



Esimene Eesti Põlevkivitööstus. Õlivabrik Kohtla-Järvel.

Foto: Eesti. 20 aastat iseseisvust sõnas ja pildis. (1939). Tallinn: Konjunktuurinstituut



Esimene Eesti Põlevkivitööstus. Õlivabrik Kohtla-Järvel.

Foto: Eesti. 20 aastat iseseisvust sõnas ja pildis. (1939). Tallinn: Konjunktuurinstituut

Kas põlevkivil on kohta ka tulevikus?



ALAR KONIST
Tallinna Tehnikaülikooli
energiatehnoloogia instituudi
professor

Eesti põlevkivi uurimisel ja kasutamisel on pikk traditsioon ning kohaliku teadmuse eiramine võib väga valusalt riigi rahakotile mõjuda.

Eestis kasutatakse põlevkivi peamiselt kahel eesmärgil – sellest toodetakse põlevkiviõli või rakendatakse selle põlemisel vabanevat soojust. Põlemissoojust võib rakendada mitmeti – toota elektrijaamades elektrit või viia läbi mitmesuguseid tehnoloogilisi protsesse, sealhulgas põletada tsemendiklinkrit, kuna põlevkivi oma mineraalosa koostise poolest sobib selleks hästi. Nii põlevkivil töötavate elektrijaamade kui ka põlevkiviõli tootmise tehnoloogia tänapäevane tehniline ja keskkonnavaline tase on saavutatud toetudes pikaajalistele ja keerukatele põlevkivialastele uuringutele.

PÕLEVKIVI KASUTAMISE JA PÕLEVKIVITÖÖSTUSE ARENG. Põlevkivi on looduses laialt levinud, seetõttu on seda kasutatud juba mitusada aastat paljudes riikides ja erisugustel otstarvetel. Esimene kirjalik kinnitus põlevkivi mahukamast kasutamisest pärineb aastast 1350, kui Austria Tirooli elanikud kaevandasid käsitsi põlevkivi, et toota sellest õli.

Põlevkiviõli tootmise protsessi nimetatakse utmiseks või sarnaselt teistest tahketest kütustest õli tootmise protsessidega ka pürolüüsiks. (Ots 2004) Põlevkivi ümbertöötlemise kohta leidub esimesi andmeid aastast 1596, kui Saksamaal lasti käiku esimene põlevkivi utmise tehas ihtüooli saamiseks (Aarna *et al.* 1954). Põlevkivitööstus kui selline sai aga alguse Šotimaalt, kui 1694. aastal Shropshire'i põlevkivi kuumutamisel suudeti kätte saada õli (Speight 2012). Samast aastast pärineb ka Inglise kuninglik patent „Meetod suure koguse pigi, tõrva ja õli saamiseks ühest erilisest kivimist“. Põlevkivi uurimisele omistas suurt tähtsust Peeter I, kelle käsul saadeti 1697. aastal Uhta jõe rajoonist leitud põlevkiviproov uurimiseks Hollandisse. (Aarna *et al.* 1954) Põlevkivi on tööstuslikult kasutatud ka Rootsis, kus 1723. aastast pärinevate teadete järgi ehitati Dagerhami maarjatehas, kus maarjat (kaaliumpulviiniumsulfaati) toodeti põlevkivituhha vesileotisest (Ots 2004).

Põlevkivi põletamise soojuse väärindamine kuumaks veeks, veeauruks, mehaaniliseks energiaks ja lõpuks ka elektriks on arenenud vastavuses üldiste suundumustega tahkekütuse põletustehnoloogias. Põlevkivi koostise omapärasest tingituna põletati seda koos teiste kütustega juba 18. sajandil. Volga põlevkivi tööstusliku kaevandamise ja iseseisva energeetilise kasutamise kohta leidub andmeid aastast 1860. (Ots 2004)

Põlevkivi termilise töötlemise tehnoloogiale pandi alus Prantsusmaal, kus 1832. aastal leiutati meetod põlevkivist

valgustusõli tootmiseks (Easac 2007). Autuni maakonnas tootis toona mitu vabrikut põlevkiviõli. 19. sajandil töötasid põlevkivi utmisetehased veel Austraalias, Ameerika Ühendriikides, Brasiilias, Saksamaal ja Šotimaal (Ots 2004). 20. sajandil avati põlevkivitööstusi veel ligemale kümnes riigis, sealhulgas Hiinas ja Iisraelis, ent neid on aeg-ajalt ka suletud (Austraalias, Inglismaal, Hispaanias, Rootsis, Uus-Meremaal jm).

Käesoleval ajal kaevandatakse põlevkivi arvestatavas koguses Eestis, Venemaal, Hiinas, Brasiilias, Austraalias, Jordaania ja Saksamaal. Suuri jõupingutusi põlevkivitööstuse arendamise nimel tehakse praegu Jordaania ja Austraalias. Arenenuim põlevkivitööstus on tänapäeval Eesti Vabariigis (seda eriti just elektroenergeetika), kuigi põlevkivi võeti meil kasutusele suhteliselt hilja.

Arenenuim põlevkivitööstus on tänapäeval Eesti Vabariigis.

Teadusringkondades teati põlevkivi olemasolust Põhja-Eestis juba 18. sajandil. Esimene kirjalik viide selle kohta on 1725. aastal J. G. Guldensdädi reisikirjas. Esimesed teadaolevad andmed Eesti põlevkivi teadusuuringutest pärinevad 1771. aastast, kui Rakvere lähedalt võetud põlevkiviproove analüüsiiti Peterburi Keiserlikus Teaduste Akadeemias. Analüüse viis läbi akadeemik I. G. Georgi, kes määras põlevkivist selle utmisel saadava õli koguse ehk õlisaagise ja ennustas esimesena analüüsides tulemuste põhjal võimalust saada sellest kivimist soojust ja õli. (Ots 2004) Aastal 1838 kirjeldas Peterburi Teaduste Akadeemia akadeemik G. Helmersen detailselt põlevkivi leiukohta Rakvere lähedal Vanamõisas. Ta viis läbi utmiskatseid ning kaalutles põlevkivi vedu Peterburi. (Aarna *et al.* 1954)

Põlevkivi geoloogia ja keemiaga tegelesid 19. sajandi keskel ka Tartu ülikooli teadlased A. Petzholdt, A. Schrenck, C. Schmidt, Fr. Schmidt jt. Esimese põhjaliku teadusliku uurimistöo Eesti põlevkivi keemilise koostise kohta koostas A. Šamarin 1870. aastal, andes täieliku ülevaate orgaanilise aine sisaldusest põlevkivis ja selle mineraalosa keemilisest koostisest (Aarna *et al.* 1954). Nende uuringute tulemused üldistas aastal 1878 P. Aleksejev, kui ta võrdles põlevkivi teiste tahkekütustega (Ots 2004). Peale seda rauges huvi põlevkivi vastu pikemaks ajaks.

Seoses Peterburi linna ja tööstuse kasvuga ning piirkonna kütusevaru nappusega hakkasid vene geoloogid 1910. aastal intensiivselt uurima Eesti põlevkivivarusid ja nende kaevandamise võimalusi, kavandades põlevkiviõli tootmist suures mahus. Esimese maailmasõja alguses aastal 1914 süvenes kütusekriis veelgi ja loodi Kütusekomitee A. S. Lomšakovi juhtimisel, mis lähetas 1916. aasta alguses Eestisse grupi geolooge korraldamaks põlevkivi kaevandamist ja selle vedu Peterburi. Kohtla ja Jõhvi raudteejaamade vahel leiti põlevkivilademed ja alustati kaevandamist. Sama aasta juunis saadeti 22 vagunit põlevkiviga Peterburi tööstuskatsetusteks. Põlevkivi kasutati Peterburi Keiserliku Polütehnilise Instituudi gaasivabrikus ja mitme tehase katlamajas. Samal ajal hakati põlevkivi katseliselt kasutama ka Eestis, mistõttu aastat 1916 ongi hakatud lugema Eesti põlevkivitööstuse algusaastaks.

Peterburis ja Eestis saadi oluline põlevkivi kasutamise kogemus, mille põhjal tehti järeldus – põlevkivi sobib kütuseks majapidamises, põletamiseks leek-suutsutoru katlas, tsemendiklinkri ja valgustusgaasi tootmiseks.

Peterburis, kus valitses terav kütusepõud, kavandati põlevkivil töötavate elektri jaamade ja õlivabrikute ehitamist, ent Eesti okupeerimine Saksamaa poolt ja sellele järgnenud Vabadussõda ei võimaldanud neid plaane ellu viia.

Põlevkivitööstust hakkas arendama iseseisvunud Eesti Vabariik ise.

Põlevkivi pidev kaevandamine algas Eestis kohe pärast iseseisvumist 1918. aastal, mil kaevandati 17 000 tonni põlevkivi. Algusaastail kasutati põlevkivi peamiselt tsemenditööstuses, vedurite kütteks ja kodumajapidamistes. (Ots 2004)

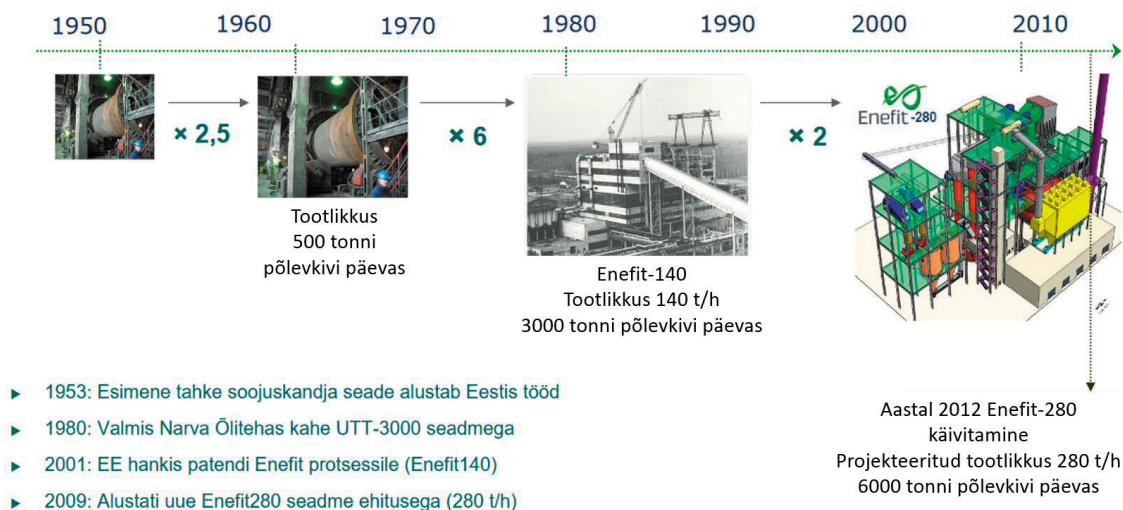
Kuna põlevkivi sobib eriti hästi oma mineraalosa koostise poolest tsemendiklinkri põletamiseks pöördahjus, siis kujunes esimeseks põlevkivi tööstuslikuks suurtarbijaks eelmise sajandi 20. aastatel Kunda tsemenditehas, mille pöördahjud viidi 1921. aastal täielikult üle põlevkiviküttele.

Õlitootmise uurimiseks ehitas Riigi Põlevkivitööstus 1921. aastal põlevkivi utmise katsegeneraatorid. Sealt saadud teadmiste põhjal rajati aastatel 1924–1943 neli õlitehast. Lisaks arendati ja ehitati teistes väliskapitalil põhinevates ettevõtetes tunnelahjusid ja pöörlevaid katse-retorte. (Reinsalu 2015)

Teise maailmasõja järel arenes põlevkivitööstus veelgi intensiivsemalt ja seda just Kohtla-Järvel ning Kiviõlis. Uue tootena hakati põlevkivist 1948. aastal tootma põlevkivigaasi, mida kasutati Peterburis

(hiljem ka Tallinnas) kuni aastani 1987 majapidamisgaasina. Tänu pidevale ja süstemaatilisele teadus- ja arendustegevusele jõuti õlitööstuses Nõukogude Liidu lõpuaastatel projekteerida tahkesoojuskandja (TSK) meetodil töötavad õlitehased põlevkivikasutuseni 3000 t/ööpäevas ühe seadme kohta. Projektvõimsuseni jõuti siiski ligi paarkümmend aastat hiljem. Antud TSK meetodit kasutavad praegu kõik Eesti põlevkiviõli tootjad: TSK-500 Kiviõli Keemiatööstuse OÜs, Petroter Viru Keemia Grupp ASis ning Enefit-140 Enefit Energiatööstus ASis. Modifitseeritud kujul on TSK meetod kasutuses Enefit-280 tehnoloogias, kus aerofontäänkolle on asendatud ringleva keevkihtpõletuse tehnoloogiaga. TSK areng ja tootmismahude kasv on esitatud joonisel 1.

Põlevkivienergeetika algus. Tähtis etapp põlevkivienergeetika ajaloos algas Tallinna Soojuselektrijaama üleviimisega põlevkiviküttele 1924. aastal ja seda aastat võibki lugeda põlevkivienergeetika algusaastaks (elektrienergia genereerimise tähenduses). Tallinna Soojuselektrijaama võimsus 1933. aastal oli 22 MW. Tollel ajal kasutati tükkpõlevkivi kihtpõletamist



JOONIS 1. TSK tehnoloogia areng.

Allikas: Anijalg (s.a.)

liikuvlülidega kaldrestidega kateldes. Selle tehnoloogia kasutuselevõtmisel olid märkimisväärsed teened Tallinna Tehnikaülikooli professoril E. Maltenekil. Tükkpõlevkivi kasutavate katelde areng kestis kuni möödunud sajandi 60. aastateni, misjärel hakati hoogsalt kasutusele võtma tolmpõletustehnoloogiat ja tükkpõlevkivi kihtkoldes põletamine kaotas järk-järgult oma tähtsust.

Esimised katsed põletada tolmustatud põlevkivi tehti juba 20. aastatel Eesti Raudtee veduritel ja ka Tallinna Soojuselektrijaamas, kuid suhteliselt edutult – katlatorud saastusid ja ummistusid kiiresti. Samal põhjusel ebaõnnestus ka tolmustatud põlevkivi põletamine selleks otstarbeks süvikveskiga seadistatud katlakoldes Leningradi oblastis.

Esimeste tolmpõlevkivikatelde käituskogemus näitas, et need on võimelised töötama vaid projekteeritud märksa madalamal koormusel, sest ilmnes katla eri piirkondades paiknevate soojusvahetite (kiirgus- ja konvektiivküttepinn) intensiivne saastumine tuhaga ja (ökonomaiseri) torude kiire korrosioon-abrasiivne kulumine. Nende katelde käitus tõi esmakordselt esile põlevkivi tolmküttekatla küttepinn saastumise, kõrgtemperatuurse korrosiooni, metalli kulumise, tuha saastest puhastamise ja soojusülekanne spetsiifilised probleemid. Selgus, et kivi- ja pruunsöe põletamiseks ettenähtud katlad ei ole suutelised rahuldavalt töötama tolmustatud põlevkivil, kuna viimasel on omalaadne keeruka koostisega mineraalne ja orgaaniline osa. Esile kerkinud probleemide teaduslik-tehniline lahendamine ei olnud elektrijaamadele jõukohane, paratamatult tuli selleks kaasata teadlasi ja luua uusi teadusgrupe. Teadusuuringute tulemuste järjepidev rakendamine võimaldas järk-järgult tõsta keskrõhukatelde (veeauru rõhk 2,4–3,9 MPa) käitusvõimsust ja luua põlevkivikatelde projekteerimise lähtealused. (Ots 2004)

Põlevkivienergeetika uue arenguetaapi alguseks tuleb lugeda 1959. aasta, sest selle

lõpul anti käiku esimesed põlevkivi tolmkütteil töötavad kõrgrõhukatelagregaadid Balti Elektriijaamas. Katelde tüübinimetuse oli TP-17 ning need olid valmistatud Taganrogi katlatehases. Paigaldatud 18 katlale ja kaheksale turbiinile (à 100 MW) lisandusid mõne aja pärast veel kaheksa katelt TP-67, mis toitsid auruga nelja turbiini (à 200 MW). Need kõik olid aurutorustikega omavahel ühendatud. Akadeemik Ilmar Öpik on oma meenutustes kirjutanud tolaegsest projekteerimisest ja tulemustest, et esialgset Taganrogi katlatehase katelde konstruktsiooni muudeti oluliselt, kuid lõpptulemusega ei saadud siiski „üldse rahul olla“. Auru tegelik käitustemperatuur osutus küttepindade tuhaga saastumise ja tuha kõrge korrosiooniaktiivsuse tõttu projekttemperatuurist madalamaks.

Põlevkivi tolmpõletuskatelde tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamist juhtis tol ajal akadeemik Ilmar Öpik, kellest sai Nõukogude Liidu juhtiv teadlane tahkete kütuste ja katlaehituse valdkonnas. Professor Ilmar Öpiku initsiatiivil asutati 1960 Tallinna Polütehnilise Instituudi juurde tööstusliku soojusenergeetika uurimislaboratoorium. (Siirde 2011)

Järgmine põlevkivienergeetika suursündmus oli Eesti Elektriijaama valmimine. Esimene energiaplokk anti seal käiku 1969. aastal, jaama projektvõimsus oli 1610 MW. Ühe energiaploki moodustasid turbogeneraator ja kaks TP-101 tüüpi tolmküttekatelt. Ploki nominaalne elektriline brutovõimsus oli 185 MW ja ploki kasutegur alla 30 protsendi. Kokku ehitati kaheksa energiaplokki. Põlevkivi tolmpõletusel toimub kütuseosakeste põlemine koldetemperatuuril umbes 1400 °C, mis avaldab olulist negatiivset mõju õhuheitletele, mis ongi nüüdisaegses keskkonnavalas kontekstis tolmpõletustehnoloogia kasutamise komistuskiviks. Nimelt ei vasta keskkonnaheitmed regulatsioonides nõutule ja energiaplokid on oma metalli jääkressursi ammendanud.

Võrreldes Balti Elektriijaama kateldega TP-67 olid Eesti Elektriijaama katlad TP-101 neljakäigulised, raskemad ja metallimahukamad, kuid saavutasid projekteeritud võimsuse ehk teadus- ja arendustegevus oli kandnud vilja.

21. SAJANDI MUUTUS PÕLETUS-TEHNOLOOGIAS. Akadeemikute Ilmar Öpiku ja Arvo Otsa eestvedamisel muutus põlevkivienergeetikas 21. sajandil põletustehnoloogia. Sellele eelnes aga pikaajaline teadus- ja uurimistöö, mis päädis põletuskatsetega nii mitmes Euroopa põlemisuuringute laboris kui ka Eesti TA Energeetika Instituudi laboris, enne kui võeti vastu lõplik otsus põletustehnoloogia muutmiseks.

Kui senini toimus põlevkivi põletamine tolmustatud kujul ja kõrgetel temperatuuridel (tolmpõletus), kus kõrgeim temperatuur koldes jäi vahemikku 1400–1500 °C, siis madaltemperatuurisel põletamisel (keevkihtpõletus) on aga põlevkivi suurim lubatud tükisuurus kuni 10 mm ning põlemistemperatuurid koldes oluliselt madalamad ja jäävad vahemikku 800–900 °C.

Statsionaarne keevkihtpõletustehnika ei sobi üldiselt põlevkivi põletamiseks kütuse suure lendosa sisalduse ja keevkihisisesee soojusvahetuspinna vajaduse tõttu. Eriti sobivaks on osutunud põlevkivi põletamine tsirkuleeriva keevkihtkoldega katlas, kus keevkihti moodustavaks materjaliks on põlevkivi põlemisel moodustuv tuhk.

Põlevkivi keevkihtpõletusel karbonaatmineraalide termilisel lagunemisel moodustub aktiivne lubi (puudub ülepõletus) seob koldes väävl põlemisel tekkiva vääveldioksiidi täielikult kaltsiumsulfaadiks. Seda soodustab madal põlemistemperatuur ja intensiivne massisiire keevkihis. Koldest väljuvas põlemisgaasis on SO₂ kontsentratsioon tühiselt väike. Seetõttu puudub ka vääveldioksiidi emissioon õhuatmosfääri ja vajadus katlavälise väävlipüüdeseadme järele, nagu seda on vaja põlevkivi tolmpõletuse puhul.

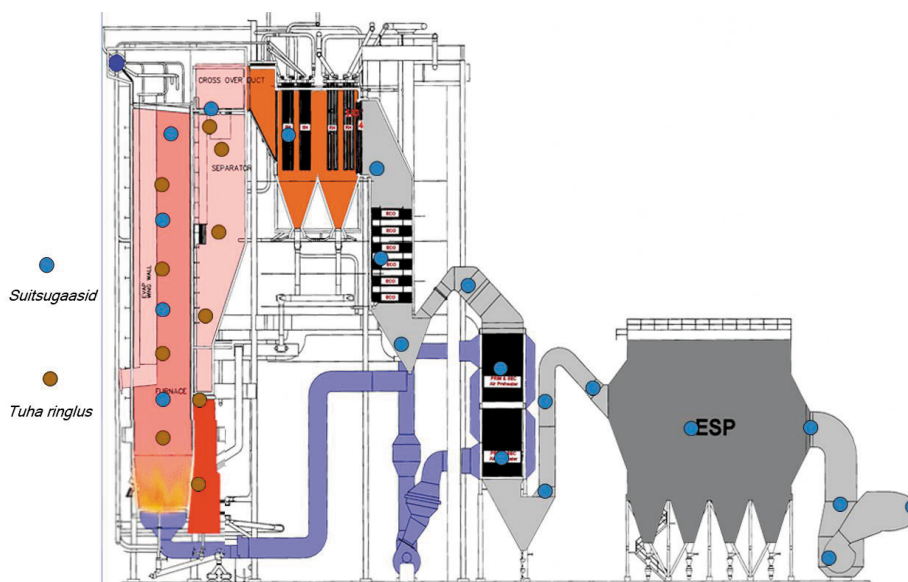
Kui põlevkivi kõrgtemperatuurisel põletamisel karbonaatmineraalid

lagunevad praktiliselt täies ulatuses, siis madaltemperatuurisel põletusel keevkihis jääb märgatav osa karbonaatmineraalidest lagunemata. See vähendab süsihappegaasi ehk CO₂ kontsentratsiooni põlemisgaasis. (Ots 2016) Vääveldioksiidi puudumise ja leelismetallide aurufaasi madala osarõhu tõttu põlemisgaasis on üldiselt välistatud koldejärgsetes gaasikäikudes paiknevatele soojusvahetuspindadele seotud sulfaatse tuhasadestise moodustumine, mis on senini olnud probleemiks tolmpõletusel.

Madal põlemistemperatuur koldes pärsib samuti õhukeskkonda saastavate lämmastikoksiidide teket. Lämmastikoksiidide kontsentratsioon põlevkivi põlemisgaasis jääb allapoole lubatud piirväärtust ja seetõttu pole vaja ka lämmastiku püüdeseadmeid, nagu seda on vaja põlevkivi tolmpõletusel.

Nii Eesti kui ka Balti Elektriijaamas asendati ühe 200 MW võimsusega energiaploki tolmküttekatlad ringlevate keevkihtkateldega (käivitati 2004). Energiaploki elektriline võimsus tõsteti seejuures 215 MWni, kuna moderniseeriti ka auruturbiin.

Joonisel 2 on esitatud põlevkivi ringleva keevkihtkatla lõige koos tuha ringluse ja suitsugaaside liikumisteeconnaga. Valitud ringleva keevkihtpõletustehnoloogia korral saavutatakse põlevkivi efektiivne põlemine juba madalatel temperatuuridel ja seda tänu kütuseosakese pikale viibejale põlemisprotsessis. Keevkihtpõletusel moodustatakse kütuse põlemisel tekkivasse gaasivoolusesse tahkete osakeste hõljumi abil kahefaasiline keskkond. Ringlevas keevkihis kanduvad tahked osakesed kolderuumist välja, püütakse osaliselt tsüklonitega kinni ja suunatakse läbi soojusvaheti vajadusel koldesse tagasi. Osakesed, mida kinni ei püüta, annavad soojuse küttepindadele. Antud muudatus võimaldas vähendada primaarsete meetmetega põlevkivienergeetika keskkonnamõju mõningatel juhtudel isegi enam kui tuhat korda. Ühe ilmekaia näitena saab siin tuua SO₂ emissioonid, mis tolmpõletuse korral ilma



JOONIS 2. Ringleva keevkihtkatla lõige.

Allikas: Siirde (2011)

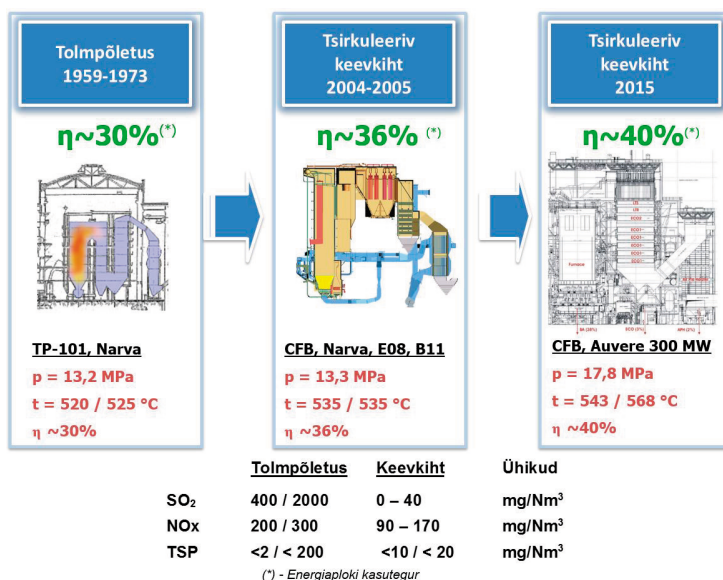
Muudatus võimaldas vähendada põlevkivienergeetika keskkonnamõju mõningatel juhtudel enam kui tuhat korda.

täiendava väävliärastuseta olid ligikaudu 3000 mg/Nm³, kuid keevkihtpõletusel on nüüd vahemikus 0–30 mg/Nm³. Veel üks ringleval keevkihil töötav 300 MW elektrilise võimsusega elektrijaam lisandus 2015. aastal (joonis 3).

EIRATI KOHALIKKU TEADMUST.

Hoolimata põlevkivi põletamisega aastakümneid tegelenud kohalike ekspertide soovitustest peeti käesoleval juhul odavamaks ja mõistlikumaks osta katla-tootjalt Alstom nn võtmed-kätte-lahendus, kus põlevkivi eripärast lähtuvalt erilisi konstruktsioonilisi ja tehnoloogilisi muudatusi ette ei nähtud. Praeguseks on

selge, et võetud risk ennast ei õigustanud. Saastumine ja korrosioon, mida eelmiste põlevkivi keevkihtkatelde juures suudeti vältida, on Auvere põlevkivikatla juures uuesti muutunud väga suureks ja tõsiseks probleemiks. Probleemide juurpõhjuseks on Eesti teadlaste ja inseneride aastakümnetepikkuse töö ja kogemuse eiramine põlemistingimuste valikul, õhuelsoojendi ja ülekuumendi disainil. Esiteks toimub lähtekütuse ehk põlevkivi ülepeenestamine ja teiseks kasutatakse kõrgemaid temperatuure, mis põhjustab katla konvektiivsesse ossa suunduva lendtuha kontsentratsiooni kasvu. Seetõttu ei saadud algselt ka korstnast väljuvaid lendtuha emissioone paika ja oli vaja paigaldada täiendav kottfilter. Kuna Auvere keevkihtkatla puhul on juba algselt põlemistemperatuurid koldes kõrgemad võrreldes varasemate keevkihtkateldegaga ja tsüklonid on jahutamata, siis on soodsamad tingimused tuhasadestiste tekkeks nt ülekuumendite küttepinnal. Lisaks on Auvere ülekuumendi küttepinnad paigutatud horisontaalselt erinevalt varasema Foster Wheeleri lahendusest, kus ülekuumendi küttepinnad on suitsugaasi



JOONIS 3. Põlevkivikatelde areng viimasel poolsajandil.

Allikas: Autori koostatud

käigus vertikaalse paigutusega ja tuhasadestistest lihtsasti puhastatavad (vt joonis 2). Lisaks on Auvere puhul eksitud auru ülekuumenduse temperatuuridega. Konvektiivsesse suitsugaasikäiku on paigutatud vaheülekuumendi, mille temperatuurid on juba sellises vahemikus, kus toimub kõrgetemperatuurne kloorikorrosioon, mida täiendavalt kiirendab tuhasadestise olemasolu.

On avalik saladus, et võtmed-kättele lahendusena saadi Hiina jaoks disainitud söe põletamiseks mõeldud katel, mis ei saagi ettenähtud koormusel töötada põlevkiviga. Põlevkivikatelde viimase poolsajandi arengud on näha joonisel 3.

EESTI PÕLEVKIVIKEEMIA UURIMIS-SUUNA RAJAJA. Põlevkivi põhjaliku ja süstemaatilise uurimisega on nüüdseks tegeldud juba üle sajandi ja seda nii keemiasaaduste, õlitootmise kui ka energeetika vallas. Tõstan esile vaid teadlase, keda võiks pidada teerajajaks.

Eesti põlevkivikeemia uurimissuuna rajajaks loetakse Tartu Ülikooli orgaanilise keemia professorit, Eesti Teaduste

Võtmed-kättele lahendusena saadi Hiinale disainitud söepõletuskatel, mis ei saagi ettenähtud koormusel töötada põlevkiviga.

Akadeemia akadeemikut Paul Kogermani, kes rajas Tartu Ülikooli keemiainstituudi juurde õlikivide uurimise labori ja asus seda juhatama. See oli maailmas esimene põlevkivi süstemaatilise uurimise keskus. Tema teadustegevus oli suunatud põlevkivikeroogeeni päritolu ja struktuuri, põlevkivi koostise ja kasutatavuse, dieenide sünteese meetodite ja polümerisatsiooni uurimisele.

Põlevkivist keemiatoodete saamise esimese etapina on üldiselt käsitletud termilist töötlemist ja eriti just utmist. Valdav osa teaduskirjanduses avaldatud

infost käsitlebki just utmise protsesse ja nende protsesside tingimuste mõju saadud gaasilise ja vedela komponendi koostisele ning saagisele. On teada, et utmisel saadava põlevkiviõli koostis erineb oluliselt nafta koostisest, olles justkui midagi toornafta ja puidu pürolüüsil saadava bioõli vahepealset. Erinevalt toornaftast on põlevkiviõli koostises vähe küllastunud süsivesinikke, seevastu moodustavad umbes 50 protsenti põlevkiviõli koostises olevatest ühenditest mitmesugused hapnikuühendid (sh fenoolid ja neutraalsed hapnikuühendid).

Nimetatud hapnikuühenditest on olulisimad vees lahustuvad kahealuselised (ehk kahe OH-rühmaga) alküülfenoolid ehk alküülresortsinoolid, mida eraldatakse põlevkivi utmise jääkproduktist, utteveest. Saadud alküülresortsinoolide rakendusvõimalusi uuriti aktiivselt 1950. aastate lõpust kuni 1980. aastate lõpuni praeguses Tallinna Tehnikaülikoolis ja Eesti Teaduste Akadeemia Keemia Instituudis. Tööde tulemused jõudsid ka tööstusesse (eelkõige tollasesse Kohtla-Järve Põlevkivikeemia Tootmiskoondisse, praegune VKG AS), osalt tänu tööstuse initsiatiivile ja teadust soosivale suhtumisele. Töötati välja menetlus resortsinoolide lahutamiseks ja puhastamiseks. Tuntumateks produktideks olid DFK-tüüpi alküülresortsinool-formaldehüüdvaigud (DFK tuleneb sõnadest difenool ja kompleksmoodustaja), mille litsents müüdi ka 1976. aastal Jaapanisse firmale Nagoya Oil Chemical. (Kaps *et al.* 2008)

Viimase aja teadustegevus põlevkivikeemia valdkonnas on keskendunud resortsinoolidepõhiste aerogelide (väikese tihedusega ja suure eripinnaga materjal) valmistamise uurimisele (teadusgrupi juht Mihkel Koel) ja põlevkivi orgaanilise materjali kerogeeni osalise vesikeskkonnas oksüdeerimisel põhineva dikarboksüülhapete valmistamise protsessi uurimisele (teadusgrupi juht akadeemik Margus Lopp).

PÕLEVKIVIELEKTER JA PÕLEVKIVI-ÕLI. Nüüdseks on Eestis kujunenud olukord, kus põlevkivist ja selle kasutamisest

rääkimine on muutunud kohati tabuks. Miks nii? Sest on levimas arvamus, et me ei suuda põlevkivi efektiivselt ja keskkonnasõbralikult kasutada. Uurides võrdlustabeleid ELiga tuleb esimese hooga välja, et me toodame elektrit suurima CO₂ jalajäljega elaniku kohta ja ka ohtlike jäätmete teke toodetud energiaühiku, õlilüütri või siis elaniku kohta on ülejäänud ELi riikidest kõrgem. Millest see tuleneb? Selle põhjuseks on väga lihtne asjaolu, nimelt Eesti on olnud ainuke ELi riik, kes seni on olnud võimeline elektrit tootma ka ekspordiks. See tähendab, et lisaks Eestisse jäävatele hüvedele nagu maksud, keskkonnatasud ja riigi dividenditulud, jäävad siia statistikasse ka kõik heitmed, mille kohta käib elanikupõhine arvestus. Seda näiteks nii õhu kui ka tuhaemissioonide näol. Negatiivset keskkonnamõju suurendab veelgi asjaolu, et senini on olnud majanduslikult kasumlik ka vanades tolm-põletuse kateldes elektrit toota. Samas kui võrrelda tolm-põletust keevkihtpõletusega, saab öelda, et tolm-põletusel on

- ▶ 30–35% kõrgem CO₂ emissioon,
- ▶ 25–40% kõrgem kütusekulu toodetud energiaühiku kohta,
- ▶ 25–40% kõrgem tuhatেকে kogus ja
- ▶ kordades kõrgemad muud gaasilised emissioonid.

Kõik see aga viib ekslike järeldusteni. Tegelikult tuleks lõpetada tolm-põletusel töötavate energiablokkide kasutamine ja nendes toodetud energia eksport. Seda tuleks teha ka seetõttu, et tegemist on kõrgrõhu all töötavate surveseadmetega ja kõikidel auruturbiinidel on ületatud tehase poolt lubatud projektunnid, milleks oli 250 000 tundi. Praeguseks on kõikide tolm-põletuse energiablokid töötanud 315 000 tundi ja rohkem ning siin midagi renoveerida enam pole. Tuleb keskenduda vaid riigi energiajulgeoleku tagamisele ja seda võimalikult keskkonnasõbralikul teel. Energiatootmise seisukohalt jäävad siis keevkihttehnoloogial töötavad plokid – Auvere 300MW ja Foster Wheeleri 215MW ning Foster

Wheeleri 195MW Balti elektrijaamas. Siiski on vaja siinkohal ära mainida, et Foster Wheeleri keevkihtplokkide puhul rekonstrueeriti vanad auruturbiinid, mistõttu nende eluiga enam üle kümne aasta pole.

Õlitootmine on ELi süsinikulekke sektoris ja seda reguleeritakse teistel põhimõtetel, seetõttu on avalikkusel ekslikult tekkinud arvamus, et õlitootmine on võrrelduna elektritootmisega keskkonnasõbralikum ja energiaefektiivsem. Paraku see nii pole. Sõltuvalt turuolukorras võib õlitootmine majanduslikult olla tulukam, kuid ka siin mängib rolli keskkond. Kui on leebemad keskkonnastandardid (SO_2 30–500 mg/Nm³, NO_2 100–400 mg/Nm³, H_2S 110–600 mg/Nm³, CO 3000–6100 (3% O_2 juures, kuivad gaasid) jt) (Keskkonnakompleksluba s.a.), siis nende saavutamiseks tuleb ju ka vähem kulutusi teha. Näiteks vääveldioksiidi emissioone põlemisprotsessi suitsugaasides olla ei tohi ja suur CO sisaldus näitab mittetäielikku põlemist, ehk energia raiskamist. Oluline on rõhutada, et elektrijaam on see, mis utiliseerib õlithase tuha, pürolüüsivee ja uttegaasi. Juhul kui elektrijaam ei tööta, peab seisma jääma ka õlithas. Elektrijaamad on teinud investeeringuid, et õlitootmise jääke utiliseerida. Tegelikult oleks pidanud seda tegema õlitootmine – aga siis ei tunduks ju õlitootmine nii kasumlik.

PÕLEVKIVITEHNOLOOGIA JA VALDKONNA TEHNOOLOOGLISED

UUENDUSED. Inimeste kliimateadlikkus ja pidevalt karmistuvad keskkonnastandardid seavad põlevkivitööstustele uusi piire, mida ületada. Uued nõuded ei ole alati arengut pidurdavad. Pigem on nad tehnoloogiaalaste uuenduste ja arenduste mootoriks. Sellist trendi on näha olnud ka põlevkivitööstuses, kus üheks suurimaks muutuseks on olnud põletustehnoloogia vahetamine tolmpõletuselt keevkihttehnoloogiale. Keevkihtpõletustehnoloogia on sisuliselt keskkonnahoiu projekt, mis aitab

täita karme keskkonnastandarditeid ja seda isegi ilma täiendavate vääveli- ja lämmastikupüüdumise (deSOx ja deNOx) seadmeid kasutamata. Teadus- ja arendustegevuse tulemina on suudetud teha parim ja optimaalseim tehnoloogia valik – ringlev keevkiht. Siiski ei määra ainult tehnoloogia saavutatavat lõpptulemust. Oluline roll on ka katelde opereerimistingimustel (temperatuurid, gaaside kiirused, kütuse- ja õhujaotus, kütuse granulomeetria jne).

Lisaks elektritootmisele on keevkihttehnoloogial nüüdseks oma osa ka Enefit-280 põlevkiviõli tootmistehnoloogias. Seda jällegi seetõttu, et õlitootmist võimalikult keskkonnasõbralikuks muuta. Lisaks, tänane keevkihttehnoloogia võrrelduna tolmpõletustehnoloogiaga võimaldab ligikaudu 25–40 protsendilist kütusesäästu ühe toodetud energiaühiku kohta. Kui uurida, milles seisneb keevkihi uuendus, siis lihtsat ja otsest vastus sellele pole. Olulisim erinevus võrreldes tolmpõletusega on 500–700 °C madalam

Keevkihtpõletustehnoloogia on sisuliselt keskkonnahoiu projekt, mis aitab täita karme keskkonnastandarditeid.

põlemise temperatuur, mistõttu lämmastikoksiidide emissioonid on märgatavalt madalamad. Tänu madalamatele temperatuuridele ja Eesti põlevkivile omase kaltsiumirikka tuha ringlusele toimub kütusega katlasse antud ja põlemisel tekkinud SO_2 tagasisidumine põlevkivituha poolt. Sisuliselt võiks SO_2 osas praktiliselt nullemissiooni saavutamist pidada suurimaks innovatsiooniks, mis põlevkivitööstuses on toimunud, sest söekatdel selliseid tulemusi ei suudeta

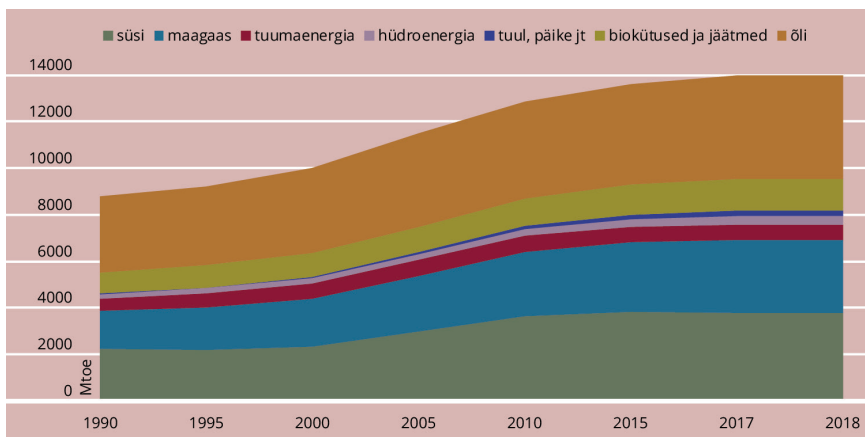
saavutada ja selles osas käib maailmas veel tõsine uurimine. Lisaks on nõuded kütuse homogeensusele ja peensusele oluliselt leebemad võrreldes tolmpõletustehnoloogiaga ning keevkihttehnoloogia lihtsustab oluliselt sarnase põlemiskineetikaga kütuste koospõletamist. Veel vääriks äärmärkimist auru ülekuumenduseks viimase astme viimine konvektiivsest suitsugaasikäigust koldesse tagasi suunatavasse tuhavoogu. Seetõttu aurustusküttepinnad ei puutu kokku suitsugaasidega, mis sisaldavad lendtuhka ja korrosiooniaktiivseid komponente. Säärase lahenduse tõttu ei saa ülekuumendi pindadele tekkida tihkeid ja raskesti eemaldatavaid tuhasadestisi ja sedasi on oluliselt vähendatud ka kloorikorrosiooni riski. Lõppresuldaadina on tagatud aurutootlikkus ja ka töökindlus. Need on siiski vaid mõned keevkihttehnoloogia pakutavad uudsed lahendused.

Võiks eeldada, et rohkem pole vaja tehnoloogiliste uuendustega tegelda ja parim võimalik tehnoloogia on nüüdseks leitud, eriti olukorras, kus soovime CO₂ emissioonide viimist nulli kanti ja fossiilkütuseid enam ei kasuta. Paraku ei. Praegu see siiski veel niimoodi ei ole. Maailma kontekstis on fossiilkütuste kasutamine hoopiski kasvanud. Kasvanud

on ka CO₂ kontsentratsioon atmosfääris. Vaadates st maailma primaarenergia tootmise portfelli joonisel 4, siis näeme, et suures mahus baseerub see fossiilkütustel. Seega tuleb paralleelselt uurida, kuidas vähendada tarbimist ja emissioonide teket.

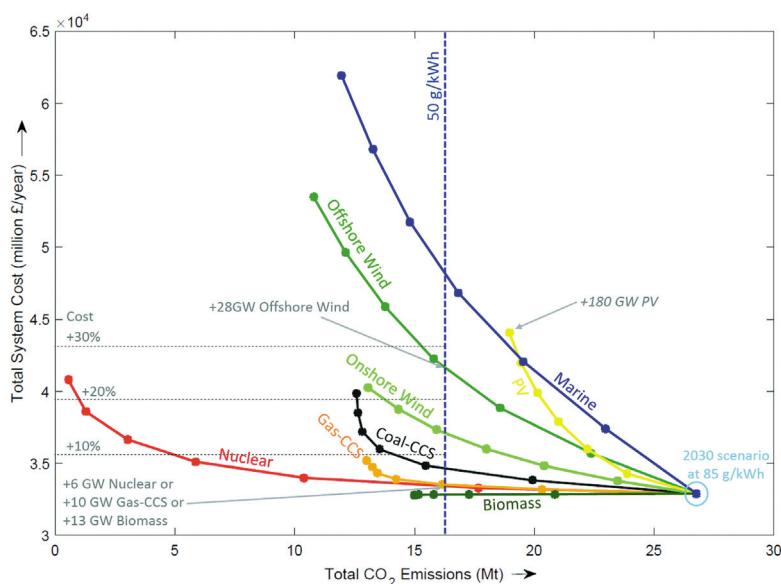
Sellest järeldub, et tänases kontekstis on kindlasti vaja tegelda CO₂ emissioonide ja tuhaheitmete vähendamisega. Mõned CO₂ vähendamise võimalused ja maksumus on esitatud joonisel 5.

Graafikult selgub, et uurida tuleb ka CCS ja/või CCU (süsiniku püüdmise ning ladestamise ja/või kasutamise) tehnoloogiate sobilikkust meie põlevkivile, sest söele nähakse sellist võimalust ette. CO₂ püüdmine ei ole iseenesest tehnoloogilisest vaatepunktist midagi uut. Keemiatööstuses on seda rakendatud juba aastakümneid. Probleemid on tekkinud aga CO₂ püüdmise rakendamisel energeetikas, kus määravaks saab süsteemi mastaap ja protsessi võimalikult väike maksumus. Tulenevalt paljuski just protsessi/tehnoloogia maksumusest, uuritakse erinevaid CO₂ püüdmise tehnoloogiad, mis on avalikkusele laialt tuntud ingliskeelse lühendite kombinatsiooniga CC (*carbon capture*). Enamasti on tähekkombinatsioon täiendatud – vastavalt kas CCS (*carbon*



Joonis 4. Maailma primaarenergia tarbimine.

Allikas: BP (2019)



JOONIS 5. CO₂ emissioonide tekkimise mahu vähendamise võimalused ja nende mõju hinnale. Allikas: Bui et al. (2018)

capture and storage või ka *carbon capture and sequestration*) või CCU (*carbon capture and utilization*).

See on järgmine suur tehnoloogiline uuendus, mis nõuab suurt pingutust nii teadlastelt kui hiljem ka tehnoloogiat rakendama hakkavalt tööstuselt. Rakendades CCS või CCU tehnoloogiat koos biomassi ja põlevkivi koospõletusega võiks olla võimalik saavutada negatiivne CO₂ emissioon.

Põlevkivitööstuses on läbi aegade olnud nii tõuse kui mõõnu. Põlevkivi tuleviku musta stsenaariumi on kuvatud viimased kaks aastakümnet. Sõltumata ELi karmitunud kliimapoliitikast, vahepealsest madalseisust nii õliturgudel kui ka madalatest elektrihindadest on põlevkivi toodang olnud siiski turul konkurentsivõimeline ja praeguste hindade valguses uute tehnoloogiate rakendamisel kasumlik nii elektri- kui ka õlitootmise seisukohast. Madalate õlihindade juures oli just elektritootmine see, mis hoidis ettevõtetel nina vee peal ja tootmist kasumis ning aitas seetõttu mõõnaperioodi kergemini üle elada. Sellest viimasest kogemusest

lähtuvalt võib väita, et kui põlevkivil on tulevikku, siis seda on just multitööstusel, kus tegeletakse nii õli- kui ka elektritootmisega. Siinkohal on oluline rõhutada asjaolu, et elektritootmisel me saame põlevkivis sisalduvast energiast kätte ligikaudu 90 protsenti, õlitootmisel aga 80–85 protsenti energiast. Elektritootmise lõppkasutegur on seotud Carnot' ringprotsessi termilise kasuteguriga ja seetõttu on see ligikaudu 40 protsenti. Elekter on antud juhul lõpptood. Õlitootmisel ei ole õli lõppprodukt. See võetakse hiljem veel kasutusele. Juhul kui seda kasutatakse näiteks sisepõlemismootoris elektri genereerimiseks, siis on kasutegur alla 30 protsenti. See ei konkureeri aga mitte kuidagi elektrijaama kõrge 40protsendilise kasuteguriga. Tulles heitmete juurde, siis sisepõlemismootoris toimivas põlemisprotsessis oksüdeerub energia vabanemiseks seni õlis olnud süsinik CO₂ks. Sellisel juhul on ka põlevkiviõlist elektri tootmisel tekkiv CO₂ emissioon kõrgem võrreldes põlevkivielektrijaamades tekkiva CO₂ kogustega. Seega saab võrrelda heitmeid vaid lõpptootes suhtes ja kui õli tänapäeval

Eestist välja eksporditakse, siis see ei tähenda, et põlevkiviõliga seondud CO₂ emissioon oleks pea olematu. See CO₂ emissioon tekib lihtsalt Eestist väljaspool, kohas, kus seda õli parasjagu kasutatakse.

UURIDA VÕI MITTE. Jätkuvalt tuleks tegelda ka põlevkivikeemia ja muude põlevkivialaste uuringutega, sest meie loodusressurss muutub väärtuseks, kui me teame selle olemasolu, omadusi, mahtu ja paiknemist ning oskame seda erinevates rakendustes keskkonnasäästlikult kasutada. Igat uuringut ja uurimistulemust ei tohiks panna kohe rahalisse vääringusse, sest me ei tea kunagi, millal üks või teine teadmine täiendavalt kasuks võiks tulla. Kui me ise oma põlevkivi ei uuri, kes seda siis veel teeb?

Praeguste rakenduste piires esimene temaatika, mille suunas uuringutega edasi liikuda, on tuha taaskasutus. Kui seni on põlevkivituhka käsitletud ohtliku jäätmena, siis viimaste uuringute põhjal saab öelda, et põlevkivituhk ei ole mingil moel

ohtlikum sõe tuhkadest (Põlevkivituhkade ohtlikkuse uuring 2019) ja maailmas on populaarseks teemaks tuha taaskasutus. Juhul kui suudame võtta põlevkivituhka uuesti ehitusmaterjalina – tsemendina kasutusele, siis on võimalik kokku hoida maavarasid, sest tsemendi tootmiseks on vaja vähem kaevandada savimineraale ja lisaks suudame termilise töötuse käigus toota kõrvalproduktina ka elektrienergiat. Samuti hoiaime sellise käsitusega kokku CO₂ emissioone, mis sellisel kujul annaks põlevkivienergeetikale uue hingamise. Tuha töötlemist toetaks ka õlitehastest saadav uttegaas, mis oleks kasutatav termotöötuse vahendina. Aga see on vaid üks võimalik uurimissuund. Erinevaid uurimisvaldkondi ja teadussuundi ei tohiks piirata. Uurida tuleks ka CCUS-lahendusi ehk süsiniku püüdmise ja kasutamise või ladustamise lahendusi põlevkivile. Ainult nii saame jõuda uudsete ja nüüdisaegsete rakenduste ning innovatsioonini.

KASUTATUD ALLIKAD

AARNA, A., KASK, K., REIER, A., ÖPIK, I. (1954). Põlevkivi. Eesti Riiklik Kirjastus.

BP. (2019). BP Statistical Review of World Energy. 68th edition. – <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>.

BUI, M., Adjiman, C. S., Bardow, A., Anthony, E. J., Boston, A., Brown, S., Fennell, P. S., Fuss, S., Galindo, A., Hackett, L. A., Hallett, J. P., Herzog, H. J., Jackson, G., Kemper, J., Krevor, S., Maitland, G. C., Matuszewski, M., Metcalfe, I. S., Petit, C., Puxty, G., Reimer, J., Reiner, D. M., Rubin, E. S., Scott, S. A., Shah, N., Smit, B., Trusler, J. P. M., Webley, P., Wilcox, J., Mac Dowell, N. (2018). Carbon Capture and Storage (CCS): The Way forward. – Energy & Environmental Science, 11(Part A), 1062–1176. – DOI: 10.1039/C7EE02342A.

EASAC. (2007). A Study on the EU Oil Shale Industry – Viewed in the Light of the Estonian Experience. – A report by EASAC to the Committee on Industry, Research and Energy of the European Parliament. European Academies Science Advisory Council.

KAPS, T., Mölder, L., Christjanson, P., Mellikov, E., Krunk, M., Munter, R., Uus, E., Tearo, E., Kuusik, R., Kreen, M., Viikna, A., Soone, J. (2008). Keemia- ja materjalitehnoloogia teaduskond. – Leiutajaid ja leiutisi Tallinna Tehnikaülikoolis 1922–2007, 48–71.

KESKKONNAKOMPLEKSILUBA. (s.a.). – https://www.envir.ee/sites/default/files/176540_6lit22stus.pdf.

OTS, A. (2016). Tahkekütuse keevkihtpõletustehnika. Tallinn: TTÜ Kirjastus.

OTS, A. (2004). Põlevkivi põletustehnika. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda.

PÕLEVKIVITUHKADE OHTLIKKUSE UURING. (2019). – <https://www.digar.ee/viewer/en/nlib-digar:399360/341741/page/1>.

REINSALU, E. (2015). Eesti põlevkivi töötlemine. Estonian Oil Shale Processing. – DOI: 10.13140/2.1.3041.3600.

SIIRDE, A. (2011). Energeetika: juhtmeidpidi põlevkivi küljes. – Horisont, 2, 32–39.

SPEIGHT, J. G. (2012). Shale Oil Production Processes. Gulf Professional Publishing.