pikaajaline stabiilsus. Kamberkaevandamisel võib sageli esineda laekivmite varinguid, mille põhjuseks on kivimikihtide vaheline nõrk kontakt. Kambrite vahele jäävad ruudustikuna tervikud (neid nimetatakse ka tulptervikuteks), mille külje pikkused on vahemikus 6–7 m ja garanteeritud püsivus viis aastat. Kapitaalkaeveõõsi nagu paneelstrekke piiravad linttervikud, mille püsivus on arvutuslikult igavene. Kambrite ja tervikute täpsed mõõtmed sõltuvad kaevanduse sügavusest, lae kõrgusest ja puur-lõhketöödel kasutatavast ettenihke pikkusest. Puur-lõhketöödega kobestatud mäemass laetakse kopplaaduritega kambriplokis olevale kraapkonveierile, mille järel toimub materjali esmane purustamine. Purustatud materjal suunatakse edasi lintkonveierile, mida mööda toimub transport šahtiõues olevasse kogumispunkrisse. Kogumispunkrist transporditakse kaevis kaldkonveieriga maapinnale, kust materjal suunatakse vajaduse korral edasisele rikastamisele. Eestis on avatud viis põlevkivikaevandust; kolm on pealmaakaevandused ja kaks on allmaakaevandused. Kaevandused kuuluvad kolme ettevõttele: Eesti Energia AS, Viru Keemia Grupp, Kiviõli Keemiatööstus. Eesti Energia ettevõttele kuulub Estonia kaevandus ja Narva karjäär. Viru Keemia Grupp omandab Ojamaa kaevandus. Kiviõli Keemiatööstusele kuulub Põhja-Kiviõli karjäär.

1.3 Kasutamine

Põlevkivi kasutatakse laialdaselt energeetikas, elektri ja kütte tootmiseks, samuti bensiini- ja olmegaasitööstuses ning mitmete keemiatööstuse ainete tootmisel. Aromaatsed süsivesinikud, benseen, koks, liimid, plastid, sünteetilised parkained, herbitsiidid, bituumen ja isegi ravimid sisaldavad põlevkivist saadud aineid. Põlevkivivaik tagab suurepärase kaitse korrosiooni eest, on heade isoleerivate omadustega, tagab materjalide usaldusväärse sidumise ning seda kasutatakse ka keemilise väetisena. (Горючие сланцы: свойства, способы добычи и переработки, 2020)

Tabelis nr 1 on näha, milliseid tooteid ja millistes kogustes 1980. aastal põlevkivist toodeti.

Tabel 1. Eestis kasutati 1980. aastal tootmiseks põlevkivi

(Allikas: Горючие сланцы и окружающая среда, 2003)

Toote:	Maht, tuhat tonni
Kogu vaik	680
Põlvkiviõli	215
Puidu immutamise õli	165
Keemiline leevendav ravim "Nerozin"	130,8
Bituumen-keedusoola mastiks	713
Pigikoks	42,6
Alküülresortsinoolid	6,3
Liimivaigud	15,1
Kummi pehmedajad	2,6

2 Põlevkivi kütus

Huvi põlevkivikütuse vastu ei tulene mitte ainult traditsiooniliste energiaressursside ebahühtlasest jaotumisest maailmas ning nende allikate kiirest ammendumisest, aga ka suurest hulgast uuritud põlevkivivarudest maapõues.

Ekspertide hinnangul on maailma põlevkivi koguvarud umbes 650 triljonit tonni, millest saab toota kuni 26 triljonit tonni põlvkiviõli, mis on omakorda rohkem kui kolmteist korda suurem tõestatud naftavarudest. Sellest põlvkivikütuse varude kogusest võib piisata ligikaudu kolmesaja aasta jooksul pidevaks kasutamiseks. “Järgmiste 20-30 aastate jooksul kasvab nõudlus põlvkiviõli järele ülemaailmsel laevakütuste turul, kuna turg kasvab ja mittefossiilsete kütuste kasutuselevõtuks pole elujõulisi alternative” ütles Viru Keemia Grupi tehnikadirektor Meelis Eldermann. Erinevalt elektritootmisest on põlvkiviõlil selge potentsiaal laevakütusena ja kõrge lisandväärtus. Põlvkivikütus on süsivesinikkütus, mis on valmistatud orgaanilisest toorainest, peamiselt reeglina taimeorganismide jäänuste transformatsiooni saadustest. Põlvkivi süsivesinikke saab kasutada nafta või maagaasi alternatiivina. Põlvkivikütus võib olla vedelas, gaasilises või tahkes olekus. Põlvkiviõli on kergesti süttiv viskoosne vedelik ning on üks sünteetiliste vedelkütuste liigist.

Põlvkiviõli ja -gaasi saab põletada suure kasuteguriga kateldes. Põlvkivi töötlemise energotehnoloogialane protsess seisneb selles, et toorpõlvkivi hermeetiliselt lagundatakse

spetsiaalsetes aparaatides ja tulemuseks saaks kõrge väärtusega põlevkiviõli, gaas ja paljud keemiatooted. (FOBAS Alert: Estonian Shale Oil in VLSFO fuels from ARA, 2022)

2.1 Põlevkiviõli

Põlevkiviõli on teatud tüüpi õli, mida saab ekstraheerida põlevkivist kerogeeni kuumutamise ja täiustamise teel. Kiltkivi, millest saab õli hankida, sisaldab suures koguses kerogeeni ja seda tuntakse põlevkivina. See kerogeeni sisaldav põlevkivi on põhiliselt nafta või maagaasi eelkäija, kuna suurenenud rõhu võib sellest lõpuks saada nafta või maagaas. Erinevate maardlate põlevkivist saadud põlevkiviõlid võivad omada täiesti erinevaid omadusi. Neid omadusi mõjutavad kaks tegurit: põlevkivi asukohad ja põlevkivi töötlemisviis.

Maailma erinevatest paikadest pärit põlevkivid sisaldavad ka erineva struktuuriga orgaanilisi ühendeid. Eelkõige viitab põlevkiviõlis leiduvate väiksemate komponentide, nagu väävli ja lämmastiku, hulk esialgse orgaanilise aine mõningasele erinevusele. Temperatuur ja muud töötlemistingimused mõjutavad oluliselt põlevkiviõli iseloomu. Üldiselt, mida kõrgem on destilleerimistemperatuur, seda rohkem õli sisaldab aromaatsed süsivesinikud, veel sisaldab see mineraalosakesi ja metalle.

Põlevkivikütteõli eelised nafta kütteõli ees on madal viskoossus ja hangumispunkt ning madal väävlisisaldus. Põlevkiviõli moodustumine algab samamoodi nagu naftaõli moodustumine, kuid selle käigus on protsess veidi erinev. Pärast seda, kui väikesed veeorganismid, nagu fütoplankton ja zooplankton, surevad ja setete alla kihistuvad, alluvad säilmed kõrgetele temperatuuridele ja gravitatsioonilisele rõhule. Temperatuuri ja rõhu mõjul saadakse põlevkiviõli. Intervjuust Eesti Energia spetsialistiga sai autor teada, et põlevkiviõli kasutatakse laevanduses rohkem kui muud tüüpi põlevkivikütust. Sellega seoses pöörab autor oma töös suurt tähelepanu just seda tüüpi kütusele ning kirjeldab ka teisi kütuseid nagu põlevkivimasuut ja põlevkivigaas.

2.2 Põlevkivi masuut

Põlevkivi masuut on heterogeense mahuga põlev vedelik, mis on segu kõrgmolekulaarsetest süsivesinikühenditest, mis on keemilise koostise ja struktuuri poolest sarnased traditsioonilise naftaga. Reeglina on põlevkivi masuut vaiguühendite jääkfraktsioon, mis saadakse põlevkivi termilisel töötlemisel gaasigeneraatorites, kamber- ja tunnelahjudes. Põlevkiviõli orgaanilise

osa aluseks on kerogeen, mille kogus võib varieeruda 10 protsendist kuni 70 protsendini. Põlevkivi masuudi füüsikalised ja keemilised omadused jäävad F-5 laeva kütteõli (GOST 10585-99) ja mootorikütuse (GOST 1667-68) vahepeale. Uuringute tulemuste põhjal oli tehtud järgmised järeldusi:

Põlevkivi masuut on üks süsivesinikkütuse liigist.

Põlevkivi masuudi spetsiifilised omadused erinevad sarnaste traditsiooniliste naftakütuste omadustest, mida tuleb kindlasti arvesse võtta tehniliste süsteemide projekteerimisel ja moderniseerimisel ning nende süsteemide kasutamisel.

Põlevkivi masuudi kasutamine kütteõli põletamiseks mõeldud katlajaamades vähendab oluliselt jaamade efektiivsust.

Põlevkivi masuut on ökoloogiliselt puhtam kui sarnased naftatooted.

Võrreldes traditsioonilise naftatootega on põlevkivi masuut plahvatus- ja tuleohtlikum.

Põlevkivi masuudi kasutamise efektiivsust on võimalik tõsta vähemalt kahe suuna rakendamisega, nimelt:

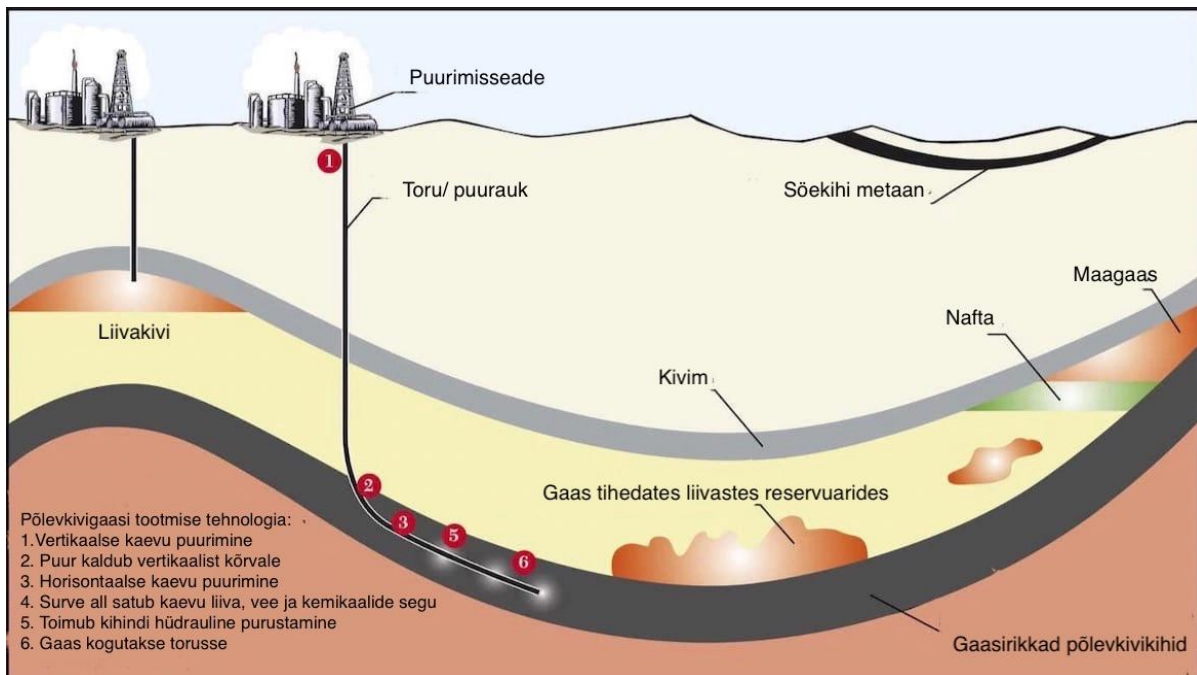
uute tehnoloogiliste protsesside sisseviimine olemasolevasse (traditsioonilisse) kütuse ettevalmistamise tsükliks, näiteks reaktiiv-kavitatsiooniprotsess, mis keskmistab koostise ja jaotab vett ühtlaselt kogu põlevkivi kütuse mahu ulatuses;

põlevkivi masuudi efektiivseks põletamiseks võimeliste kütusepõletuskomplekside arendamine ja loomine.

(Способно ли сланцевое топливо заменить традиционные углеводородные горючие, 2013)

2.3 Põlevkivi gaas.

Põlevkivigaas, mis koosneb peamiselt metaanist, on põlevkivist eralduv gaasiline aine. Maa soolestikus leidub põlevkivigaasi väikestes kogustes, seetõttu on selle tööstuslikes mahtudes saamiseks vaja tohutuid territooriume. Põlevkivigaasi tootmisel kasutatakse puurimist, mitmeastmelist hüdraulilist purustamist ja seisilist modelleerimist. Sarnast tootmistehnoloogiat kasutatakse ka söekihi metaani tootmiseks. Põlevkivigaasi leidub väikestes kontsentratsioonides (0,2–3,2 miljardit m³/km²), mistõttu tuleb selle gaasi tootmiseks puurida suuri alasid. (Способно ли сланцевое топливо заменить традиционные углеводородные горючие, 2013)



Joonis 2. Põlevkivigaasi tootmin

(Allikas: Что такое сланцевый газ, 2018)

Hüdrauliline purustamine on põlevkivigaasi eraldamiseks kasutatav protsess. Põlevkivisse puuritakse süvakaevusid ning pärast puuritakse ka horisontaalselt, et saada rohkem gaasivarusid, kuna põlevkivivarud jaotuvad tavaliselt nii horisontaalselt kui vertikaalselt.

Purustamisvedelikud, mis sisaldavad liiva, vett ja kemikaale, süstitakse seejärel kõrge rõhuga puuritud kaevudesse, et avada kivis olevaid murde, võimaldades lõksu jäänud gaasil voolata läbi murdude reservuaari aukudesse. Sealt saadetakse see kommertskasutusse. Põlevkivigaasi kaevandamise efektiivsuse tegurid on palju madalamad kui tavalise gaasi puhul. Põlevkivigaasi kaevu eluiga on 8-12 aastat. Samas võib traditsioonilises gaasimaardlas kaevu kaitada 30-40 aastat. Põlevkivigaasi sünergilised omadused, mis seisnevad tooraine päritolu ja selle biotaastuvuse kombinatsioonis, annavad sellele energiaressursile kindlasti olulise konkurentsieelise, kuid põlevkivigaasi mõju turule on üsna vastuoluline ja nõuab analüüsi, mis põhineb selle omaduste üksikasjalikul süstemaatilisel ülevaatel. Põlevkivigaas on keskkonnasõbralik kütus, mistõttu selle põletamisel eraldub atmosfääri vähem süsihappegaasi kui kivisöe põletamine. Järelikult ei erine põlevkivigaas pärast kaevandamist maagaasist, mis omakorda tähendab, et seda kasutatakse maagaasiga samadel eesmärkidel ehk peamiselt kütusena. Ameerika Ühendriikides, kus seda enim toodetakse, kasutatakse põlevkivigaasi

peamiselt kodumajapidamiste kütusena, linnades, mis asuvad kaevanduskohtadest lühikese vahemaa kaugusel, kust saab seda madalsurve gaasitoru kaudu transportida.

Põlevkivigaasi tootmisel on mitmeid eeliseid: selle arendamine on lubatud suure rahvaarvuga piirkondades; gaasi toodetakse üsna kiiresti, samas kui kasvuhoooneefektist tulenevad kaod praktiliselt puuduvad; gaasitootmine loob uusi töökohti kõrgete paljadega. Põlevkivigaas on alternatiivne kütuseliik, mis võimaldab soojusenergiat saada keskmagistraalidest mööda minnes. See võimaldab varustada kütust riigi kõige kaugematesse piirkondadesse ilma neid keskmagistraalitega ühendamata. Põlevkivigaasi, nagu iga maagaasi, saab kokku suruda, kuid suure süsinikdioksiidi koguse tõttu raskendab see protsessi, mis suurendab selle maksumust.

2.4 Tootmismeetodid

Töötlemiseks tarnitav tooraine peab olema peeneteraline, kuna selliste toorainete töötlemisel on suurte tükkide töötlemise ees suured eelised. See säästab aega ja raha tänu madalatele tooraine ettevalmistuskuludele. Tabel 2 näitab põlevkivi kvaliteedinorme nagu kuiva kütuse põletamise soojus, madala töö kütuse põletamise soojus, niiskuse sisaldus, tuhasisaldus, väävlisisaldus, orgaanilise aine sisaldus, süsinikdioksiidi sisaldus ja lenduvad ained.

Tabel 2. Põlevkivi kvaliteedinormid

(Allikas: Технология переработки сланца в установке с твёрдым теплоносителем, 2019)

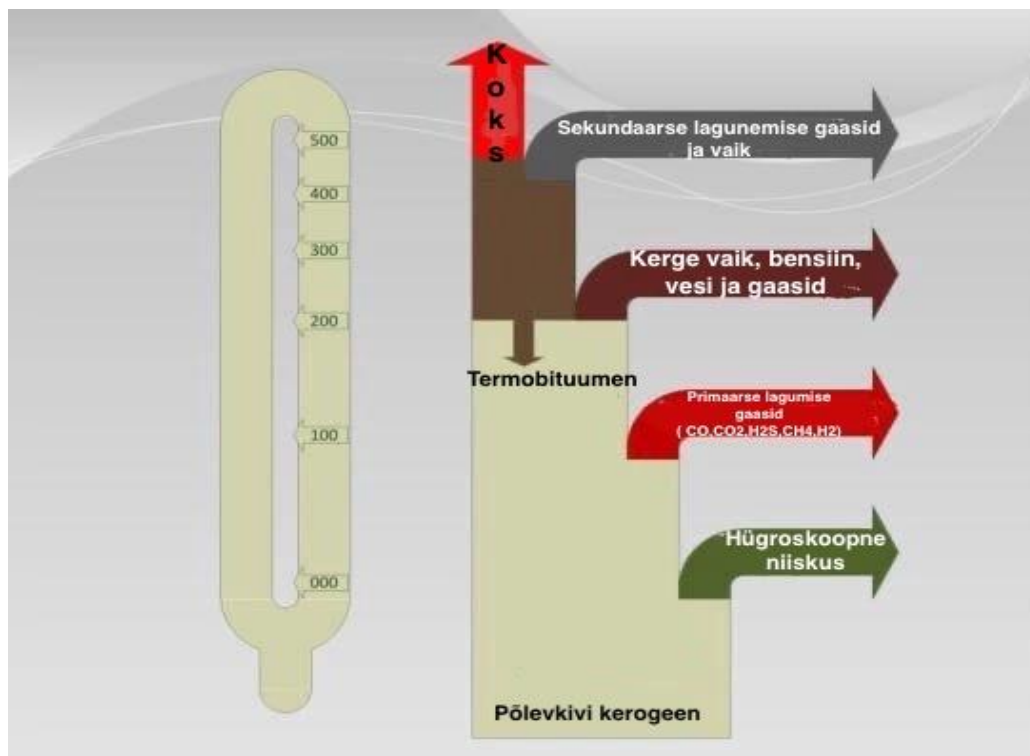
Kuiva kütuse põletamise soojus	2850 kkal/kg
Madala töö kütuse põletamise soojus	1869 kkal/kg
Niiskuse sisaldus	14%
Tuhasisaldus	53%
Väävlisisaldus	1,9%
Orgaanilise aine sisaldus	25%
Süsinikdioksiidi sisaldus	25%
Lenduvad ained	42%

Põlevkivi töötlemine vedelateks toodeteks on pika ajalooaga. Esimene patent põlevkivist tõrva, vaigu ja õli eraldamise meetodi kohta väljastati Inglismaal M. Ilule juba 1694. aastal. 1850. aastal pakkus iirlane D. Young välja põlevkivi kuivdestilleerimise protsessi, mis on tänapäevani jäänud peamiseks põlevkivi töötlemise meetodiks. Erinevatel perioodidel kasutati põlevkivi paljudes riikides nii energiakütusena kui ka vedelate toodete allikana. Kuid eelmise

sajandi keskpaigaks säilis põlevkivitööstus iseseisva majandusharuna vaid NSV Liidus ja HRVs. Põlevkivi destilleerimisel toimub kerogeeni termiline lagunemine koos vaigu, gaasi ja süsinikujäägi moodustumisega. Samas määrab lenduvate ainete saagise põlevkivi orgaanilise massi sisaldus ja elemendiline koostis. Orgaanilise aine vaigu saagis võib erinevate kildade puhul varieeruda 18-65%. Põlevkivi töötlemise protsessid jagunevad maapealseteks ja maa-alusteks.

Maa-aluse töötlemise meetod toimub reservuaaris plahvatuse abil. Seejärel põlevkivi süüdatakse ühes või mitmes kaevus. Nendesse kaevudesse pumbatakse õhku, mis toetab põlemist ja transpordib kuumi gaase, mis on tekkinud põlemise tõttu. Veehoidlas toodetud põlevkivivaik kaevandatakse maapinnale teiste kaevude kaudu. Maa-aluse destilleerimise meetod väldib raskusi ja kulusid mis tekkivad tüüpilise maapealsel töötlemisele, samuti võimaldab selline meetod loobuda suurte paigaldiste ehitamisest maapinnal. Puuduseks on see, et selline meetod reostab põhjavett.

Maapealne avakaevandamine võimaldab kaevandada rohkem põlevkivi kui maa-alune meetod. Pinnale eraldatud põlevkivi läbib termilise destilleerimise spetsiaalsetes aparaatides. Destilleerimine toimub tavaliselt atmosfäärirõhul, kuna rõhu suurendamine vähendab vaigu väljumist, mis toimub tänu gaasitoodangu kasvule. Protsessi läbiviimisel hoitakse temperatuuri vahemikus 450–550°C. (Получение топлив из природных битумов и горючих сланце, 2022)



Joonis 3. Pürolüüs

(Allikas: Стадии термического разложения горючего сланца)

Intervjueerides Eesti Energia tehnilist juhti, uuris autor välja, kuidas ja mille abil saadakse põlevkiviõli. Eestis saadakse põlevkiviõli pürolüüsi abil. Pürolüüs on aine muundumine kõrgel temperatuuril ilma õhuta. Töötlemise põhieesmärk on vedelate põlevkiviõlide ja põlevkivigaasi saamine, mis tekivad pürolüüsi tulemusena. Pürolüüsi käigus saadakse põlevkiviõli, gaasiturbiinikutust, põlevkivibensiini ja poolkoksigaasi.

Läänemere põlevkivi töötlemine toimub kahte tüüpi agregaatites: vertikaalses kamberahjus ja šahtgaasigeneraatoris, mis on mõeldud tükilise põlevkivi kasutamiseks (tükide suurus: 25–125 mm.) 1981. aastal anti kommertskasutusele uue põlvkonna automatiseeritud kahevõllilise gaasigeneraatori prototüüpi, mille põlevkivi töötlemise võimsus on 1000 tonni ööpäevas. Põlevkiviõli keemiline koostis varieerub sõltuvalt keemistemperatuurist.

Tabel 3. Põlevkiviõlist saadud toodete fraktsioonid

(Allikas: Технология переработки сланца в установке с твёрдым теплоносителем, 2019)

Fraktsiooni nimed	Keemistemperatuur
Bensiini	Kuni $t = 200'$
Gaasiturbiini kütus	Kuni $t = 300'$
Keskmise raskusega õli	Kuni $t = 350'$
Raske õli	Kuni $t = 350'$

Põlevkiviõli fraktsioneerimisel ja segamisel toodetakse erineva klassi põlevkivikütteõlisisid, mis on süsivesinike segu, mis keevad laias temperatuurivahemikus. (vt. Tabel 3) Põlevkiviõlid segunevad hästi raske masuudiga. Põlevkivikütteõli peamiseks ja oluliseks eeliseks nafta kütteõlidega võrreldes on:

madalam viskoossus ja hangumistemperatuur;

madal väävli- ja mehaaniliste lisandite sisaldus;

koksistamise võimalus;

madal raskemetallide sisaldus ja vanaadiumi praktiline puudumine;

segamine reeglina ei ole seotud raskustega katlaseadmete ladustamise ja töötamise ajal.

Põlevkivigaasi saadakse kahel viisil: esimene on põlevkiviõli tootmisel tekkiv põlevkivigaas ja teine on kaevandusmeetod. Põlevkivigaasi tootmine hõlmab horisontaalset puurimist ja hüdraulilist purustamist. (Способ безотходной переработки горючего сланца, 2017)

2.5 Põlevkiviõli kasutamine

Enne II maailmasõda täiustati suurem osa põlevkiviõli transpordikütusena kasutamiseks. Hiljem on seda kasutatud keemiliste vahesaaduste, tööstusvaikude toorainena, ja ka raudteepuidu kaitseainena. (Основные черты развития сланцеперерабатывающей промышленности в Эстонии, 2013)

Alates 2008. aastast kasutatakse seda kütteõlina, laevakütusena ja vähemal määral ka mitmesuguste kemikaalide tootmisel. Kõrge keemistemperatuuriga ühendiga põlevkiviõli kontsentratsioon sobib keskmiste destillaatide tootmiseks nagu petrooleum, lennuki petrooleum ja diislikütus. Täiendav krakkimine (nafta või naftafraktsioonide destruktiivne töötlemine kõrgel temperatuuril kergete fraktsioonide saagise suurendamiseks või kvaliteedi parandamiseks) võib tekitada kergemaid süsivesinikke, mida kasutatakse bensiinis. (Сборник студенческих научных работ, 2017)

Peamised põlevkiviõli tarbijad on soojuse tootjad, energiaettevõtted, ettevõtted, mis tegelevad teedehituse ja põllumajandusega ning ka laevakütuste tootjad ja müüjad. „Praegu eksporditakse põlevkiviõli ülemaailmsele laevakütuste turule, ja laevanduses ei ole kliimaneutraalseid alternatiive...” ütles VKG peajuht Ahti Asmann intervjuus uudisteportaale ERR. (Innervjuu VKG peajuhhi Ahti Asmanniga, 2021)

Autor sai teada intervjuust Eesti Energia spetsialistiga, et Eesti põlevkiviõli kasutatakse laialdaselt põlevkivi masuudi ja laevakütuse komponendina. Põlevkiviõli lisatakse raskematele masuutidele (masuut, mis vastab IFO 380). Läbiviidud intervjuus punkerdamise spetsialistiga kinnitab autor, et põlevkiviõli kasutatakse lisandina kütuses. Eksperti sõnul tehakse seda eesmärgiga, et parandada tema madalaid näite. See tööprotsess on just segamine, mis loob uut tüüpi naftasaadusi – segades teatud vahekorras ja teatud tingimustel. Seda tehakse selleks, et muuta kütust viskoossemaks ja vedelamaks ning väävliindeksi muutmiseks. Aga kui kasutada ISO spetsifikatsiooni poolt pakutud kütuse analüüsi, siis analüüs kütuse segunemist põlevkiviõliga ei näita, millega seoses tekkis vajadus määrata põlevkiviõli fraktsioonide iseloomulikke standardväärtusi.

„Vedelkütuseid segatakse sageli erinevatest komponentidest, mis võib mõjutada lõpptoote konkreetseid omadusi” selgitas Viru Keemia Grupi arendusjuht Indrek Aarna. Põlevkiviõlid

on REACH-määruse alusel juba registreeritud Euroopa Kemikaaliagentuuris, mis määratleb põlevkiviõlid raskesti tuvastatavate ainetena. „Seega määravad aine olemuse nii tooraine, põlevkivi kui ka tootmisprotsess. Igat uut, sellest erinevat toorainet täiendatakse erinevate omadustega täiendavate ainetega ja selliste lisaainete suhtes tuleks kohaldada ka uut REACH-registreerimist. Sama loogikat kasutati ka Eesti esialgse põlevkiviõli kui kütuse kvaliteedistandardi koostamisel“ lisas Aarna. (The original estonian standard for shale oil quality has been published, 2022)

2.6 Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemise standart

Standardiseerimise eelised väljenduvad toodete, protsesside, meetodite ja teenuste täiustamises, kaubandusbarjääride vältimises ja tehnilise koostöö edendamises. Tehniline komitee korraldab EVS/TK 57 „Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine” standardimise tehnilise komisjoni tööd, mis on asutatud 25.05.2015. Komitee eesmärgid on:

selgitada valdkonna standardimisvajadused ja ajakohastada olemasolevaid kehtivaid standardeid;

luua uusi algupäraseid standardeid;

jagada parimaid praktikaid tunnustatud ekspertidega.

Tehnilise komitee kaudu abistab keskus standardimisettevõtteid järgmistes küsimustes: tööstuse standardite koostamine ja tööruhmade loomine tehnilise komisjoni EVS/TK 57 juurde; standardite koostamine ja avaldamine; standardimise alase koostöö arendamine koos EVS-iga. Tabel 4 näitab standardeid, mis hõlmavad põlevkivi kaevandamise ja töötlemise tehnoloogiat, põlevkiviõli tootmist, põlevkivienergeetikat, põlevkivikeemiat ning aheraine ja jääkproduktide töötlemist.

Tabel 4. Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine EVS/TK 57

(Allikas: Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine, 2022)

CEN/TC 317	Sõe pürolüüsi tuletised
CEN/TC 335	Tahked biokütused
ISO/TC 27	Kivisüsi ja koks
ISO/TC 27/SC 1	Sõe ettevalmistamine: terminoloogia ja jõudlus
ISO/TC 27/SC 3	Koks
ISO/TC 27/SC 4	Provivõtt
ISO/TC 27/SC 4/WG 6	Sõekihtidest proovide võtmine
ISO/TC 27/SC 5	Analüüsi meetodid
ISO/TC 27/SC 5/WG 1	Niiskus, lenduvad ained ja tuhk
ISO/TC 27/SC 5/WG 10	Kivisõe plastilised omadused
ISO/TC 27/SC 5/WG 10	Mitmesugused meetodid
ISO/TC 27/SC 5/WG 2	Süsinik, vesinik, lämmastik, hapnik ja väävel
ISO/TC 27/SC 5/WG 7	Pruunsüsi
ISO/TC 27/SC 5/WG 8	Peamised, väiksemad ja mikroelemendid söes ja sõejääkides
ISO/TC 27/SC 5/WG 9	Juhised meetodite valideerimiseks
ISO/TC 28	Nafta ja sellega seotud tooted, kütused ja määrdeained looduslikest või sünteetilisest allikatest
ISO/TC 28/SC 2	Nafta ja sellega seotud toodete mõõtmine
ISO/TC 28/SC 4	Klassifikatsioonid ja spetsifikatsioonid
ISO/TC 28/SC 5	Külmutatud süsivesinike ja muude kui naftapõhiste veeldatud gaaskütuste mõõtmine
ISO/TC 82	Kaevandamine
ISO/TC 238 -	Tahked biokütused
ISO/TC 28/SC 7	Vedelad biokütused

2.7 Kütuse omadused

Erinevatest maardlatest põlevkivist saadavad põlevkiviõlid võivad olla täiesti erinevate omadustega. Neid omadusi mõjutavad kaks faktorit:

põlevkivi leiukoht

nende töötlemise meetod

Maailma erinevatest paikadest pärit põlevkivid sisaldavad erineva struktuuriga orgaanilist ainet. Eelkõige viitab põlevkiviõlis leiduvate väiksemate komponentide, nagu väävli ja lämmastiku, hulk esialgse orgaanilise aine mõningasele erinevusele. Temperatuur ja muud töötlemistingimused mõjutavad oluliselt põlevkiviõli iseloomu. Üldiselt, mida kõrgem on destilleerimise temperatuur, seda rohkem aromaatsaid süsivesinikke õli sisaldab. Põlevkiviõlide omadusi saab iseloomustada analüütiliste meetoditega, mida kaevandamisettevõtte nafta puhul kasutab.

Üks üksikasjalikumaid uuringuid põlevkiviõli kohta oli läbi viidud Kedy ja Seeligi poolt, kes näitavad oma uurimustes, et põlevkiviõli sisaldab 61% mittesüsivesinike komponente. Selle koguse molekulidest 30% sisaldavad igaüks ühte lämmastiku-, väävli- või hapnikuaatomit ja 70% sisaldavad kahte või enam heteroaatomit. Sellest järeldub, et 30% põlevkiviõli kõrgeima keemistemperatuuriga osa peab sisaldama sisuliselt mittesüsivesinike komponente.

Põlevkiviõli on kergestisüttiv viskoosne vedelik, mille avatud tiigli leekpunkt on 67°C, isesüttimistemperatuur 251°C, õli auru süttimistemperatuuri piirid: madalam 60°C, ülemine 99°C, aurude süttimise alumine kontsentratsioonipiir õhus 60°C juures 0,56% mahust ehk 38 g/m³. (Химия и химическая технология, 2022)

Põlevkivikütteõli proovid võetakse vastavalt GOST 2517. Kontrollprooviks võetakse 2,0 dm³ toodet. Kergeim fraktsioon, põlevkivibensiin, on tavaliselt see põlevkiviõli osa, mis destilleeritakse temperatuuril alla 200°C. Põlevkivibensiin sisaldab märkimisväärses koguses olefiine. Küllastumata süsivesinike suure hulga tõttu on põlevkivibensiin ebastabiilne ja läbib aja jooksul polümerisatsioonireaktsioone, moodustades vaigutaolise toote, mis sadestub. Esineb ka aromaatsaid ühendeid, sealhulgas fenooli ühendeid, kuid need ei ole põlevkivibensiinis nii levinud kui kütteõlis ja raskeõlis. Kukersiitpõlevkiviõli kõrgema keemistemperatuuriga osa koosneb suures osas aromaatsetest ühenditest, mis on enamasti

fenoolsed ühendid. (Vapor pressures of narrow gasoline fractions of oil from industrial retorting of Kukersite oil shale, 2020)

Põlevkivigaas on maagaasi liik, mis tekib maakera sügavustes anaeroobsete keemiliste protsesside tulemusena. On teada, et gaas võib olla kolmes olekus: gaasiline olek; kunstlikult veeldatud olek ja võib esineda ka looduslike kristalsete gaasihüdraatide kujul. Maa sooltes võib gaas kontsentreerida järgmistes kohtades: metaani kogunemine söekihtides, gaasimoodustised kihindi tingimustes, seotud gaas (propaani ja butaani segu) musta kulla hoiustega, kõvade liivade kihtkondades, põlevkivi kihtkondades, aga ka kristalsete gaasihüdraatidena merepõhja kihtkondades. Maagaas on omakorda gaaside segu, millest enamik kuulub metaanile, väiksem osa metaani homologidele ning rasketele süsivesinikele nagu etaan, butaan ja propaan. Maagaas sisaldab ka mittesüsinikuühendeid: vesiniksulfiid, vesinik, süsihappegaas, heelium, lämmastik. Igal gaasiväljal on unikaalne gaasikeemia, metaanil on kõige rohkem väljendunud kasvuhooneefekti põhjustavad omadused.

Laevade käitamise praktikas on sageli vaja lahendada konkreetse kütuse kasutamise lubatavuse ja majandusliku efektiivsuse hindamisega seotud küsimusi. Selleks on vaja teada kütuse omadusi ja nende mõju laeva mootorile selle töötamise ajal. Kõige olulisemate eksploatatsiooni omaduste hulka kuuluvad viskoossus, leekpunkt, fraktsioonkoostis, tihedus, veesisaldus ja hangumispunkt (vt. Tabel 5).

Tabel 5. Põlevkiviõli ja põlevkivibensiini füüsikalised katsed

(Allikas: LISA VKG Oil AS akrediteerimistunnistusele nr L106 ANNEX to the accreditation certificate No L106 of VKG Oil)

Määratav näitaja	Uuritav materjal	Metoodika
Füüsikalised katsed		
Kinemaatiline viskoossus	Põlevkiviõli	GOST 33-2016 EVS-EN ISO 3104:2000 ASTM D445-19a
Tinglik viskoossus	Põlevkiviõli	
Leekpunkt lahtises tiiglis	Põlevkiviõli	GOST 6258-85 ASTM D1665-20
Leekpunkt kinnises tiiglis	Põlevkiviõli	GOST 4333-2014 EVS-EN ISO 2592:2017 ASTM D92-18

Tabel 5. Järg

Fraktsioonkoostis	Põlevkiviõli, Põlevkivibensiin	GOST 6356-75 EVS-EN ISO 2719:2016 ASTM D93-20 (A, B
Tihedus	Põlevkiviõli, Põlevkivibensiin	GOST 2177-99 EVS-EN ISO 3405:2019 ASTM D86-20b
Veesisaldus	Põlevkiviõli, Põlevkivibensiin	EVS-EN ISO 12185:2000 ASTM D4052-18a
Hangumispunkt	Põlevkiviõli, Põlevkivibensiin	GOST 2477-2014 ISO 3733:1999 ASTM D95- 13(2018)

2.8 Laevade kütuse liigid

19. sajandi lõpus oli laevade peamine kütus kivisüsi. Kuid naftatööstuse kasvuga hakati järkjärgult kasutama vedelkütuseid ja seda tasapisi kõikjal. Vedelkütuste tootmise tooraineteks on järgmised materjalid:

- Nafta
- Kiltkivid
- Kivisüsi

Kõik vedelkütuste peamised omadused tulenevad neis süsivesinike ühendite olemasolust. Laevade jõuseadmete kütuse liigid jagunevad madala viskoossusega kütusteks ja raskekütusteks. Madala viskoossusega kütused toodetakse reeglina diisliõlidest ja need ei vaja enne kasutamist täiendavat töötlemist. Raskekütus on aga palju odavam, kuid nõuab erilist ettevalmistust, milleks on omakorda vaja lisavarustust. Kütuse optimaalsete omaduste saavutamiseks lisatakse sellele mitmesuguseid lisandeid.

Alates 1988. aastast hakkas kodumaine tööstus tootma destillaatkütust. See suutis asendada gaasiturbiini ja diislikütust. Seda tüüpi kütust toodetakse sekundaarsete protsesside destillaatide segamisel standardsete diislifraktsioonidega. Siinkohal tasub tähelepanu pöörata sellele, et nõuded sellisele kütusele pole nii ranged. Suurem viskoossus on talutav, samuti on lubatud kuni 1,5% väävli sisaldus. Sellel kütusel on ka madalam tsetaaniarv.

Põlevkivi kuumutamisel ilma õhu juurdepääsuta tekib naftaõliga väga sarnane aine – põlevkiviõli ehk vaik, mida paljud geoloogid nimetavad sünteetiliseks õliks. Samal ajal eralduvad kuumutamisel ka gaasilised süsivesinikud ehk põlevkivigaas. Seega on põlevkivist võimalik saada korraga nii naftat kui gaasi.

Laevad on kõige rohmakamad ja samal ajal ka tagasihoidlikumad kütusetarbijad: tankimiseks kasutatakse diisli, kütteõli ja erinevate süsivesinike fraktsioonide segusid. Laevamootorite nn kõigesöömist piiravad aga tänapäeval üha enam keskkonnanormid. Ning ranged ohutusnõuded punkerdamisel ehk laevade tankimisel võimaldavad viia merevee reostust naftatoodetega miinimumi. Tänapäeval kasutavad laevad kütusena heledaid ja tumedaid naftasaadusi. Kergete diislikütuste hulka kuuluvad erinevat tüüpi diislikütused, eelkõige laevanduse madala viskoossusega kütus (SMF). Laevadiislikütus erineb autodiislist madalama tsetaanarvu, kõrgema väävlisisalduse ja kõrgema viskoossuse poolest.

Rasked naftatooted on ennekõike kütteõli, aga ka sellele viskoossuselt lähedased, kuid madalama väävlisisalduse poolest erinevad kütused, näiteks gaasikondensaadist saadav nn laevakütuse komponent (CFC). Raske laevakütus on kütteõli, mille viskoossus jääb vahemikku 30–700 mm²/s. Rahvusvaheline nimetus – IFO.

Rasked naftatooted – tooted, mis sisaldavad primaarse ja sekundaarse naftarafineerimise jääke (põhjustab tumedat värvi). Sellesse kategooriasse kuuluvad kõik teadaolevad kütteõli tüübid, mõned kütuseliigid (gaasiturbiinid ja mootorid), destillaatõlid, aga ka tõrvad, vaakumgaasiõlid ja bituumen.

Masuut moodustub toornafta töötlemisel. Nende värvus varieerub sügavpruunist peaaegu mustani. Kuna selle koostises on kõrge süsiniku elementide sisaldus, mille erikaal on kuni 87%, vesinikku üle 10%, lämmastikku ja hapnikku umbes 1%, peetakse seda õigustatult kõrge kalorsusega. Masuudid sõltuvalt viskoossuse parameetri näitajast jagatakse peamiselt kahte gruppi (Rai 2011: 27):

- vahemasuut (IFO – Intermediate fuel oil) – gaasiõli ja raskemasuudi segu, vähema gaasiõli sisaldusega kui mere diislikütuses. Siia kategooriasse kuuluvad masuudid viskoossusega 30–180 cSt. See laevakütus on nn maismaa diislikütuse analoog mere- ja jõetranspordi gaasiturbiinide ja diiseljõusüsteemide tankimiseks. Seda valmistatakse samamoodi nagu autode ja traktorite diisli – segades diisli fraktsioone gaasiõlidega.

- raskemasuut (HFO – Heavy fuel oil) – Puhas või peaaegu puhas jääkõli. Siia kategooriasse kuuluvad masuudid viskoossusega 380 cSt ja üle selle. Saadakse naftajääkidest, mis on segatud teatud vahekorras diislifraktsioonidega. Masuuti kasutatakse peamiselt katelde ja laevamootorite kütusena ning ka toorainena, millest valmistatakse koksi, bituumenit ja teatud tüüpi õlisid. (Kütuse hinnariski maandamise võimalused laevandusettevõttes, 2013, 15-16)

Raskemasuut vastab ISO standardile ISO-F-RMC 10, sisaldab keskmisi destillaatori ained 30–40%, ISO-F-RMC 25 on 8–15%, ISO-F-RMC 35 alla 5%. Võrreldes küttemasuudiga on nad madalama viskoossusega ning väiksema mehaaniliste lisandite ja vee sisaldusega.

Naftaõlid – neid saadakse õli destilleerimisel ja nende kasutusala on määrdeained, mis on ette nähtud hõõrdumise vähendamiseks tööpinkide, ventilaatorite, pumpade ja õmblusmasinate sõlmedes ja osades. Naftast eraldamise meetodi järgi jaotatakse naftaõlid järgmisteks osadeks: destillaat, mis on saadud kütteõli vaakumdestilleerimisel; kütteõli destilleerimise jäägi toode – tõrv; destillaadi ja jääkkomponentide segamisel tekkiv toode.

Naftaõli on enamiku kaubanduslike määrdeõlide alus, mis peab tagama vajalikud töomadused ja vastama kvaliteedinõuetele. Vastavalt kasutusosalale jagunevad naftaõlid määrdeaineteks või eriotstarbelisteks õlideks.

Gaasiturbiini kütus – tegemist on süsivesinike seguga, mida kasutatakse nii statsionaarsetes kui ka transportitüüpi gaasiturbiiniseadmetes. Naftagaasiturbiinide kütused hõlmavad destillaate, mis on saadud nafta rafineerimisel, krakitud toodete töötlemisel, nafta sekundaarse rafineerimise tooted. Peamised nõuded gaasiturbiinikütustele on madal vanaadiumisisaldus (2–6)–10–4% ja madal tuhasisaldus. Gaasiturbiini kütuses sisalduv metalli, eriti vanaadiumi sisaldus põhjustab turbiini rootorile süsiniku moodustumist, vähendab vahesid ja rikub turbiini tasakaalu. (Газотурбинное топливо, 2022)

Bituumen – see on vaiguline või tahke keha, mis koosneb süsivesinike ja süsivesinike derivaatide segust. Iseenesest on tegemist kokkutõmbava ainega, mida kasutatakse erinevate tööde tegemisel ning ka paljudes tehnoloogilistes tootmisprotsessides.

Kerged õlitooted on tooted, mis ei sisalda raskeõli fraktsioone ja mida iseloomustavad läbipaistvusele lähedased optilised omadused. Kerged naftatooted on nafta rafineerimise lõpptulemus. Nende hulka kuuluvad näiteks:

- Diislikütus – üks levinumaid kütuseliike. Diislikütus on mõeldud maa- ja laevaseadmete kiiretele diisel- ja gaasiturbiinmootoritele. Toodetud petrooleumi-bensiini ühenditest otsesest destilleerimisest. Kasutatakse laialdaselt oma töökindluse ja ökonoomsuse poolest tuntud diiselmootorite tankimiseks.
- Bensiin – kerge süsivesinike segu. Keemistemperatuur 33–205°C, sõltuvalt kasutatud lisanditest. Bensiinis on kergete süsivesinike segu (bensiinikomponendid), mis sisaldab ka hapnikuühendeid (15–20%) ja lisandeid. Bensiin aurustub kergesti, lekib kergesti, on tuleohtlik (leekpunkt alla 0°C), vees lahustuv, värvitu või läbipaistev vedelik, millel on tugev iseloomulik lõhn.
- Petrooleum – kollase varjundiga selge vedelik. Üks peamisi eeliseid on aine väike lenduvus, mis võimaldab seda kasutada paljudes valdkondades, alates kütmisest kuni lennukimootorite tankimiseni. Petrooleumist toodetakse ka märkimisväärsel hulgal lahusteid. Petrooleumi kasutatakse erinevatel eesmärkidel – masinate kütuse ja määrdeainena, monomeeride ja polümeeride tootmise üheks tooraineks, valgustusseadmete kütuseks, lahustiks tööstuses ja igapäevaelus. (Светлые Нефтепродукты, 2021)

Kütuste jaoks on kõige olulisem töötehniline nõue kõrge kütteväärtusega. Lisaks sellele peab olema tagatud:

- katkematu kütuse tarnimine paagist kütuseseadmesse ja sellest mootori silindrisse;
- optimaalne viskoossus, fraktsionaalne koostis, tihedus, pindpinevus ja küllastunud kütuseaurude rõhk;
- usaldusväärne süttivus, täielik põlemine ilma tahma ja eriti mürgiste ja kantserogeensete saaduste tekketa;
- minimaalne süsiniku sademete moodustumine pihustusalasse ja põlemiskambris;
- minimaalne korrosiooni aktiivvõime;
- suurem füüsiline stabiilsus pikaajalisel ladustamisel ja transportimisel;
- madal mürgisus.

Laevanduses kasutatakse rahvusvahelist standardit ISO 8217, mis määrab kütuse kvalitatiivse koostise. Nende järgimine on vajalik mootorite pidevaks tööks ja keskkonna kaitsmiseks

reostuse eest. Keskkonnakaitseorganisatsioonid on tänaseks saavutanud punkriturul olulise mõju.

2.9 Laevakütuse ja põlevkivikütuse võrdlus

Intervjuus Arte Bunkering OÜ-ga sai töö autor teada, milline laevakütus sobib paremini põlevkivist saadavate kütustega võrdlemiseks. Võrdlusobjektideks on masuut (raskemasuut ISO 8217) ja põlevkiviõli, põlevkivi masuut, samuti raskemasuudi ja põlevkiviõli segu.

Tabelis 6 on esimeseks võrdluseks masuut ja põlevkiviõli: nende viskoossus erinevatel temperatuuridel, tuhasisaldus, mehaaniliste lisandite massiosa, vee ja väävli massiosa, koksivõime, leekpunkt, hangumistemperatuur ning põlemissoojus.

Tabel 6. Põlevkiviõli ja raskemasuuti keemiliste-füüsiliste omadused

(Allikas: Совместный кренкинг нефтяного остатка и механоактивированного горючего сланца, 2019)

Võrdluskriteeriumid	ISO 8217	Põlevkiviõli
Viskoossus temperatuuril 50 °C	12	-
Viskoossus temperatuuril 80 °C	-	5
Tuhasus %	0,1	0,3
Mehaaniliste lisandite massiosa %	0,12	-
Vee massiosa %	0,3	2
Väävli massiosa %	0,6	0,65
Koksivõime %	6	-
Leekpunkt °C	90	80
Hangumistemperatuur °C	-8	-10
Põlemissoojus kkal/kg	9900	9300

See võrdlus näitab, et masuut omandab rohkem viskoossust ja eralduva tuha ning väävli sisaldus on väiksem kui põlevkiviõlil. Leekpunkti erinevus on 10°C ja põlemissoojus põlevkiviõlil on 600 kkal/kg võrra väiksem.

Tabelis 7 on teine võrdlemine raskemasuudi ja põlevkiviõlisegu vahel. Alustuseks on segu erinevatest vahekordadest: 90:10, 80:20, 70:30, 50:50. Võrdumiseks kasutatakse termolüüsi ja võrdluskriteeriumid on protsessi tasakaal ning gaasiliste ja vedelate toodete koostis.

Tabel 7. Põlevkiviõli- raskemasuuti segu ja raskemasuuti keemiliste-füüsiliste omadused

(Allikas: Совместный кренкинг нефтяного остатка и механоактивированного горючего сланца, 2019, 324)

Toode	Raskema-suut	90:10	80:20	70:30	50:50
Gaasi	4,4%	6,4%	6,1%	3,5%	3,2%
Tahke	3,6%	10,7%	20,9	28,1%	49%
Vedel	92%	82,9%	73%	68,4	47,8%
Gaasi kogutoodang	4,4%	6,4%	6,1%	3,5%	3,2%
H ₂	0,15%	0,29%	0,35%	0,25%	0,35%
CH ₄	2,13%	2,89%	2,79%	1,52%	1,32%
CO ₂	0,04%	0,06%	0,16%	0,13%	0,28%
CO	0,03%	0,06%	0,06%	0,05%	0,1%
C ₂ H ₄	0,04%	0,06%	0,06%	0,03%	0,03%
C ₂ H ₆	0,88%	1,31%	1,31%	0,65%	0,49%
C ₃ H ₆	0,09%	0,14%	0,12%	0,07%	0,06%
i-C ₄ H ₁₀	0,06%	0,09%	0,08%	0,04%	0,03%
n-C ₄ H ₁₀	0,2%	0,31%	0,3%	0,15%	0,11%
C ₅ H ₁₀	0	0	0	0	0
Vedelate toodete toodang	92%	82,9%	73%	68,6%	47,8%
Tõrvad	6,7%	6,6%	6%	5%	4,8%
Asfalteenid	4,2%	4,7%	2,7%	2,8%	2,8%
Õlid	81,1%	71,5%	64,3%	60,6%	40,2%

Andmed näitavad, et masuudi termolüüsil on vedelate toodete ? 92 massiprotsenti, gaasiliste 4,4 massiprotsenti. Toodete segamisel väheneb vedelate toodete saagis 82,9-lt 47,8%-le. Põlevkiviõli lisamine kütteõlile koguses 10% ja 20% toob kaasa gaasiliste toodete saagise tõusu võrreldes algse kütteõli termolüüsiga ligi 1,5 korda. Põlevkiviõli lisamine masuuti toob kaasa vesiniku saagise suurenemise termolüüsi käigus keskmiselt 2 korda, segu suurendab ka

CO₂ ja CO sisaldust. Põlevkiviõli suurenemisega termolüüsitoodete masuudi koostises väheneb vaikude osakaal. Masuudiga segatud põlevkivi osakaalu suurenemisega vedelates termolüüsitoodetes väheneb asfalteenide, vaikude ja aromaatsete süsivesinike hulk. (Совместный кренкинг нефтяного остатка и механоактивированного горючего сланца, 2019, 320-325)

Võrreldes põlevkivimasuuti raskemasuudiga – need on süsivesinikkütuste liigid, mis on saadud looduslikest allikatest eraldatud looduslike süsivesinike toorainete töötlemisel. Oksüdeeriva aine abil on põlevkivi ja masuut võimelised põlema ja toetama põlemisprotsessi. Need kütteõlid segunevad üksteisega igas vahekorras hästi. Nende kütteõlide põlemissaadused on peaaegu samad, kuigi erinevate kvalitatiivsete ja kvantitatiivsete näitajatega. Neid esindavad gaasilised, vedelad ja tahked keemilised ühendid, ained ja elemendid. Samas on põlevkivi- ja masuut täiesti erinevat tüüpi süsivesinikkütused, millel on erinevad omadused ja jõudlusnäitajad.

Põlevkivi masuudi kerge fraktsioonide tihedus vastab masuudi ISO 8217 tihedusele temperatuuril 95°C, ja selle raskete fraktsioonide tihedus võrdub raskemasuudi tihedusega temperatuuril 0°C. Samas vastab põlevkiviõli viskoossus temperatuurile 80°C ja masuudi viskoossusele temperatuuril 100°C. Nafta masuudid koosnevad peamiselt süsivesinike ühenditest ja sisaldavad vähesel määral hapnikku sisaldavaid aineid. Aga põlevkiviõlid sisaldavad suuremas koguses hapnikku sisaldavaid ühendeid. Raskemasuutide ja põlevkiviõlide niiskusesisaldus on ligikaudu sama ehk vastavalt mitte rohkem kui 3–5%. Samas ei tõsta põlevkivi masuudid erinevalt masuutidest oma niiskuse sisaldust, kuna ei vaja enne kasutamist auruga töötlemist. Põlevkivi masuudi suureks eeliseks on madal hangumispunkt, väiksem koksistamisvõime, samuti vähene mehaaniliste lisandite ja tuha sisaldus. Samal ajal on põlevkivi masuutide oluliseks miinuseks nende suurenenud hapnikusisaldusest tulenev suhteliselt kõrge korrosioon. (Способно ли сланцевое топливо заменить традиционные углеводородные горючие, 2013)

3 Laevakütusena kasutamise võimalused

3.1 Mootorid

Erinevatel aegadel kasutati laevadel erinevaid tüüpe mootoreid, mis omakorda jagunesid erinevateks otstarveteks. Peamiselt jagunevad laevamootorid kaheks ehk pea- ja abimootoriteks. Peamootor tagab laeva liikumise ning abimootor on vajalik elektrigeneraatorite, pumpade, ventilaatorite jms käitamiseks.

Laevamootorina saab kasutada sisepõlemismootoreid (ICE) ja auru- või gaasiturbiine. Tänapäeval on populaarseim variant aga diisel-sisepõlemismootor, mida iseloomustab pikk kasutusiga, tagurdamise võimalus, võimalus läbi viia suurema osa masina hooldustööst laeva tingimustes ja võimalus kasutada rasket tüüpi kütust. Samuti on oluline märkida, et laevade diiselmootorid on kõigist teistest laevamootoritest kõige ökonoomsemad.

Sisepõlemismootor on soojusmootor, mis muudab kütuse põlemissoojuse mehaaniliseks tööks.

Võrreldes aurumasinaga iseloomustavad sisepõlemismootorit järgmised omadused:

- põhimõtteliselt lihtsam (aurukatelseade puudub),
- kompaktsem,
- säästlikum,
- nõuab parema kvaliteediga gaas- ja vedelkütuseid.

Kolbmootor on mootor, mille põlemiskamber paikneb silindris, kus kütuse soojusenergia muundatakse mehaaniliseks energiaks ning kolvi translatsioonilisest liikumisest tulenev mehaaniline energia muudetakse väнда abil pöörlevaks.

Rootormootor on mootor, milles pöörlev kolb annab põleva gaasi surve vahetult üle temaga ühendatud veovõllile.

Mootorid jagunevad ka kasutatava kütuse liigi järgi:

Bensiinimootor on sisepõlemismootorite klass, milles eelsurutud õhu-kütuse segu süüdatakse silindrites oleva elektrisädeme toimel. Seda tüüpi mootorite võimsuse reguleerimine toimub tavaliselt õhuvoolu reguleerimise teel drosselklapi abil.

Diiselmootorit iseloomustab kütuse süütamine ilma süüteküünla kasutamiseta. Osa kütust pihustatakse läbi düüsi kompressiooniga kuumutatud õhku (temperatuurini, mis ületab kütuse

süttimistemperatuuri). Kütuse sissepritse käigus see pihustatakse ja seejärel tekivad üksikute kütusetilkade ümber põlemiskeskused.

Gaasimootor on mootor, mis tarbib kütusena tavatingimustes gaasilises olekus olevate süsivesinike. (Eesti Entsüklopeedia, 2006)

Kütusesüsteem koosneb kõrg- ja madalrõhukütusesüsteemidest ning kütuseeadmetest. Igas mootoris algab töö kütuse ettevalmistamisest ja mootorisse tarnimine toimub madala rõhu all töötava kütusesüsteemi abil, mis valmistab ette kütuse ja tagab pikaajalise ja usaldusväärse töö kõikides režiimides. Selleks otstarbeks näeb süsteem ette suure hulga sobivaid seadmeid: mahutid, filtrid, pumbad, segistid, separaatorid, homogenisaatorid, küttekehad ja kütusetorud.

Sõltuvalt kütuse tüübist muutub ka madalrõhusüsteemi skeem. Kõikidel mootoritel peavad olema: kütusepaak, pumbad, puhastusfiltrid, küttekehad ja viskoossuse regulaatorid. Kütuse sissepritse mootori silindritesse toimub kõrgsurve kütusesüsteemi abil, mille põhielemendid on: kõrgsurve kütusepump ja pihusti. Mootori võimsus, töö- ja majandusnäitajad sõltuvad suuresti selle süsteemi tööst. Kütuseeadmed peavad töötingimustes töökindlalt töötama ja tagama vajalikud kütusevarustuse parameetrid.

Laevamootorite kütuseeadmete töökindla kasutamise tagamiseks kütust eelnevalt töödeldakse. Ettevalmistamine koosneb eraldamisest, filtreerimisest ja raske kütuse kuumutamisest ning mõnikord kasutatakse keemilist, hüdrodünaamilist, magnetilist töötlemist. Pärast eeltöötlust suunatakse kütus mootoritesse. Erilist tähelepanu pööratakse raskekütuse kasutamisel puhastamisele. Viiakse läbi eeltöötlus, et eemaldada kütusest mehaanilised lisandid ja vesi, parandada kütuse agregatsiooni olekut, vähendada selle korrosiooni aktiivsust ning suurendada kütuse isesüttimist. Laeva kütusesüsteem jaguneb vastavalt oma funktsioonidele kolmeks: kütuse vastuvõtt ja ladustamine, kütuse töötlemine ning kütuse etteandmine mootorisse.

Puhastamise ning kütuse ja õli kasutamiseks ettevalmistamise vajalikkust ja olulisust kinnitavad tehnilise ekspluatatsiooni eeskirja nõuded. Kõige tõhusam viis diislikütuse ja raskekütuste puhastamiseks meretingimustes on separatsioon. Separaator eraldab mehaanilised lisandid ja vee. Kütust tasub hea pihustamise jaoks enne süstimist soojendada. Temperatuur

sõltub aga kütuse viskoossusest. Määrdesüsteemi kasutatakse määrdeõli pumpamiseks läbi mootori, et vähendada hõõrdumist pindade vahel, samuti eemaldada osa mootorist saadavast soojusest ja puhastada õli. Jahutussüsteem on ette nähtud mootorist soojuse eemaldamiseks, mis tungib peamiselt läbi silindri seinte ja tekib kütuse põlemisel, samuti tsirkuleeriva määrdeõli jahutamiseks. See süsteem laevadel koosneb mage- ja merevee ning vee- ja õlijahutite pumpadest. Pea- ja abimootorite käivitamiseks kasutatakse kanderaketti, mis sisaldab kompressoreid, suruõhupaake, ka torustikke ja ventiile. (Топливо и топливные системы судовых дизелей, 2003)

3.2 Mootori muutused

Mootori muutused on vajalikud põlevkiviõli tõttu, kuna põlevkiviõli jääb separaatoritesse ja rikub neid. Praegu on laevadel kõige levinumad diiselseadmed, mis töötavad rasketel kütustel. Kütuse ladustamise käigus laevas see aga saastub mehaaniliste lisanditega ja seetõttu halveneb ka jõudlus. Suure mehaaniliste lisandite sisaldusega kütuse kasutamine põhjustab pihustite saastumist, kütusepumpade kolbipaaride suurt kulumist ja silindri-kolvi rühma kulumist. Hoolduspaagist eraldatud kütus juhitakse kütuse täitmispumba abil 0,4–0,6 Mpa all, läbi kütusefiltri ja pärast selle suunamist diislikütuse pumpadesse.

Põlevkivikütteõli suurenenud tihedus raskendab selle ladustamisel vee settimist ja suurendab energiatarbimist ladustamise ajal, samuti suurendab oma tööks elektrienergia tarbimist kütusepumpade poolt. Vee ebahühtlane jaotus ladustatava põlevkiviõli mahus on tingitud selle heterogeensusest ja tihedusest. Need asjaolud raskendavad vee settimist põlevkivikütteõlist selle ladustamise ajal. Sellepärast ongi vaja kasutada põlevkiviõlist vee eemaldamiseks kütuseseparaatoreid või spetsiaalseid seadmeid, mis eemaldavad kütusest vee täielikult.

Põlevkivi kütteõli kasutuselevõtt ja laialdane kasutamine diisli- ja gaasiturbiinjaamades nõuab kütuseseadmete kohandamist ning õhuvarustussüsteeme nendes põletatud kütuse füüsikalisi ja keemilisi omadusi ning koostist arvesse võttes. Spetsiaalsete keemiliste puhastusmeetodite kasutamine võib oluliselt vähendada aromaatsete ja küllastumata süsivesinike hulka kütuses ning parandada oluliselt põlevkivikütuse mootori omadusi.

On võimalik uurida põlevkivikütust väikesemahulistes laevade diiselmootorites. Uuritigi kahte tüüpi mootoreid: diisel (1) 1t 8,5/11s nimivõimsusega = 5,15 kW ja diisel (2) 4t 10,5/13s

nimivõimsusega = 29,4 kW. Enne katsete algust reguleeriti diislid kütusesäästlikkuse seisukohalt optimaalsete kütuse sissepritse edenemisnurkadega. Põlevkividiisli töö stabiliseerimine madala koormuse tsoonis saavutatakse ka jahutusvedeliku temperatuuri tõstmisega 55–65°C-lt 85–95°C-ni. Samal ajal on diiselmootorite kütusesäästlikkuse paranemine 5–8%, kuid silinder-kolb rühma osade temperatuur tõuseb 10–23%. Pärast 100-tunnist diiselmootori (1) töötamist põlevkivifraktsioonil ja selle segudel diislikütusega täheldati, et kõik kolvirõngad liikusid kolvisoontes vabalt oma raskuse mõjul. Kolvi külgpinnal esimese surverõnga kohal ja kolvi põhjas väljalaskeklapi piirkonnas oli näha väikest tahmakihti. Mootorites (2) pärast 50-tunnist töötamist põlevkivifraktsioonil ja selle segudel diislikütusega ei tuvastanud kolvi lokaalset tahma kogunemist. Samuti ei olnud diiselmootorite (1 ja 2) käivitusomadustes olulist erinevust. Üldiselt näitavad eksperimentaalsete uuringute tulemused väikesemahuliste diiselmootorite põhimõttelist võimalust töötada põlevkiviõli kergel fraktsioonil, kuid alles pärast mootori vastavat reguleerimist ja lõpetamist. (Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях, 2007)

Aga mõnedel juhtudel kütuse segunemine soendatud põlevkiviõliga, näiteks mõnede tarnijate katsed segada põlevkiviõli nii, et see vastaks kommerts-laevade minimaalsetele ISO kütuse spetsifikatsioonidele, on põhjustanud merel arvukalt mootoririkkeid, mille põhjuseks on kahjustatud või blokeeritud kütuse sissepritseventiilid ja asendamist vajavad filtrid. Algselt tuvastati probleem USA lahes tarnitud punkrites, kuid on sellest ajast laienenud Panamasse, Singapuri, Hongkongi ja Koreasse. See toob kaasa laevade füüsilise kahjustamise ning omanike ja operaatorite saamata jäänud tulu. (Marine fuel – a toxic mix?, 2018)

Ühes webinaris „Inter8 Fuels” (Lesley Bankes-Hughes, 2020) oli arutelu mootorite rikkumistest põlevkiviõli tõttu, kus esinesid Lloyd's Registeri FOBAS globaalsed juhid Douglas Wright ja Chris Turner, Manager Bunker Quality and Claims.

„Alates 1. jaanuarist 2020 on põlevkiviõli kasutamine väga madala väävlisisaldusega segakütuses (VLSFO) tõusuteel, viimasel ajal on märgata märkimisväärses koguses Eesti põlevkiviõli, mis võib põhjustada probleeme, näiteks pardafiltrite ummistumist punkrites. Põlevkiviõli kasutamine laevakütuse komponendina võib põhjustada probleeme laevade mootorites, näiteks filtrite muda, ja kuigi Houstoni 2018. aastal levinud kütusesaasteprobleemide põhjust ei ole siiani kindlaks tehtud, soovitasid mõned tööstusharu

kommentaatorid sel ajal seda kasutada. Eesti põlevkiviõli kogus piirkonda tarnitavates punkrites võis olla osa laevade mootoriprobleemide põhjustajaks” sõnas Douglas Raitt.

Chris Turner ütles et ta ei näinud ühtegi märki, et põlevkiviõli oli saastunud keemiliste saasteainetega nagu fenoolid ja rasvhapped, ning laevamootori rikkumine aga toimus seetõttu, et kütused ei olnud põhjalikult laboratoorselt testitud. Raitt nõustus märkides, et kui leitakse, et kütus ei vasta ladestuspotentsiaalile (TSP – Total Sediment Potential) ja sellele ei järgne kohtuekspertiisi, siis potentsiaalsete saasteainete olemasolu ei tuvastata. (Lesley Bankes-Hughes, 2020)

Põlevkivienergiakandjad suudavad täielikult asendada traditsioonilisi õlikütuseid, kuid vajalik on kütuse põletusseadmete ja nende teenindussüsteemide kohandamine selle kütuseliigiga.

3.3 Põlevkiviõli ja väävel

Rahvusvaheline Mereorganisatsioon (IMO) on võidelnud puhta õhu eest merealadel peaaegu kümme aastat. Ja kui varem kehtisid karmid piirangud vaid teatud geograafilistes piirkondades, siis 2020. aastal on keskkonnasõbraliku laevakütuse kasutamise nõue levinud pea üle kogu maailma. Keskkonnapiirangutest on saanud üks peamisi keskkonnakaitse vahendeid. Suurim ja rangeim neist sisaldub 2020. aasta IMO nõuetes, mis on loetletud laevade põhjustatud merereostuse vältimise rahvusvahelise konventsiooni (MARPOLi konventsioon) VI lisas. See reguleerib maksimaalse lubatud väävlisisalduse vähendamist laevakütuses 3,5-lt 0,5%-le. Rahvusvaheline mereorganisatsioon ütleb, et tänu uutele reeglitele väheneb 2025. aastaks õhusaaste väävliühenditega ligi 70%.

Kütustes sisalduv väävel on problemaatiline, kuna see suurendab õhusaastet. Kütuses sisalduv väävel on takistuseks ka diiselmootorite põhjustatud õhusaaste vastu võitlemisel. Kütuse väävlisisalduse vähendamine on oluliseks elemendiks üldisele ülemaailmsele strateegiale, millega vähendatakse transpordi negatiivset mõju inimese tervisele. Esiteks, kütuses sisalduv väävel põhjustab inimestele südamehaigusi, kopsuvähki ja paljusid muid ebatervislikke tagajärgi. Teiseks, puhtamate mootorite jaoks on vaja madala väävlisisaldusega kütuseid, et võimaldada seadmete efektiivset kasutamist.

Väävliit leidub nii või teisiti igas naftasaaduses ning väävlita naftatooted maksavad meeletult palju. Segamise abil on võimalik väävli osakaalu õlis eemaldada 5%-lt 1–1,5%-le. On veel üks meetod, mis aitab väävliprobleemi lahendada – kuna kütteõli baasil valmistatud laevakütust väävlist ei puhastata, lisatakse sellele põlevkiviõli. Põlevkivi väävlisisaldus sõltub mineraalsete lisandite sisaldusest, mineraalosakeste olemusest, kütuse osaks olevate väävliühendite liikidest. Eestis sisaldab põlevkiviõli 0,6% väävliit ja see kindlustab sellele eeskujulikud perspektiivid turul, nagu kütuselisand. Hea näide on Venemaa, mille naftatöötlemise tehased toodavad umbes 50 miljoni tonni masuuti. Selle masuudi väävlisisaldus on 3%. Õlis on väävliit aga väga vähe ja seda valatakse täpselt nii palju, et väävlisisaldus kütuses oleks vastuvõetav. (Põlevkiviõli – Eesti strateegiline kütus, 2004, 8)

4 Keskkonnareostus

Keskkonnareostus on tänapäeval üks olulisemaid probleeme, eriti kütuse valikul. Põlevkivi kaevandamine, töötlemine ja kasutamine toob kaasa keskkonna loodusliku seisundi olulise rikkumise tööstusettevõtete paiknemisaladel. Sellega kaasnevad olulised territooriumite mehaanilised häiringud, jäätmekoguste teke, keskkonna saastamine keemiliste elementide ja nende ühenditega. Olulisemad keskkonnamuutused põlevkivi kaevandamisaladel on:

- loodusliku struktuuri rikkumine ning aluspõhjakiivimite ja lahtiste lademetes esinemine;
- muutused maastikus kui tervikus ja selle komponentides;
- hüdrogeoloogilised muutused;
- eksogeensete protsesside aktiveerimine;
- keskkonna ja selle komponentide saastamine keemiliste elementide, orgaaniliste ja mitteorgaaniliste ühenditega.

Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise saasteallikaks on alade kuivendamine, mille ohted ained on naatrium, süsinikdisulfiid, boor ning fluoriidid ja sulfiidid. Muidugi on keskkonnale ohtlik ka põlevkiviõli destilleerimine, kus vesi eraldatakse põlevkiviõlist – see protsess kaasab ammoniumkarbonaati, naatriumi, sulfaate, tiotsüanaate, kloriide ja lahustunud orgaanilisi ühendeid. Jahutusvee ja vee ärajuhtimine küttesüsteemidest sisaldab aga lahustunud anorgaanilisi aineid ning korrodeerivad ühendid.

Kaudne reostusallikas on põlevkivi leostumine. Eesti põlevkivimaardlas ulatub avakaevandamisega rikitud maa-ala 10 000 ha ja allmaatöödega 15 000 ha-ni. Prognooside kohaselt peaksid aastaks 2030 need piirkonnad olema peaaegu kahekordistunud. Põlevkivi termilisel lagunemisel tekivad esmased produktid nagu tõrv, kerged süsivesinikud, gaas ja fenooli sisaldavad veed.

Põlevkivitöötlemisettevõtete õhuheitmete puhastamiseks kasutatakse seadmeid gaasi puhastamiseks vesiniksulfiidist, elektrifiltreid suitsugaaside puhastamiseks tolmust ja heitgaaside puhastussüsteeme. (Горючие сланцы и окружающая среда, 2003)

Põlevkiviõli ei ole nii hästi rafineeritud kui toornafta ja annab vähem kasulikke tooteid.

Eesti Energia on koostanud ka keskkonnaohutuskaardi kahe kütuseliigi jaoks ehk laevakütuse tootmine põlevkiviõli segudest ja põlevkiviõli kaubanduslik kasutamine laevakütuses. Esimeses tabelis (Tabel 8) vaatleme põlevkiviõli segu ja nende heitmete sattumist keskkonda

ja keskkonnaga kokkupuudet. Teises tabelis (Tabel 9) vaatleme reostuse andmeid põlevkiviõli segude kaubanduslikust kasutamisest laevakütustes.

Tabel 8. Heitmete sattumine keskkonda ja keskkonna kokkupuude: laevakütuse tootmine

(Allikas: Ohutus kaart, 2009)

Kaitse eesmärk	Proгноosita sisaldus keskkonnas	Arvutuslik mittetoimiv sisaldus	Riski iseloomustav suhtarv	Arutelu
Magevesi	$1,72 \times 10^{-3}$ mg/l	2×10^{-3} mg/l	0,86	<1 aktsepteeritav risk
Merevesi	$1,72 \times 10^{-4}$ mg/l	2×10^{-4} mg/l	0,86	<1 aktsepteeritav risk
Setted	0,0107	0,0125 mg/kg reovesi	0,86	<1 aktsepteeritav risk
Meresetted	$1,07 \times 10^{-3}$ mg/kg reoveepuhasti	$1,25 \times 10^{-3}$ mg/kg reovesi	0,86	<1 aktsepteeritav risk
Reoveepuhasti	$1,72 \times 10^{-2}$ mg/l	4,7 mg/l	<0,01	<1 aktsepteeritav risk
Rohumaa	$1,04 \times 10^{-3}$ mg/kg reoveepuhasti	0,009 mg/kg reoveepuhasti	0,12	<1 aktsepteeritav risk
Mage- merevesi toiduahel	-	-	-	Ainel on ebaoluline bioakumulatsiooni potentsiaal, seega on sekundaarse mürgistuse oht madal.

Tabel 9. Heitmete sattumine keskkonda ja keskkonna kokkupuude: põlevkiviõli segude

(Allikas: Ohutus kaart, 2009)

Kaitse eesmärk	Prognoosita sisaldus keskkonnas	Arvutuslik mittetoimiv sisaldus	Riski iseloomustav suhtarv	Arutelu
Magevesi	$5,16 \times 10^{-7}$ mg/l	2×10^{-3} mg/l	<0,01	<1 aktsepteeritav risk
Merevesi	$5,37 \times 10^{-5}$ mg/l	2×10^{-4} mg/l	0,27	<1 aktsepteeritav risk
Setted	$3,57 \times 10^{-6}$ mg/kg reoveepuhasti	0,0125 mg/kg reovesi	<0,01	<1 aktsepteeritav risk
Meresetted	$3,36 \times 10^{-4}$ mg/kg reoveepuhasti	$1,25 \times 10^{-3}$ mg/kg reovesi	0,27	<1 aktsepteeritav risk
Reoveepuhasti	-	4,7 mg/l	-	<1 aktsepteeritav risk
Rohumaa	$2,48 \times 10^{-6}$ mg/kg reoveepuhasti	0,009 mg/kg reoveepuhasti	<0,01	<1 aktsepteeritav risk

Tabel 9. Järg

<p>Mage-merevesi toiduahel</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>Ainel on ebaoluline bioakumulatsiooni potentsiaal, seega on sekundaarse mürgistuse oht madal.</p>
------------------------------------	----------	----------	----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

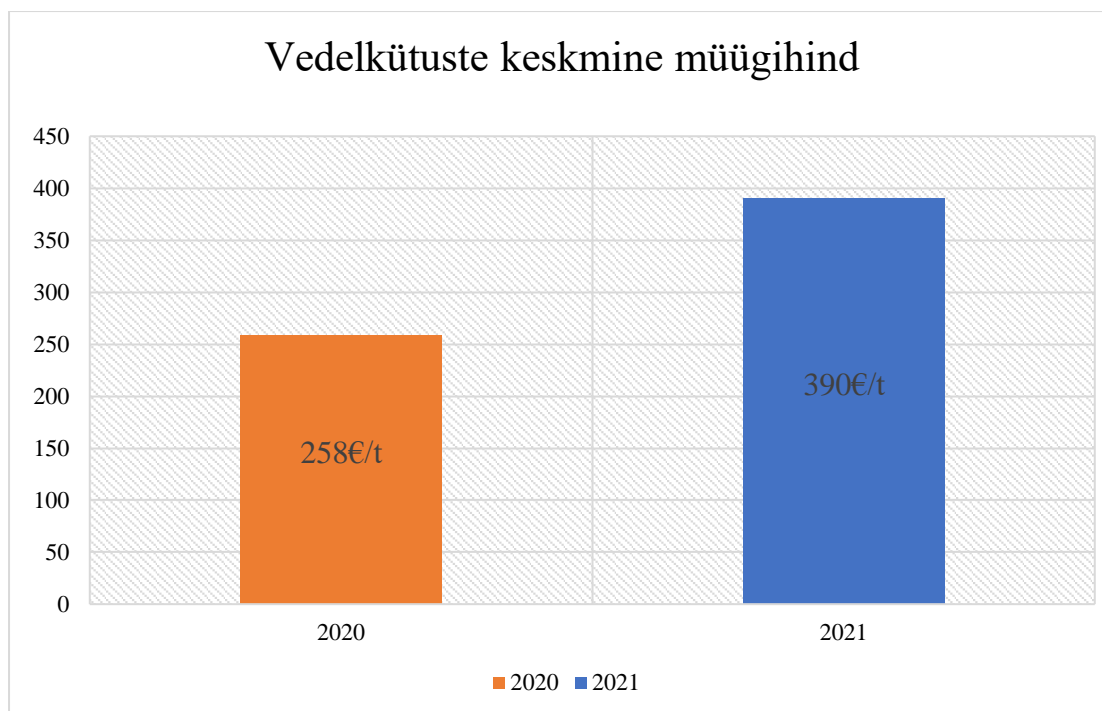
5 Põlevkiviõli hinna analüüs

Mis puutub kütusesse, siis see mõjutab kindlasti ka kaubanduslikku osa. Kütuse hind avaldab suurt mõju ka laeva kasutusele, kuna laev sõidab enamasti pikki vahemaid ja nõuab selleks pidevat energiaallikat. Kütusekulu on laevandusäri põhiline kuluallikas, sest suurte kaubalaevade liikumapanemiseks põletatakse päevas 300–400 tonni laevakütust. Tänapäevaks on laevakütuste hinnad Rotterdams kerkinud üle 2019. aasta kõrgeima taseme, ainuüksi selle aasta jooksul on hinnatõus olnud 23 protsenti. (Bensiini- ja diislikütuse hinnatõus lõikab valusalt ka laevafirmade kasumeid, 2022)

Intervjuus Allan Niiduga sai autor teada, et nafta hind mõjutab ka põlevkiviõli hinda – seega on põlevkiviõlitooted konkurentsisis sama kaua kui naftatooted. Tähele tuleks aga panna, et põlevkiviõli on naftast odavam.

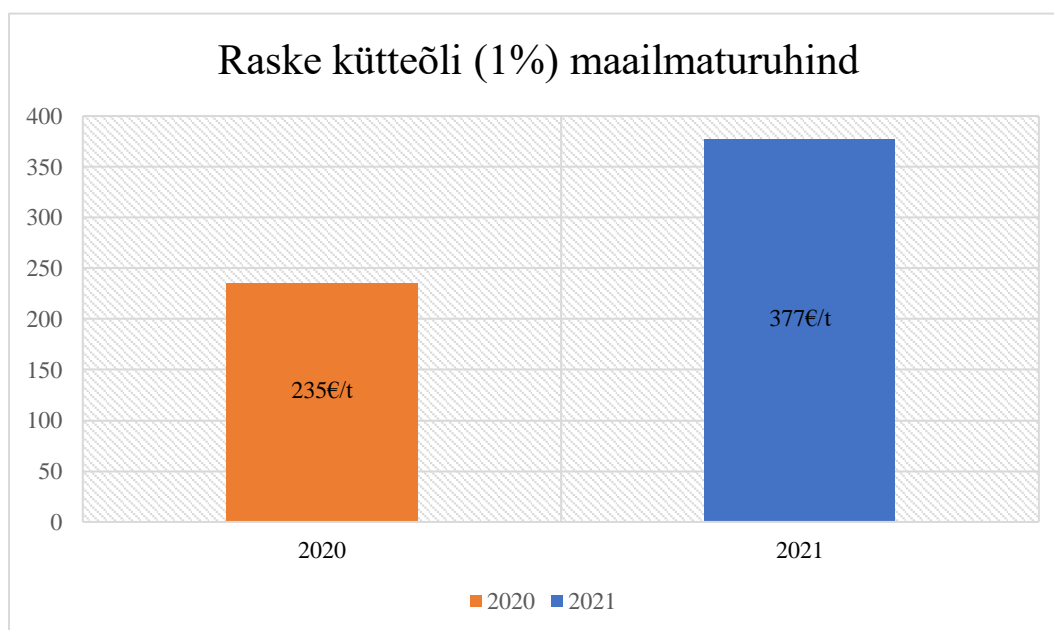
Võrdluseks võttis autor 1 – põlevkiviõli, sest seda lisatakse kütusele rohkem kui kasutatakse põlevkivimasuuti, 2 – diislikütuse, kuna see on kõige levinum laevakütus ja 3 – raskemasuudi. Eestis on lubatud kaevandada kokku 20 miljonit tonni põlevkivi aastas, millest Eesti Energia suudab kaevandada 15,01 miljonit tonni, VKG 2,77 miljonit tonni, Kiviõli Keemiatööstus 1,98 miljonit tonni ja Kunda Nordic Tsement 0,2 miljonit tonni geoloogilisi varusid.

Eesti Energia aastaraamat näitab, et põlevkiviõli tootmine on suure potentsiaaliga ärivaldkond, sest Eesti Energial on olemas tuntuim tehnoloogia põlevkivi põlevkiviõlits töötlemiseks. Nad müüsid 2021. aastal 420 tuhat tonni põlevkiviõli, mis teenis omakorda 135 miljonit eurot tulu. Põlevkiviõli müügitulu vähenes aastaga 2,2% (-3,1 miljonit eurot) võrra ja müügiimaht 7,4% (-33,6 tuhat tonni) võrra. Müügiimahu languse taga on ulatuslikumad remonditööd, mis vähendasid toodangut. Joonisel 5 on näidatud, et põlevkiviõli keskmine müügihind kasvas aastaga 50,9% (+131,5 €/t) võrra, mis on 389,9 €/t. Tõusu põhjustas maailma vedelkütusteturu kõrgemad hinnad. Joonisel 6 võrdlustoode on 1% väävlisisaldusega kütteõli, mille maailmaturu hind kasvas 2021. aastal 60,3% võrreldes 2020. aastaga. (Eesti Energia, 2021)



Joonis 4. Vedelkütuste keskmine müügihind

(Allikas: Eesti Energia, 2021)



Joonis 5. Raske kütteõli (1%) maailmaturuhind

(Allikas: Eesti Energia, 2021)

Mis puutub diislikütusesse, siis diislikütuse keskmine hind maailmas on 1,29 USA dollarit liitri kohta. Erinevates riikides võib kütuse hind varieeruda. Reeglina on rikastes riikides hinnad

kõrgemad, vaestes ja naftat tootvates ning eksportivates riikides on hinnad madalamad. Ainsaks erandiks on USA, madala diislihinna majanduslikult arenenud riik. Erinevate riikide hinnaerinevused on tingitud diislikütuse erinevatest maksudest ja toetustest. Seetõttu on ka diislikütuse hinnad erinevad. Seisuga 30. märtsil 2022 on diislikütuse hind MABUX Global Bunker Indexi allika järgi 1 159 \$/mt. (MABUX, 2022) Raskemasuudi hind on 752,25 \$/mt. Kuna raskemasuut sisaldab suurel hulgal väävlit, kasutatakse kütuse parameetrite parandamiseks põlevkiviõli lisandit. Sellise kütuste segu hind on 752,25 \$/mt. (MABUX, 2022)

Intervjuu Eesti Energia tehnilise juhiga kinnitas, et põlevkiviõli hind kõigub koos nafta hinnaga. Lisaks ei saanud ta anda konkreetset teavet hinna kohta, kuna tema sõnul on selline info konfidentsiaalne. Seoses sellega teeb autor järelduse, et nafta hind tõuseb pidevalt, mis toob kaasa ka põlevkiviõli pideva hinnatõusu. Samuti on tehnilise juhi sõnul kõige parem võrrelda põlevkiviõli raskemasuudiga, kuna põhiparameetrite poolest nad on sarnased.

Tabelis 10 on toodud erinevate laevakütuste liigid ning nende hinnad erinevates riikides. Autor valis hindade võrdlemiseks kolm linna: Tallinn; Rotterdam, kuna see on kõige suurem sadam Euroopas ja Peterburi, kuna sealses sadamas pakutakse kõige odavamat kütust Läänemerel. Tabelisse on võetud võrdluseks 380HSFO kõrge väävlisisaldusega kütus, mis on masuut, VLS FO ehk madala väävlisisaldusega kütus, mis sisaldab põlevkiviõli ja MGO LS on diislikütus.

Tabel 10. Kütusehinnad

(Allikas: Autori tehtud)

Asukoht	380HSFO	VLS FO	MGO LS	Kuupäev
Tallinn	596,75\$	752,25\$	1 159\$	10.05.22
Rotterdam	577,00\$	742,00\$	1 104,50\$	10.05.22
Peterburi	533,00\$	701,25\$	1 102,50\$	10.05.22

Tabelist on näha, et kütus põlevkiviõli lisandiga on odavam kui diislikütus, aga kallim kui raskemasuut. Kuid põlevkiviõli tootmine põlevkivist on võrreldes traditsioonilise toornafta tootmisega kallim nii rahaliselt kui ka selle keskkonnamõju poolest. Keskmiselt põlevkiviõli lisandina kasutamine ja seega ka kütuse omaduste parandamine tõstab kütuse hinda 163\$ võrra ühe mt kohta.

Joonistel 4 ja 5 on näha tendents, et kütuse hind tõuseb, mis võib kaasa tuua põlevkiviõli lisandiga kütuse kasutamise tõusu, kuna MGO LS kütuse kasutamine võib mõne laevaomaniku jaoks olla liiga kallis. Põhjus on selles, et põlevkiviõli kaevandamise ja tootmise protsess on tunduvalt keerulisem. Uurides hinnastamise küsimust, jõudis autor järeldusele, et põlevkivikütteõli kasutamine kütuses õigustab end vaid juhul, kui nafta turuhind on kõrgem kui 150 dollarit barreli kohta.

Samal ajal on tõusnud toornafta hind ning järjest rohkemates maailma piirkondades rakendatakse keskkonnanõudeid, mis keelavad väävlirikka raske laevakütuse kasutamise, on surve merekaubavedude hinnatõusule tugev. Nimelt on vähese väävlisisaldusega laevakütuse ja diislikütuse komponendid väga sarnased, kuid nafta rafineerimistehased saavad diisli müügist suurema kasumimarginaali. (Bensiini- ja diislikütuse hinnatõus löikab valusalt ka laevafirmade kasumeid, 2022)

Võttes arvesse hiljutisi sündmusi ja sanktsioonide kehtestamist Venemaa kütusele, on tõenäoline võimalus, et põlevkiviõli nõudlus laevanduses suureneb ja muutub populaarsemaks.

Kokkuvõte

Autori valitud teema on tänapäeval väga aktuaalne, kuna Maal uuritud põlevkivitoorme varud ületavad oluliselt traditsiooniliste süsivesinike energiakandjate uuritud varusid. Eesti oli pikka aega põlevkivi tootmises maailma liider. Põlevkivi kasutatakse Eestis eelkõige elektri tootmiseks, kuid sellest valmistatakse ka põlevkiviõli ning keemiatooteid. Eestis toodetud põlevkiviõli saab kasutada laevakütuse tootmiseks ja seda õli saab kasutada lisandina nii raske kütteõli kvaliteedi parandamiseks kui ka kütuse enda loomiseks.

Uurimusülesannete käigus jõudis autor järgmistele järeldustele. Põlevkiviõli eeliseks masuudi ees on madal väävlisisaldus ja hea voolavus tihedusühiku kohta, mille tõttu ei pea seda soojendama. Põlevkiviõli kasutatakse kütteõlina kateldes ja tööstuslikes ahjudes ning lisandina laevakütuses, et parandada kütuse tehnilisi omadusi. Põlevkiviõli kasutamine iseseisva kütusena on üldjuhul võimatu ilma põhjalike muudatusteta laevamootorites ja kütusesüsteemides. Põlevkivikütteõli suurenenud tihedus raskendab sellest vee settimist ladustamisel ja suurendab energiatarbimist ladustamise ajal, samuti suurendab oma tööks tarbitava elektrienergia tarbimist kütusepumpade poolt. See tähendab, et laevade mootorites on vaja muuta separaatoreid.

Mis puutub keskkonda, siis põlevkivi kaevandamine, töötlemine ja kasutamine toob kaasa olulise reostuse ja muutused looduskeskkonnas. Põlevkivi termilisel lagunemisel tekivad esmased produktid nagu tõrv, kerged süsivesinikud, gaas ja fenooli sisaldavad veed. Põlevkiviõli ei ole nii hästi rafineeritud kui toornafta ja annab ka vähem kasulikke tooteid. Kui võrrelda põlevkivikütust millegagi, siis ainult raske kütteõliga, kuna neil on samad heitmed keskkonda ja nende füüsikalistes omadustes on samuti mõned sarnasused. Kaubanduse seisukohalt nafta hind mõjutab ka põlevkiviõli hinda, seega on põlevkiviõlitooted konkurentsisis sama kaua kui naftatooted. Tähele tuleks panna, et põlevkiviõli on odavam naftast.

Käesoleva töö autor läbis praktika Inspectorate Estonia AS – part of Bureau Veritas Group ettevõttes, kus sai laevakütuse kohta rohkelt teadmisi. Lõputöö kirjutamise ajal intervjueris autor Eesti Energia tehnilist juhti, Arte Bunkering OÜ spetsialisti ja TalTech inseneriteaduskonna abiprofessorit Allan Niidut. Autor esitas ka VKG ettevõttele temaatilisi küsimusi, kuid vastust nende poolt kahjuks ei tulnud.

Autori hinnangul on põlevkivienergiakandjatel võimalik traditsioonilisi õlikütuseid täielikult asendada vaid juhul, kui leitakse lahendus, mis võimaldaks oluliselt vähendada põlevkivikütuste kaevandamise ja tootmise kulusid. Samuti oleks tarvis seda kütust kasutavate laevaseadmete ja teenindussüsteemide täielikku kohandamist.

Summary

The advantage of shale oil over fuel oil is its low sulfur content and good flowability per unit density, which means that it does not need to be heated. Shale oil is used as fuel oil in boilers and industrial furnaces. Shale oil is also used as an additive in marine fuel to improve its technical properties. The use of shale oil as an independent fuel is generally impossible without major changes to the ship's engines and fuel systems. The increased density of shale fuel oil makes it more difficult to deposit water during storage and increases energy consumption during storage, as well as the consumption of electricity that fuel pumps require for their work. The separators in the engines of ships need to be changed as well.

Concerning the environment, the extraction, processing and use of oil shale will lead to significant pollution and changes in the natural environment. Thermal decomposition of oil shale produces primary products such as oil tar, light hydrocarbons, gas and water containing phenol. Shale oil is not as well refined as crude oil and provides less useful products. Comparing oil shale fuel with any other fuel it matches the most with heavy fuel oil, because they have the same emissions to the environment, and there are some similarities in their physical properties. From a commercial point of view, the price of oil also affects the price of shale oil, so shale oil products are in competition for as long as oil products. It should be noted that shale oil is cheaper than oil.

During the practice, the author completed an internship at Inspectorate Estonia AS – part of Bureau Veritas Group and gained some great knowledge about marine fuel. Also, while writing this dissertation, the author interviewed the technical manager of Eesti Energia and a specialist from Arte Bunkering OÜ. The author tried to ask VKG some thematic questions as well, but the company never replied.

The author's complete conclusion is that the oil shale energy carriers can only completely replace traditional oil fuels if a solution is found that would significantly reduce the costs of extracting and producing oil shale fuels, as well as full adaptation of marine equipment and service systems using this fuel is necessary.

Allikad

- Aleksandr Popel (2013). Kütuse hinnariski maandamise võimalused laevandusettevõttes. Magistritöö ärijuhtimise magistri kraadi taotlemiseks ärijuhtimise erialal, 15-16 (21.02.2022)
- Eesti Entsüklopeedia(2006).<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/rootormootor2> (25.02.2022)
- EuropeanCommission(2017).https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_en.htm (07.04.2022)
- FOBAS Alert: Estonian Shale Oil in VLSFO fuels from ARA.(2022) Ship&Bunker. <https://shipandbunker.com/news/emea/778853-fobas-alert-estonian-shale-oil-in-vlsfo-fuels-from-ara> (17.02.2022)
- Intervjuu *Teams-is* Eest Energia tehnilise juhiga (16.02.2022)
- Intervjuu kirjavahetuse teel Arte Bunkering OÜ spetsialistiga (17.02.2022)
- Intervjuu TalTech inseneriteaduskonna abiprofessor Allan Niiduga (27.04.2022)
- Intervjuu VKG peajuhiga Ahti Asmanniga.(2021) Err.<https://rus.err.ee/1608087367/v-vkg-nazvali-oshibkoj-kurs-pravitelstva-na-uskorennoe-svorachivanie-slancevoj-jenergetiki> (20.02.2022)
- Põlevkivi kompetentsikeskus. <https://taltech.ee/polevkivi-kompetentsikeskus-juhtimine-ja-struktuur> (05.05.2022)
- LISA VKG Oil AS akrediteerimistunnistusele nr L106 (2020). EAK <http://www.eak.ee/dokumendid/pdf/kasitlusala/L106.pdf> (21.02.2022)
- Lesley Bankes-Hughes (2020). VLSFO: Load it and use; says LR's Douglas Raitt. Bunkerspot <https://www.bunkerspot.com/global/50752-global-vlsfo-load-it-and-use-it-says-lr-s-douglas-raitt> (28.02.2022)
- Lesley Bankes-Hughes (2020). Presence of shale oil in vlsfo blends is on the UP. <https://www.bunkerspot.com/global/50754-global-presence-of-shale-oil-in-vlsfo-blends-is-on-the-up> (28.02.2022)
- MABUX Marine Bunker Exchange (2022) <https://www.mabux.com> (30.04.22)
- Maksim Tšudakov (2004). Põlevkiviõli – Eesti strateegiline kütus. Referaat (02.03.2022)
- Marine fuel – a toxic mix?(2018)Gard.<https://www.gard.no/web/updates/content/26172566/marine-fuel-a-toxic-mix> (28.02.2022)

Bensiini- ja diislikütuse hinnatõus lõikab valusalt ka laevafirmade kasumeid (2022). <https://merendus.postimees.ee/7459614/bensiini-ja-diislikutuse-hinnatous-loikab-valusalt-ka-laevafirmade-kasumeid> (16.05.2022)

Ohutus kaart (2009). Eesti Energia. https://www.energia.ee/-/doc/8457332/ettevottest/pdf/Ohutuskaart_polevkivioli_mark_C_est.pdf (02.03.2022)

Parsa Mozaffari, Zachariah Steven Baird, Madis Listak, Vahur Oja (2020). Vapor pressures of narrow gasoline fractions of oil from industrial retorting of Kukersite oil shale (21.02.2022)

Põlevkivi (2020). TalTech. <https://taltech.ee/goryuchiy-slanec> (15.02.2022)

Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine. EVS/TK 57. <https://www.evs.ee/et/committee/detail/57> (21.02.2022)

The original estonian standard for shale oil quality has been published. (2022) TalTech <https://taltech.ee/en/news/original-estonian-standard-shale-oil-quality-has-been-published> (20.02.2022)

Tootmine (2022). KKT. <https://www.keemiatootus.ee/tootmine/> (15.02.2022)

А.И. Гайворонский, В.А. Марков, Ю.В. Илатовский (2007). Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях (28.02.2022)

А.М. Сыроежко, В.А.Проскуряков, Г.И.Боровиков, И.М. Малов, Н.В. Ларин. (2017) Способ безотходной переработки горючего сланца. Санкт-Петербургский государственный технический университет (19.02.2022)

Е.П. Янин (2003). Горючие сланцы и окружающая среда. (17.02.2022)

Игорь Дубровин ,Евгений Дубровин (2013). Способно ли сланцевое топливо заменить традиционные углеводородные горючие. Наука и новые технологии (18.02.2022)

Что такое сланцевый газ. Янтарный мост. <https://www.amberbridge.org/article/что-такое-сланцевый-газ/> (18.02.2022)

М.В.Можайская, В.Г.Сурков, М.А.Копытов, А.К. Головкин.(2019) Совместный крекинг нефтяного остатка и механоактивированного горючего сланца, 320-325

Методы разработки подземным способом. Документ из ИПС "Кодекс". <http://base.safework.ru/iloenc?print&nd=857200710&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857200700%26listid%3D010000000100%26listpos%3D3%26lsz%3D17%26nd%3D857200700%26nh%3D1%26> (15.02.2022)

Н.Г. Пучков (2022). Газотрубинное топливо. <https://xumuk.ru/bse/588.html> (21.02.2022)

Светлые Нефтепродукты (2021). Нефтегаз. <https://neftegaz.ru/tech-library/ngk/148084-svetlye-nefteprodukty/> (24.02.2022)

Получение топлив из природных битумов и горючих сланцев. (2022)
<https://www.dieselloc.ru/motornye-topliva-iz-alternativnih-istochnikov/poluchenie-topliv-iz-prirodnikh-bitumov-i-goryuchikh-slantsev.html> (19.02.2022)

С.Г.Аронов, Д.Т. Кузнецов (1978). Энергохимическое использование горючих сланцев,;
Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР, 1-12

С. Чекрызов. Технология переработки сланца в установке с твёрдым теплоносителем.
http://data.vk.edu.ee/Web_personnel/SergeyChecryzov/Kutustetoostuse%20protsessid/L13Galoter.pdf (19.02.2022)

Стадии термического разложения горючего сланца. StudFile.
<https://studfile.net/preview/6070975/page:23/> (19.02.2022)

Химия и химическая технология. (2022) Справочник химика 21.
<https://chem21.info/page/138036221193043162253252205231094187123219106215/>
(21.02.2022)

Эрки Таммиксаар. Основные черты развития сланцеперерабатывающей промышленности в Эстонии. <https://www.vkg.ee/cms-data/upload/ajalugu/pohijooni-polevkiviolitoostuse-arengust-eestis-vene.pdf> (20.02.2022)

ЭНЕРГЕТИКА, ЭКОЛОГИЯ, ХИМИЯ (2017). Сборник студенческих научных работ (20.02.2022)

Юрий Флоринских(2020). Горючие сланцы: свойства, способы добычи и переработки (17.02.2022)

Ю.А.Пахомов, Ю.П. Коробков, Д.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев (2003). Топливо и топливные системы судовых дизелей. (28.02.2022)

Lisa 1. Intervjuuküsimused Eesti Energia tehnilise juhile

1. Milliseid põlevkivist toodetud kütuseliike on võimalik laevakütusena kasutada?
2. Kui konkurentsivõimelised on need kütuseliigid?
3. Kas põlevkivist toodetud kütus on perspektiivne?
4. Milline on põlevkivikütuste tähtsus Eesti riigi jaoks?
5. Kas laevamasinad nõuavad modifitseerimist põlevkivikütuste kasutamiseks?
6. Millised reostuse vältimise meetodid ja tehnoloogiad on kasutusel põlevkivikütuste valmistamisel?

Lisa 2. Intervjuuküsimused Arte Bunkering OÜ spetsialistiga

1. Milliste kasutuses olevate kütustega saab põlevkivikütust võrrelda?
2. Kas laevamasinad nõuavad modifitseerimist põlevkivikütuste kasutamiseks?
3. Kas põlevkivist tekkivad heitmed on laevale kahjulikumad kui muudest kütustest tekkivad heitmed?

Lisa 3. Intervjuuküsimused TalTech inseneriteaduskonna abiprofessor Allan Niidu

1. Milliseid põlevkivist toodetud kütuseliike on võimalik laevakütusena kasutada?
2. Kui konkurentsivõimelised on need kütuseliigid?
3. Kas põlevkivist toodetud kütus on perspektiivne?

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina __Evelin-Erika Kutnik_____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
_____Põlevkiviõli kasutamise võimalustest laevanduses alternatiivse
kütuseallikana_____

_____,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on __ Karina Vesselova _____,
(juhendaja nimi)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. jq 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.