



KUKERSIIT – EESTI PÕLEVKIVI

KESK-ORDOV.				ÜLEM-ORDOVIITSIUM					GLOBALNE LADESTIK
V I R U									LADESTIK
UHAKU			KUKRUSE				HALJALA	LADE	
KÕRGEKALDA			VIIVIKONNA				TATRUSE	KIHISTU	
KOLJALA	PÄRTL-ORU	ERRA	KIVIÕLI	MAIDLA	PEETRI			KIHISTIK	
g-h c-d b a x			D-F B-C A		H G	I II III IV V VI VII VIII IX X	KUKERSIIDI-KIHID		

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut
Turu Ülikooli geoloogiaosakond

KUKERSIIT – EESTI PÕLEVKIVI

Tallinn 2006

**Kukersiit – Eesti põlevkivi.
MTÜ GEOGuide Baltoscandia, Tallinn.**

ISBN-13: 978-9985-9763-4-0

ISBN-10: 9985-9763-4-7

Koostajad: Aasa Aaloe (tekst)
Heikki Bauert
Alvar Soesoo

Täname: Olle Hints
Robert Karpelin
Vello Kattai
Jüri Nemliher
Mati Rammo
Rein Raudsep
Enno Reinsalu
Kalmer Sokman

Toimetaja: MTÜ GEOGuide Baltoscandia

Kujundus: Andres Abe

Joonised: Heikki Bauert

Fotod: Heikki Bauert

Esikaas: Estonia kaevandus

Tagakaas: põlevkivi kihipind sammalloomadega, B kiht (foto: Allan Liivamägi)

© MTÜ GEOGuide Baltoscandia, 2006



Raamatu väljaandmist kaasfinantseerisid:
Euroopa Regionaalarengu Fond, Eesti Vabariigi
Siseministeerium ja TTÜ Geoloogia Instituut
INTERREG IIIA Lõuna-Soome ja Eesti programmi
raames.

2006. a märtsis läbis meie ajakirjandust teade, et Eestis on toodetud miljard tonni põlevkivi. Selleks kulus 90 aastat. Esimesed vagunid põlevkivi kaevandati 1916. a ja saadeti uuringuteks Petrogradi. Seda daatumit peetakse põlevkivitootmise alguseks Eestis.

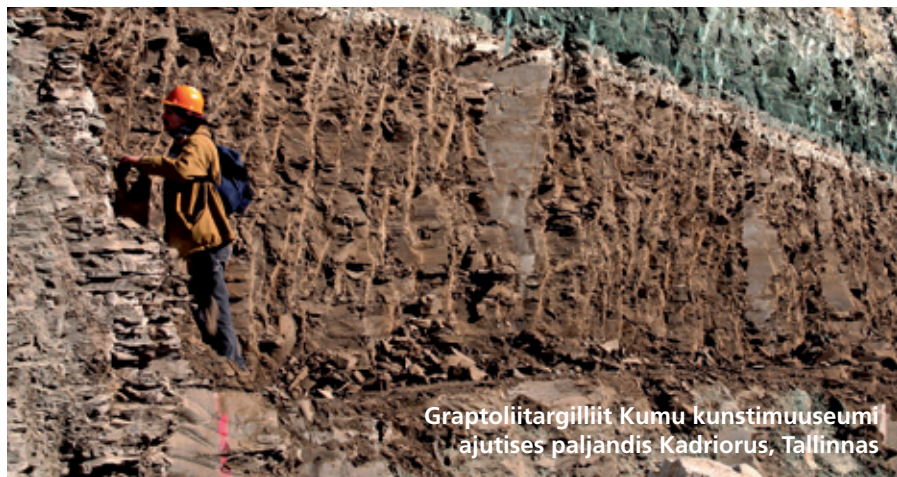
MIS ON PÕLEVKIVI?

Mida siis kujutab endast põlevkivi, et huvi tema vastu on kestnud peaaegu terve sajandi? Üldiselt öeldes on põlevkivi kivim, milles on niipalju orgaanilist ainet, et ta põleb. Põlevkivi üldtunnustatud definitsioon puudub ja nii nimetatakse põlevkivideks enamasti savikaid või karbonaatse koostisega peeneteralisi settekivimeid, mis sisaldavad tahket orgaanilist ainet ehk kerogeeni. Erinevate põlevkivide kerogeenisalduse alumiseks piiriks loetakse 5–25%.

Sarnaselt kivisöele saab ka põlevkivi kütusena kasutada ümbertöötamata kujul, õli saadakse põlevkivist aga keemiliste protsesside abil. Eesti maapõues on kaks orgaanikarikast põlevat kivimit: graptoliitargilliit ja kõigile teada olev põlevkivi ehk kukersiit.

Graptoliitargilliit

Graptoliitargilliit, ka diktüoneemakilt või diktüoneema-argilliit, rahvapäraselt konnatahvel, kujutab endast tumedat mustjas- või hallikaspruuni peeneteralist savikivimit, milles orgaanilise aine sisaldus ulatub 15–20%. Oma keerulise nime on kivim saanud tänapäevaks välja surnud merelise organismi graptoliidi järgi. Nimetused diktüoneemakilt ja diktüoneema-argilliit on kahes mõttes ebatäpsed. Esiteks ei ole tegemist ehtsa, moondekivimite hulka kuu-



Graptoliitargilliit Kumu kunstimuuseumi
ajutises paljandis Kadriorus, Tallinnas

luva savikildaga. Teiseks ei sisalda kivim mitte graptoliidi *Dictyonema*, vaid hoo- pis tole kaugel sugulase *Rhabdinopora* kivistisi. Tugevasti juurdunud termini- tena on mõlemad aga ka geoloogide kõnepruugist visad kaduma.

Graptoliitargilliiti võib leida Põhja- Eesti paekalda jalamil Pakri poolsaarelt Narvani. Geoloogilises läbilõikes lasub ta otse fosforiidilasundil ja teda katab rohekavärviline glaukoniidirikas savi. Eesti stratigraafilises skeemis kannab graptoliitargilliit Türisalu kihistu nime. Graptoliitargilliidi lasund on kõige tüse- dam Lääne-Eestis, kus selle paksus ulatub üle 3 m ja kogust hinnatakse 60 miljardile tonnile. Graptoliitargilliit on võrreldes kukersiidiga tunduvalt vanem. See on tekkinud Vara-Ordoviitsiumi merelises basseinis umbes 480 mln aastat tagasi. Väheste orgaanilise aine sisalduse tõttu on nimetatud argilliidi kütteväärtus üsna väike (1500–1600 kcal/kg) ja seda ei ole põleva maa- varana siiani kasutatud. Kuid graptoliit- argilliidist on leitud mitmeid raskeid metalle nagu molübdeeni, vanaadiumi, uraani jt ning aastail 1949–1952 kae- vandati Sillamäel graptoliitargilliiti uraani tootmiseks. Kaevandus paik- nes 24 ha suurusel maa-alal 15 m sügavusel, kus kaevandatava kihi pak- sus oli 1 m. Maapinnale toodi ligi 250 000 t maaki, millest toodeti üle 60 tonni uraaniühendeid. On andmeid, et

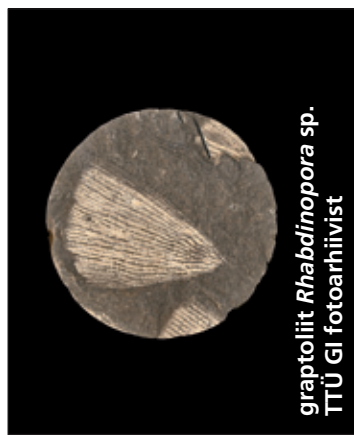
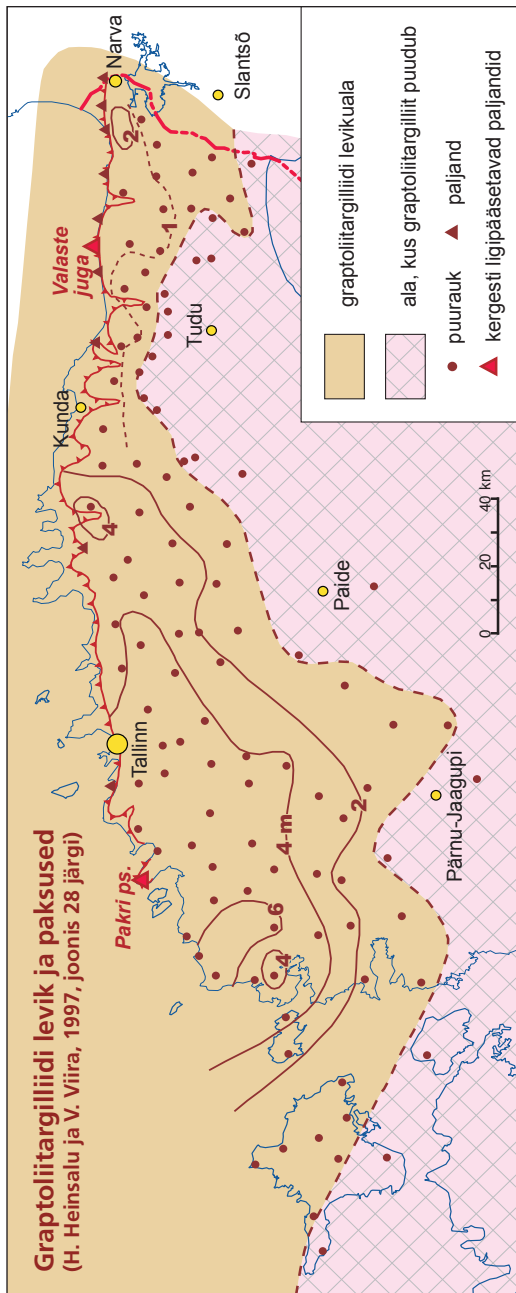
Sillamäe uraani kasutati Nõukogude Liidu esimese aatomipommi valmis- tamiseks. Väheste maagisisalduse ja tehnoloogiliste raskuste tõttu loobuti peagi kohaliku tooraine kasutamisest ja rikastustehas hakkas töötama sisse- veetud toormel. Tegelikult on grpto- liitargilliit toonud inimtegevusele seni enam kahju kui kasu. Tootmise lõpe- tanud Maardu fosforiidikarjääris läks graptoliitargilliit kui fosforiidilasundi kattekiht kaevandamise käigus puis- tangutesse, kust isesüttimise tulemuse- na sattus põhjavette tervistkahjustavaid ühendeid. See oli ka üheks lisamotiiviks fosforiidi kaevandamise lõpetamiseks Eestis.

Põlevkivi ehk kukersiit

Eristamaks Eesti põlevkivi maailma teis- test põlevkividest nimetatakse seda kukersiidiks. Nimi tuleneb Kukruse mõisa saksakeelsest nimest *Kuckers* ja "ristiisaks" peetakse vene paleobo- taanikut Mihhail Zalesskit. Põlevkivi oli kogu eelmise sajandi ja on ka tänapäe- val Eesti kõige olulisem maavara.

MILLEST KOOSNEB PÕLEVKIVI?

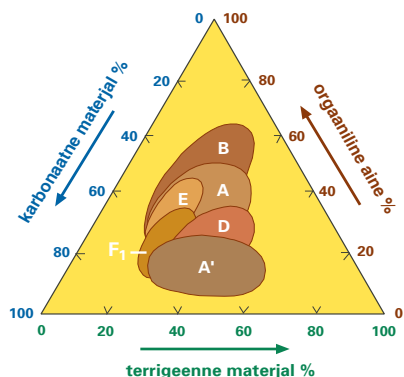
Põlevkivi kvaliteet oleneb esmajoones orgaanilise aine hulgast kivimis, kuid peale orgaanilise aine on põlevkivis ka mittepõlev mineraalosa.



Põlevkivi orgaanilist ainet iseloomustab tema elementkoostis. Põlevateks komponentideks on süsinik (C) ja vesinik (H). Orgaanilise aine koostisesse kuuluvad veel hapnik, lämmastik ning vähemal määral fosfor, kloor ja teised elemendid. Oluliseks näitajaks orgaanilise aine iseloomustamisel on vesiniku ja süsiniku aatomsuhe (H/C). Mida suurem on see suhe, seda suurem on põlevkivi õlisisaldus. Kükersiidi puhul on selle suhte väärtus 1,51. Maailmas on teada veelgi õlirikkamaid põlevkivisid, näiteks Šotimaa põlevkivi ($H/C=1,74$), Tasmaania põlevkivi tasmaniit (1,55) ning USA Green Riveri leiukoha põlevkivi (1,53). Utmisel saadava õli hulk ehk õlisaagis ei sõltu aga ainult vesiniku ja süsiniku aatomsuhtest. See oleneb ka orgaanilise aine lähtematerjalist ja selle lagunemisastmest. Õlisaagist väljendatakse protsentides kerogeeni suhtes ja kükersiidil on see 65–67%, kivimile ümberarvutatult aga umbes 19–23%. Selle näitaja järgi on Eesti kükersiit maailma põlevkivide hulgas teisel kohal pärast Austraalia torbaniiti, mille õlisaagis on ligi 30%.

Põlevkivide mineraalosa koosneb terrigeensest materjalist ja/või karbo-

Eesti leiukoha põlevkivi iseloomustus



Eesti leiukoha põlevkivikihtide orgaanilise aine ja mineraalosa sisaldus (H. Bauert ja V. Kattai, 1997, joonis 212 järgi)

naatidest. Terrigeenne materjal (s.o. maismaalt settebasseini kantud mineraaliterad) koosneb valdavalt savist, millele lisandub veel kvarts ja päevakivi. Karbonaadid on enamasti esindatud kaltsiumkarbonaadiga (kaltsiit), vähem leidub dolomiiti. Enamik maailma põlevkividest ongi terrigeense koostisega (ka graptoliitargilliit). Eesti kükersiit on terrigeen-karbonaatse koostisega, ainult karbonaatseid põlevkive on teada Süüriast. Mineraalosa vähendab põlevkivi kütteväärtust. Kui kükersiidist eraldatud kerogeeni kütteväärtus ulatub 8900 kcal/kg, siis Eesti leiukoha põlevkivi keskmine kütteväärtus on 3600 kcal/kg. Mineraalosa laguneb



põletamisel ja tarvitab soojust, samuti aurub põletamisel kivimis sisalduv niiskus. Seega saame põlevkivide põletamisel lisaks soojusele ka suure koguse jääk- ehk ballastaineid. 1000 tonnist põlevkivist moodustab põlev osa umbes 350 tonni, tuhka saame ligikaudu 550 tonni ja niiskust (vett) on selles 100 tonni ringis. Vastavad arvud kivilisõe puhul oleksid 850, 100 ja 50. Seega kuuluvad põlevkivid siiski energiavaeste kütuste hulka.

Põlevkivitootmisega kaasnevate keskkonnaprobleemide allikas peitub samuti põlevkivi koostises ning geoloogilistes tingimustes. Kaevandamisel ja rikastamisel jääb kasutamata suur hulk lubjakivi, mis kuhjatakse aherainemägedeks. Põlevkivi aheraine ja aherainemäed on siiski üsna süütu tarbimisjääk, ehkki ka

see võib aeg-ajalt isesüttida. Rikastatud põlevkivi põletamisel jääb järele kuni 50% tuhka, mida on samuti vaja ladustada. Kõige toksilisemad on aga põlevkivikeemia tööstuse jäätmed. Ida-Virumaal on põlevkivikaevanduste ja jäätmevõimaldlate all 450 km², mis moodustab 15% maakonna pindalast ehk umbes 1% Eesti pindalast, ja on ühel või teisel moel mõjutanud maakasutust. Põlevkivi põletamisel elektrijaamades lendub õhku suures koguses CO₂ ja teisi gaase, kaevandatud aladel muutub põhjaveerežiim ja tihti ka vee kvaliteet jne. Seega põlevkivi tootmine ja tarbimine muudavad keskkonda ja paralleelselt põlevkivitööstuse arendamisega tuleb nendele mõjudele järjest rohkem tähelepanu pöörata.

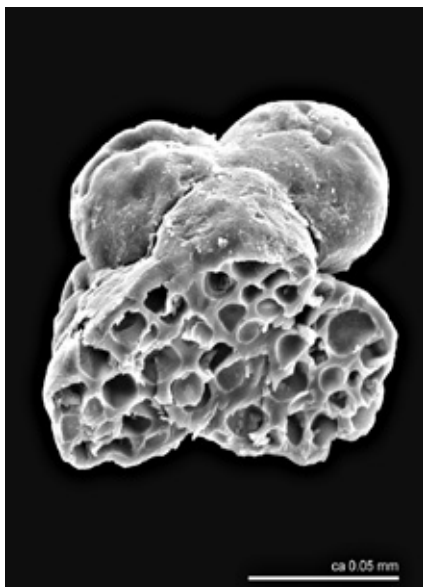


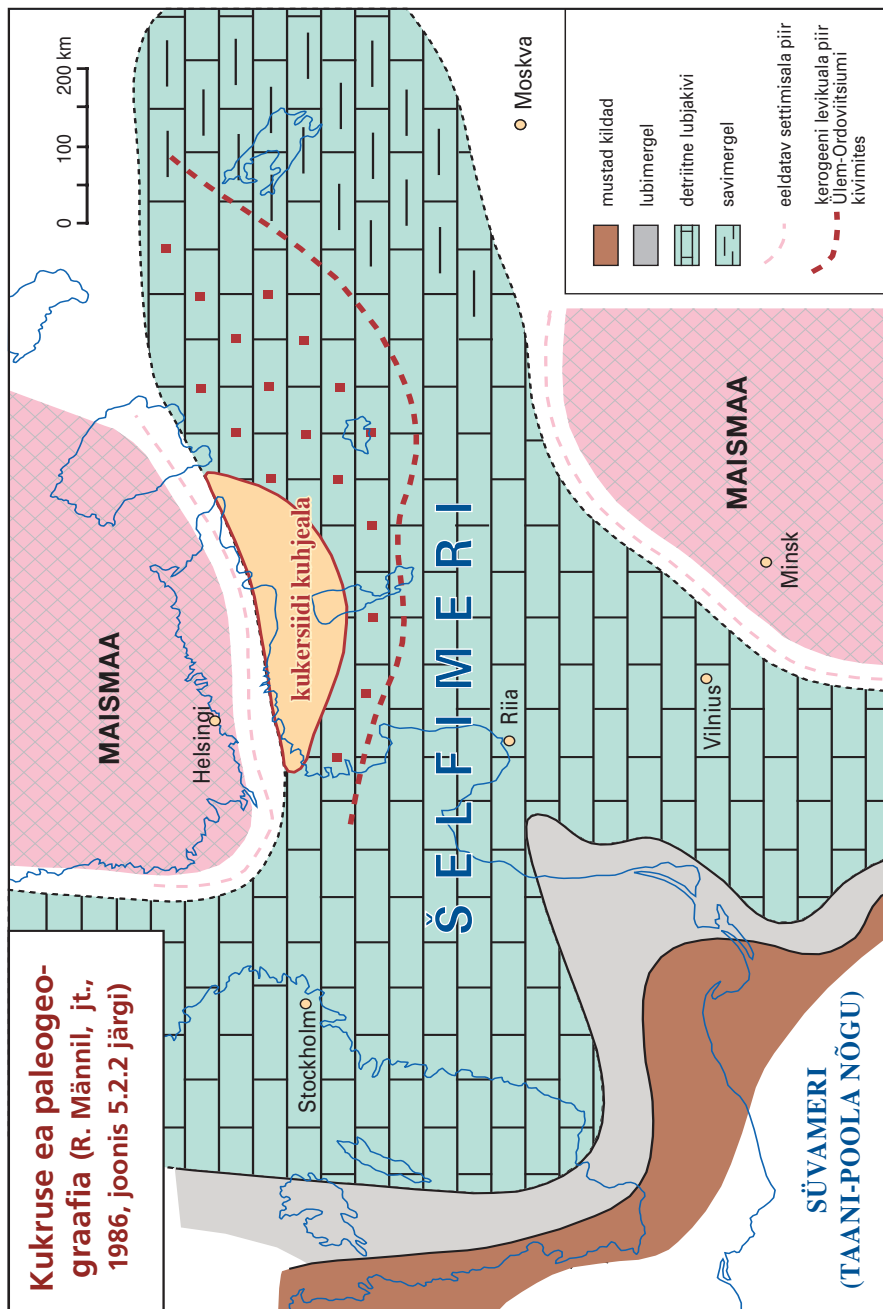
KUIDAS TEKIS KUKERSIIT?

Koos põlevkivi tootmise ja tarbimise kasvuga suurenes vajadus ka teadusuuringute järele. Esimesel sõjajärgsel kümnendil tegelesid kaevandamisküsimustega mitmed üleliidulised asutused, Eestis tehti samasuunalisi uuringuid vaid TPI mäekateedris. Alates 1950. aastate lõpust kerkis esiplaanile kohalike uurimisasutuste ja uurijate tegevus. Kasvanud oli nii geoloogiline, mäetehniline kui ka põlevkivikeemiaalne informatsioon ning kuhjunud oli suur hulk faktilist ja hinnangulist materjali põlevkivi kohta, kuid põhjalikud teoreetilised uuringud peaaegu puudusid. Tänapäeval on ühemõtteliselt lahendamata kukersiidi tekke küsimused. Probleemile on kõrvuti geoloogidega lahendust otsinud ka põlevkivikeemikud. Põhiküsimuseks on orgaanilise aine päritolu, selle ümberkujunemise aste ning settimistingimused. Enamik uurijaid on üksmeelsel seisukohal, et orgaanilise aine lähtematerjaliks olid merevetikad. Ordoviitsiumi ajastul vohasid vetikad kõigis veekogudes, sest kõrgemaid taimi siis veel ei olnud. Tolleaegsete vetikate tähtsus seisneb selles, et nad varustasid Maa atmosfääri hapnikuga, luues niiviisi sobiliku elukeskkonna ka teistele organismidele. Vetikate kui kerogeeni lähtematerjali edasiste muutuste kohta arva-

mused lahknevad. Geoloogid arvavad, et vetikstruktuurid esinevad põlevkivis muutumatul kujul või on väga vähe muutunud. See arvamus põhineb vene paleobotaaniku M. Zaleski seisukohtadel 1917. aastast. Uurides kukersiiti mikroskoobis tuli ta järeldusele, et kerogeeni algallikaks on nüüdseks välja surnud mikroorganismid. Sarnasuse põhjal tänapäevase planktoonse vetika *Gloeocapsa*'ga sai kukersiidivetikas nimeks *Gloeocapsamorpha prisca*. Seisukoht on ajahambale nii kaua

Rakulise ehitusega vetika *Gloeocapsamorpha prisca* Zalesky, 1917 koloonia. Elektronmikroskoobifoto: J. Nõlvak

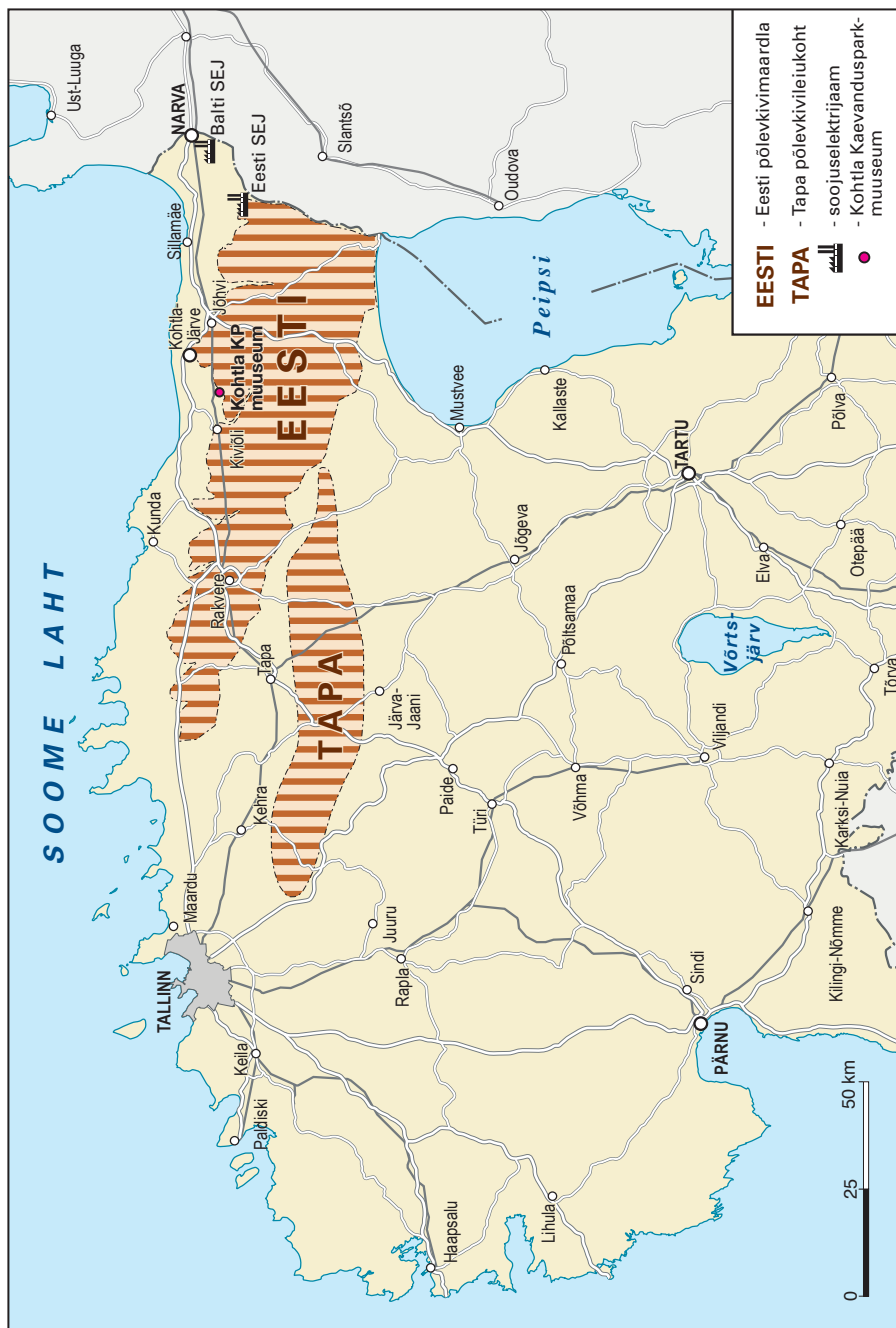




vastu pidanud seetõttu, et kukersiidi kerogeeni on väga raske uurida – ta ei lahustu või lahustub väga tühisel hulgal enamikes orgaanilistes lahustites. Eelmise sajandi 50ndatel aastatel sattusid M. Zalesski seisukohad põlevkivikeemikute kriitika alla. Keemikud väitsid, et kukersiidi orgaaniline lähtematerjal on aja jooksul väga tugevasti muutunud ning vetikate struktuuri-elemente on võimatu ära tunda ja tõenäoliselt on kerogeen kujunenud kõikidest tolleaegse mere taime- ja loomariigi esindajate jäänustest. Nende lagunemisel on aga sünteesunud uued kõrgmolekulaarsed kolloidsed ühendid, mille tombud ainult väliselt meenutavad vetikate struktuuri. Hilisemad kerogeeni uuringud elektronmikroskoopia võimalusi kasutades on aga M. Zalesski seisukohta pigem kinnitanud kui ümber lükanud. Viimase kümnendi uurimustes on ka keemikud tagasi pöördunud vetikastruktuuride juurde. Kukersiidi settimiskohaks peetakse madalaveelise mere rannalähedast ala, kus vetikad võisid massiliselt levida ja moodustada ulatuslikke vetikmatte. Orgaanilise ainega samaaegselt settisid ka lubiaines ning maismaalt merre kandunud saviosakesed ja muu terri-geenne materjal. Settebasseini sügavuse hindamisel peab silmas pidama, et vetikad suudavad elada vaid sellises sügavuses, kuhu ulatub päevavalgus.

PÕLEVKIVI LEVIK EESTIS

Eesti põlevkivi (kukersiit) on kujunenud Kesk-Ordoviitsiumi lõpus ja Hilis-Ordoviitsiumi alguses ning on seega ligi kolmkümmend miljonit aastat noorem kui graptoliitargilliid. Kukersiit lasub õhemate või paksemate horisontaalsete helepruuni värvuse tõttu hästi jälgitavate kihtidena hallide lubjakivide vahel. Stratigraafiliselt jääb kukersiit Uhaku ja Kukruse lademesse, kus on loendatud kuni 50 erineva paksusega kihti. Need põlevkivikihid, mida Kirde-Eestis kaevandatakse, lasuvad Kukruse lademe alumises osas. Suurima paksusega põlevkivikihid levivad Rakvere ja Narva vahelisel alal (Eesti leiukoht) ja jätkuvad veel Narva jõe ja Peipsi järve taha Leningradi oblastisse (Leningradi leiukoht). Põlevkivi kaevandamist alustati piirkonnas, kus põlevkivikihid on kõige paksemad ja kus nendega vahelduvad lubjakivikihid ei ole nii paksud, et takistaksid tootmist. Kaevandamiseks ebapiisava paksusega, kuid äratuntavad on tootsad kihid veel Tallinnast läände jääval alal, ida suunas ulatuvad aga mõnikümmend kilomeetrit Narvast Peterburi poole. Lõunasse saab kihte jälgida Juuru – Järva-Jaani – Mustvee jooneni. Väheseid kerogeeniterakeste leide samavanaselises lubjakivides (Ülem-Ordoviitsiumi Kukruse iga) on teada laialdaselt alalt, mis ulatub



Rootsile kuuluvast Gotska Sandöni saarest Novgorodi oblasti idapiirini, lõunas on kerogeenilisandit kivimis täheldatud veel Võrtsjärve lähistel.

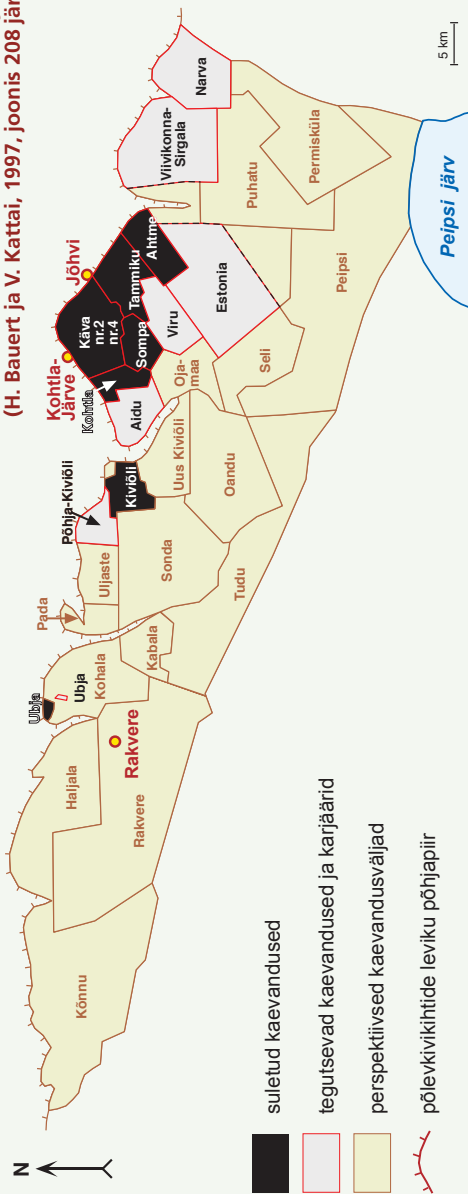
Peale Kirde-Eesti kaevanduspiirkonna on Eestis veel teinegi põlevkivileiukoht, nn. Tapa leiukoht, mis kujutab endast ida-läänesuunalist kuni 80 km pikkust ja 10–20 km laiust ala Väike-Maarja ja Ambla vahel. Tapa leiukoha põlevkivikihid ei ole Eesti maardla kihtide jätkuks selles piirkonnas, vaid nad asuvad geoloogilises läbilõikes 5–8 m kõrgemal ja on seega ka tekkelt hilisemad. Tapa leiukoha piires võib loendada kuni

10 põlevkivikihti, mis on üksteisest eraldatud suhteliselt paksude savikate või vähese kerogeenilisandiga muguljate lubjakividega. Ka põlevkivikihtides endis on küllalt palju lubjakivivahekihte ja -mugulaid. Tapa leiukohas loetakse tootmisväärseks vaid 1,5–2,3 m pakust III põlevkivikihti, kuid suure lasuvussügavuse (60–170 m) tõttu ei kujuta see endast praegu arvestatavat lisa meie põlevkivivarule.

Vaade kaevandatavale alale Aidu karjääri lõunaosas



Eesti maardla kaevandusväljad

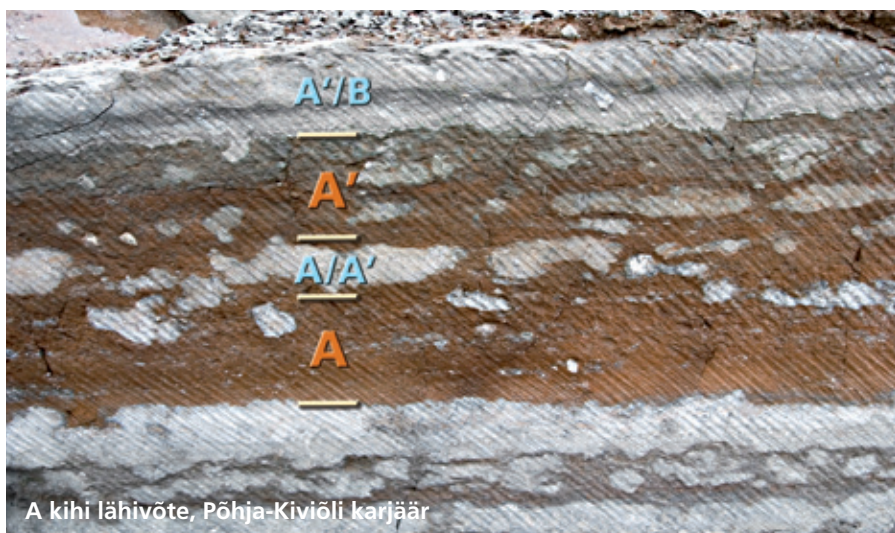


EESTI MAARDLA PÕLEVKIVIKIHID

Praegusel ajal on põlevkivi tootmisvääreks osutunud vaid Kirde-Eestis Kukruse lademe alumises osas lähestikku paiknevatest kihtidest, mis moodustavad Eesti maardla. Samadest kihtidest kaevandatakse põlevkivi ka Venemaal Leningradi oblastis Slantsõ linna lähistel (Leningradi maardla). Tootsa kihindi moodustavad 7 kukersiidikihti (tähistatakse alt üles tähtedega A...F₂) ja 6 neid eraldavat lubjakivikihti. Tootsa kihindi paksus on 2,5–3,0 m, millest põlevkivi on 1,8–2,6 m ja lubjakivi arvele jääb 0,6–0,7 m. Maardla põhjaosas lasuvad kukersiidikihid maa pinna lähedal ja siin saab põlevkivi toota kas karjäärides või väikese sügavusega kaevandustes. Lõuna suunas

kukersiidikihid laskuvad sügavamale, mis on tingitud Eesti aluspõhjakiivimite üldisest lõunasuunalisest kallakusest umbes 3,5 meetrit kilomeetri kohta. Nii lasub kukersiidi tootuskiht paarkümmend kilomeetrit Jõhvist lõuna pool asuvas "Estonia" kaevanduses juba kuni 70 m sügavusel.

Põlevkivikihid ja nendega vahelduvad lubjakivikihid erinevad üksteisest pakuse, kihi sisemise ehituse ja koostise poolest. Kõige alumine põlevkivikiht (A kiht) on kuni 20 cm paksune mõnevõrra savikas põlevkivi. Teda eraldab järgnevast A' kihist 3–4 cm paksusest läätsetaolistest mugulatest koosnev savika lubjakivi katkendlik vahekiht (A/A'). A' kiht kujutab endast õhukest (6–7 cm) savikat kukersiiti. A' ja B kihti eraldab kuni 20 cm paksune sinakas-





Kivistisi Kukruse lademest:

- õrna skeletiga oksjas sammalloom (vasakul ülal)
- käsijalgse kojapoolme sisekülj (ülal)
- ihnofossiilid ehk lubimudaga täitunud roomamisäljed (vasakul) on iseloomulikud C kihi ülaosale
- trilobiit põlevkivi kihipinnal (all)

TTÜ Geoloogia Instituudi fotoarhiivist



PÕHJA - KIVIÕLI PÕLEVKIVIKARJÄÄR

geoloogiline
lõibilõige

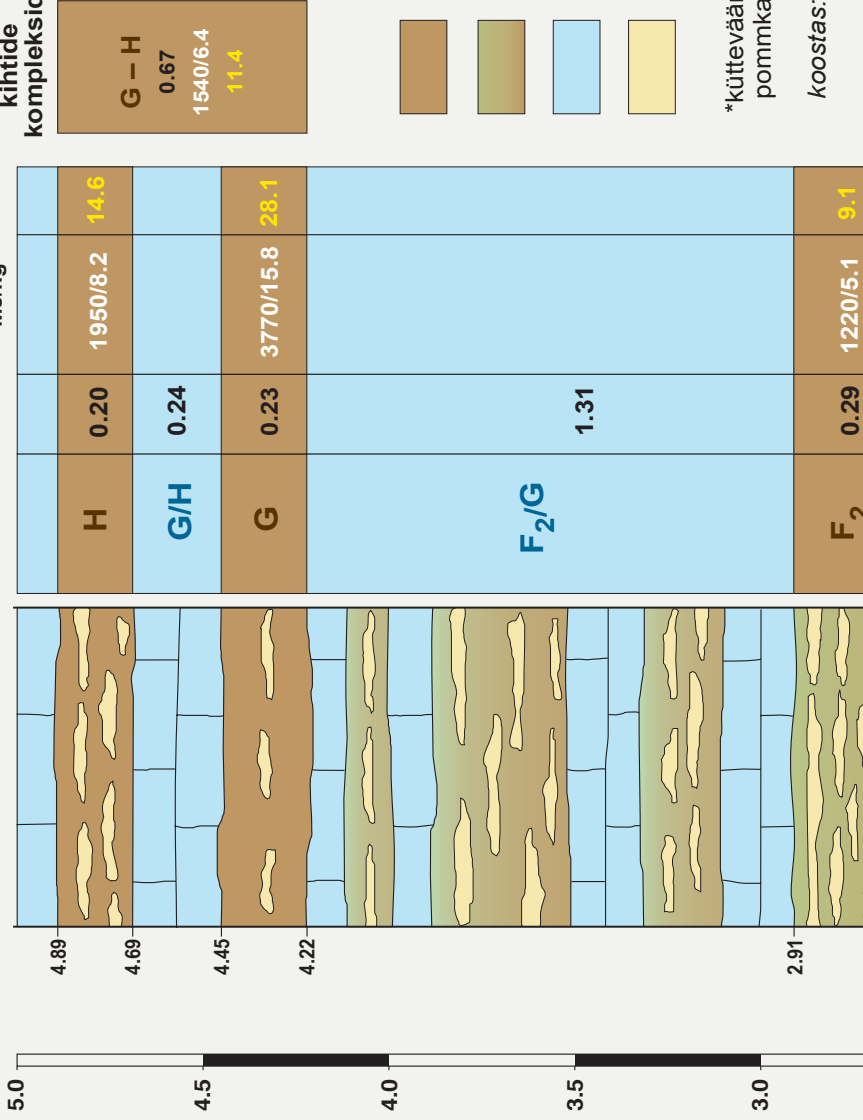
kihi
indeks

kihi
paksus
m

kütte-
väärtus*
kcal/kg
MJ/kg

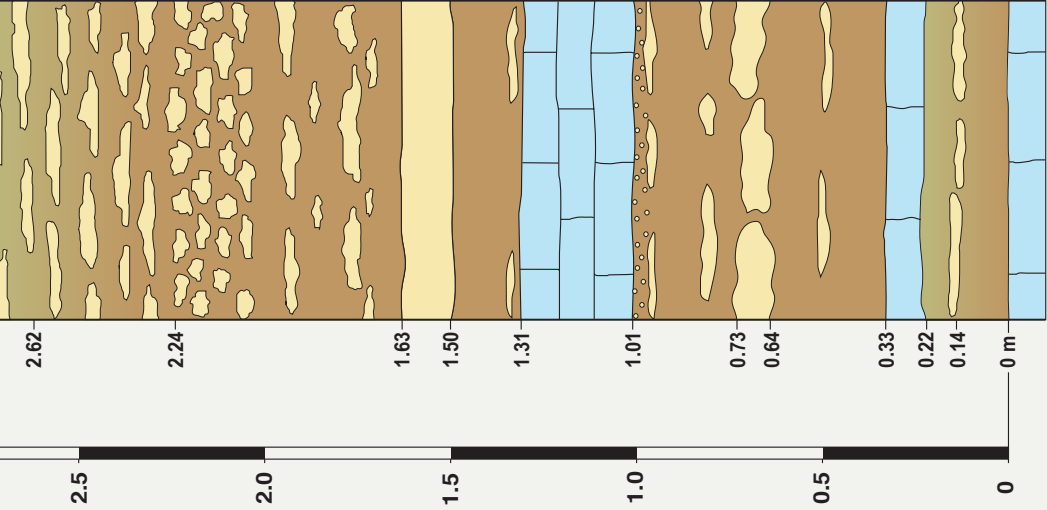
õli-
saagis
%

põlevkivi-
kihtide
kompleksid



*kütteväärtus on määratud
pommkalorimeetriga

koostas: Vello Kattai, 2005



F_1	0.38	2240/9.4	16.7
$\leftarrow E/F_1$			
E	0.61	2900/12.1	21.5
D/E	0.13	750/3.1	
D	0.19	2520/10.6	18.9
C/D	0.30	0	
C	0.28	2600/10.9	19.4
B/C	0.09	820/3.4	
B	0.31	4410/18.5	32.9
A'/B	0.11	570/2.4	
A'	0.08	1360/5.7	10.1
A	0.14	3590/15.0	26.7

D – F₁
1.31
2390/10.0
17.8

B – C
0.68
3030/12.7
22.6

A – A'
0.22
2700/11.3
20.1

A – F₁
põlevkivi
koos
lubjakivi
vahe-
kihtidega
2.62
2110/8.8
15.7

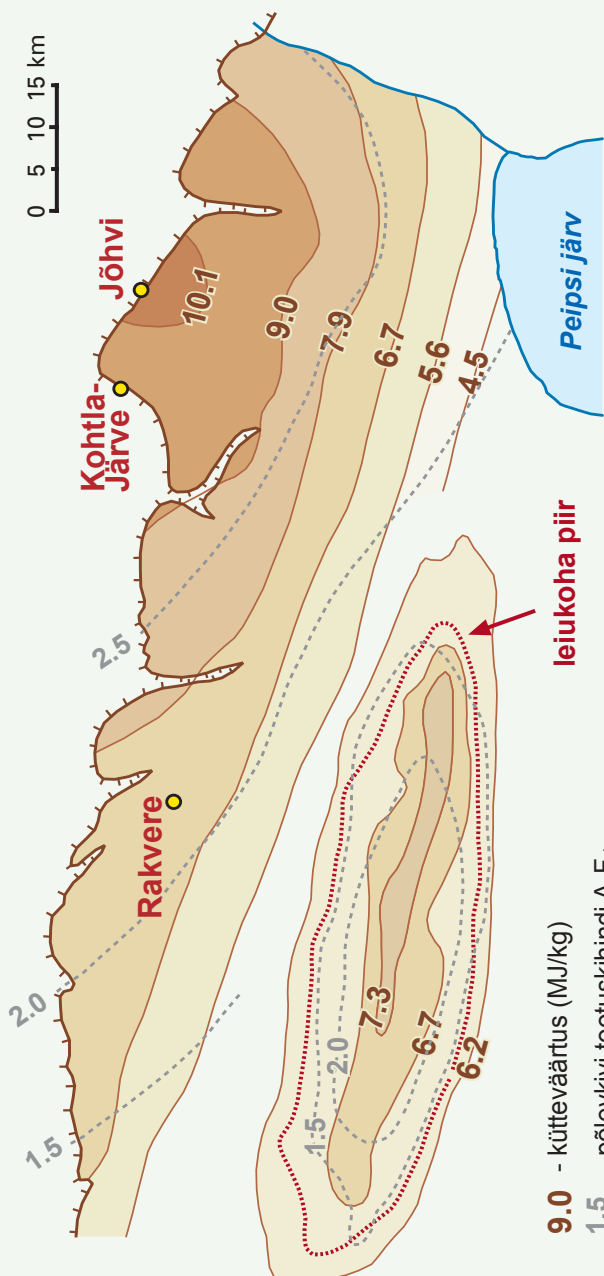
A – F₁
ainult
põlevkivi
1.99
2870/12.0
21.4

halli savika lubjakivi kiht, mida kaevurid nimetavadki "siniseks paeks" (A/B). B kiht on kõige paksem ja enamasti kõige suurema kerogeenisisaldusega (kuni 50%) põlevkivikiht. Kihi paksus ulatub maardla keskosas 0,75–0,80 m ja väheneb ühtlaselt maardla äärealade suunas. B kihi kukersiiti iseloomustab ilus šoklaadipruun värvus, väga peen kihilisus, mis on markeeritud kihipindadele kogunenud fossiilide õrnade valgete lubiskelettide ja detriidiga. Eesti põlevkivi tüüpilise näitena pakutakse välja enamasti ikka B kihi põlevkivi. B kiht on eraldatud järgmisest C kihist katkendliku, 10–12 cm paksuse kerogeenilisandist beeživärvilise kõva ja tiheda lubjakivi vahekihiga B/C. C kihi põlevkivi kerogeenisisaldus on mõnevõrra väiksem kui B kihis ja kihti läbivad kahel või kolmel tasemel lubjakiviläätsete katkendlikud vahekihid. C kihi paksus on kuni 30 cm. Iseloomulikuks tunnuseks on kihi ülemises neljandikus leiduvad valge lubiainesega täitunud kuni 0,5 cm läbimõõduga ussikäigud, mis muudavad kivimi ristlõike valgemummuliseks. Kaevurite keeles nimetatakse käikudest uuristatud kivimit "hobusenahaks".

Lubjakivikiht C/D lasub tootuskihindi keskosas ja jagab selle enam-vähem pooleks. C/D kihi lubjakivi on nõrgalt savikas, tema paksus on 20–25 cm. Tihti laguneb kiht keskelt pooleks, mil-

lest ka nimetus "kaksikpaas". Kiht on kõikides kaevandustes ja puuraukudes väga hästi ära tuntav ning jälgitav ning on heaks markeerivaks tasemeks kogu tootuskihindi jaoks. Vahetult "kaksikpaal" lasuv D kiht on esindatud nõrgalt savika põlevkiviga, millel paksust kuni 20 cm. D ja E kihti eraldav lubjakivi on kerogeenilisandist beežikas-roosaka värvusega, kõva, ebaühtlase paksusega (kuni 15 cm), kohati katkendlik. Värvuse järgi nimetatakse seda kihti "roosaks paeks" (D/E). E kiht on B kihi kõrval teine suhteliselt kõrge kerogeenisisaldusega (kohati kuni 55%) põlevkivikiht. Ka lubjakivimugulate sisaldus on E kihis väike. Kihi paksus on 40 cm ümber. B kihist erineb ta põlevkivi mõnevõrra punakama värvitooni poolest ja organismide lubiskelettide jäänused (detriit) on peenemad ja kivimis ühtlasemalt jaotunud. E kihile järgnevas põlevkivikompleksis võib eraldada kolm ilma selgete piirideta, kuid üksteisest mõnevõrra erinevat taset – kihid E/F₁, F₁ ja F₂.

E/F₁ kiht ei ole tüüpiline lubjakivi-vahekiht, vaid selles on kukersiit ja kerogeense lubjakivi kamakad üksteisega ebakorrapäraselt läbi põimunud. Lubjakivimugulad on korrapäratu kujuga, nurgeliste kontuuridega, neis esineb tühemikke, mis on aga omakorda täitunud väikeste kaltsiidi- või püriidikristallidega. Lubjakivikamakaid



Eesti maardla tootuskihindi ja Tapa leiukoha III kihi paksus ja kütteväärtus
(H. Bauert ja V. Kattai, 1997, joonis 211 järgi)

ja kukersiiti teineteisest eraldada on siin peaaegu võimatu. Lubjakivi moodustab kihist 50% või isegi enam. Seda kihti nimetavad kaevurid ta ehituse ja kivimi kõvaduse tõttu "kuradinahaks". Piir järgneva F_1 kihiga on üleminekuline ja pannakse tavaliselt sinna, kus lubjakivimugulad muutuvad kujult ja paiknemiselt korrapärasemaks. F_1 kihi suhteliselt kerogeenirikkas (kuni 40%) põlevkivis on 6–7 õhukest horisontaalset katkendlikku lubjakivivahekihti. Kihi paksus ulatub 60–70 cm. Kihtide F_1 ja F_2 vahel puudub samuti selge piir. F_2 kihiks loetakse kompleksi ülemist kuni 30 cm paksust osa, milles kerogeenisisaldus ülespoole pidevalt väheneb ja suureneb karbonaatse materjali osakaal. Kihis on rikkalikult lubjakivimugulaid. Põlevkivi ja lubjakivi tiheda kihilise vaheldumise tõttu nimetatakse seda kihti "pirukaks".

Kaevanduse põrandaks jääb tavaliselt A kihi all lasuv tasase pealispinnaga lubjakivi. Õhukese ja savika A kihi puhul või sõltuvalt kaevandamisviisist, võib põrandaks olla ka A/B kihi pealispind. Kaevandatakse enamasti F_2 kihini, mõnikord läheb ka see toodangusse.

Kõik tootuskihi kivid sisaldavad hulgaliselt fossiile või nende purustatud skeletiosakesi – detriiti. Paleontoloogid on Kukruse lademest leidnud kuni 360 liiki kivistisi, mis on 2–3 korda rohkem

kui teistest lademetest. Tihti on fossiilide säilmed väga atraktiivsed – siit võib leida õrnu valgeid pitsitaolisi sammalloomi, hästi säilinud, mõnikord hiiglaslike mõõtmetega trilobiite jm. Kukruse ea soodsatest elutingimustest räägivad ka massiliselt esinevad ussikäigud.

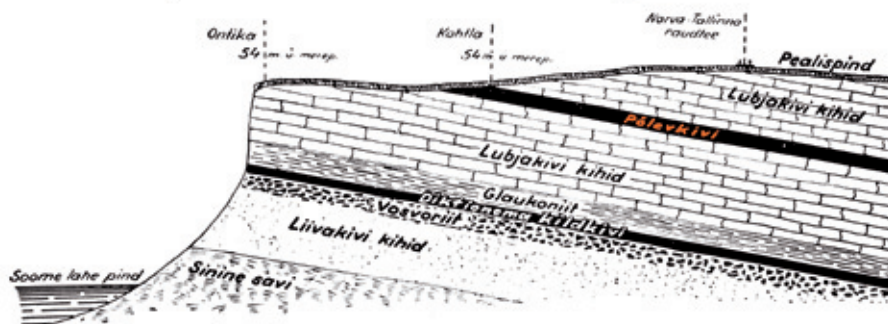
PÕLEVKIVITOOTMISE AJALOOST EESTIS

Üldtuntud lood põlevkivi avastamisest jutustavad talumehest, kellel põlevkivist ehitatud saunaahi koos puudega ära põles või karjapoistest, kes põlevkivi lõkkesse pildusid ja oma hämmastuseks märkasid, et kivi põleb. Teadlaste tähelepanu äratas põlevkivi juba 18. sajandi lõpus. Sellest ajast peale on huvi põlevkivi vastu kord päevakorda tõusnud ja siis jälle pikaks ajaks soikunud. Varasemad katsetused ja analüüsid, sealhulgas J. Georgi (1791) või G. Helmerseni (1839) tööd, viisid enamasti järeldusele, et kivi saab kasutada soojuste ja tõrva või õli tootmiseks kohalikeks vajadusteks. Geoloogiliste uurimistööde käigus 19. sajandi teisel poolel tehti kindlaks, et kõige paksemad põlevkivikihid on Kukruse mõisa lähistel ja Eesti geoloogia üks loojatest – Fr. Schmidt – nimetas geoloogilise läbilõike põlevkivikihtidega osa Kukruse lademeks. Mitmed Tartu ülikooli keemikud uurisid seejärel põhjalikult põlevkivi keemilist

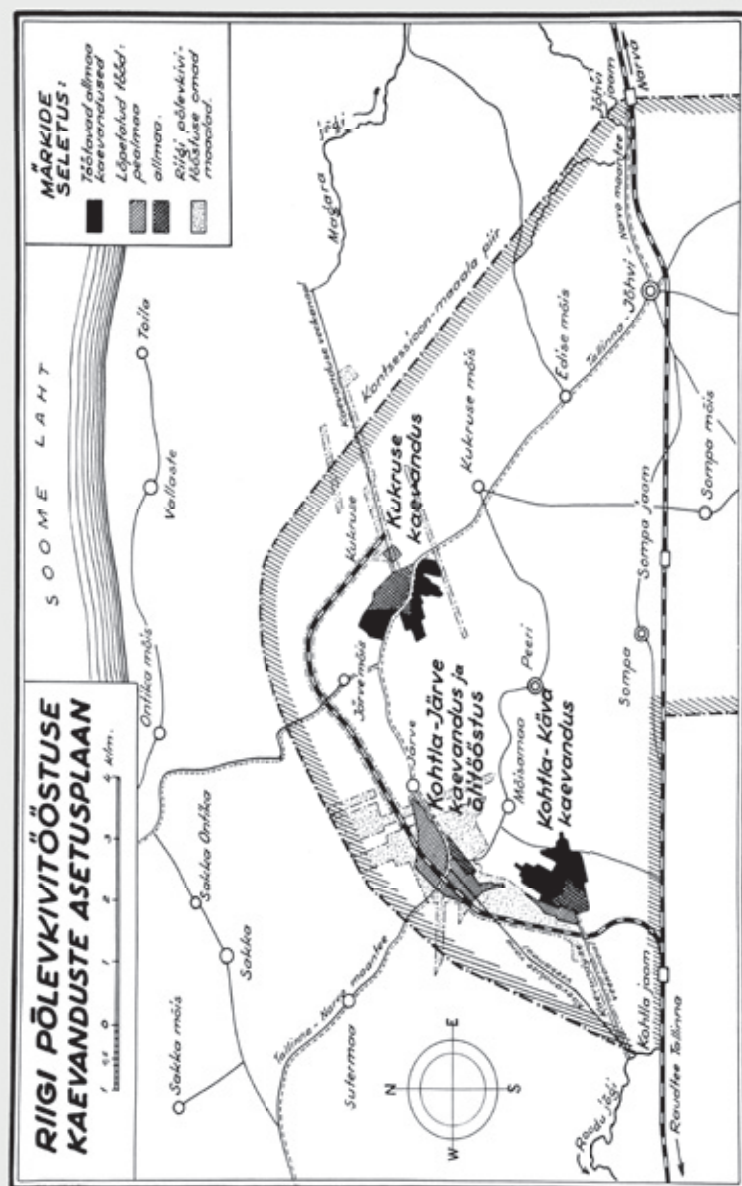
koostist, kuid leidsid, et kihtide väikese paksuse ja suure tuhasuse tõttu pole põlevkivi tootmine otstarbekas ning põlevkivi unustati jälle. Uus huvi põlevkivi vastu tärkas I maailmasõja päevil. Petrogradis tekkinud kütusepuuduse tõttu saadeti vene geoloog Nikolai Pogrebov Eestisse põlevkivi kasutuselevõtu võimalusi hindama. N. Pogrebovi juhatusel alustati proovikaevamisi Kohtla-Järve kandis, kus satuti kõige paksematele ja puhtamatele põlevkivikihtidele. 1916. aastal saadeti 22 vagunit põlevkivi Petrogradi, et selgitada põlevkivi kasutamismõimalusi tsemenditootmiseks, gaasi saamiseks ja vedurite kütteks. Uuringute tulemused ületasid kõiki ootusi ning Petrogradi Kütteinete Peakomitee otsustas avada Tallinn – Narva maantee ääres Pavandu kõrtsi juures põlevkivikarjääri, mille aastatoodang pidi ulatuma 35 miljoni puudani (u 570 000 t). Samal ajal

rajati ka erakapitalil töötavad karjäärid Kukruse ja Järve külla. Neis esimestes ettevõtetes katkes töö Eesti okupeerimisega Saksa vägede poolt 1918. a veebruaris. Põlevkivitööstuse organiseerimiseks noores Eesti Vabariigis loodi 1918. a novembris Eesti Kaubandus- ja Tööstusministeeriumi juurde põlevkiviosakond, mille juhatajal Märt Rual on suuri teeneid põlevkivitööstuse rajamisel ja arendamisel Eestis. 1919. a kevaldel alustati uuesti kaevetöid Pavandu karjääris. Esimene allmaa-kaevandus anti käiku 1920. a Kukrusel. 1921. a avati Kohtlas põlevkilabor ja väike õlivabrik utmismetodite ja saadud toorõli uurimiseks. 1930. aastate teine pool oli põlevkivitööstuse õitseae. Edu tagas põlevkiviõli, millest ligi pool läks ekspordiks. Tänu põlevkivile vabanes Eesti kütusesõltuvusest. Eesti Vabariigi lõpuaastaiks oli oma kapitali põlevkivitööstusesse investeerinud 7 ettevõtet,

Põhja Eesti maakihtide skemaatiline läbilõige NS sihis.



Geoloogia ajaloo valdkonda kuuluv, kuid ülevaatlik joonis Põhja-Eesti geoloogilisest läbilõikest (raamatust "A/S Esimene Eesti Põlevkivitööstus, endine Riigi Põlevkivitööstus 1918-1938")

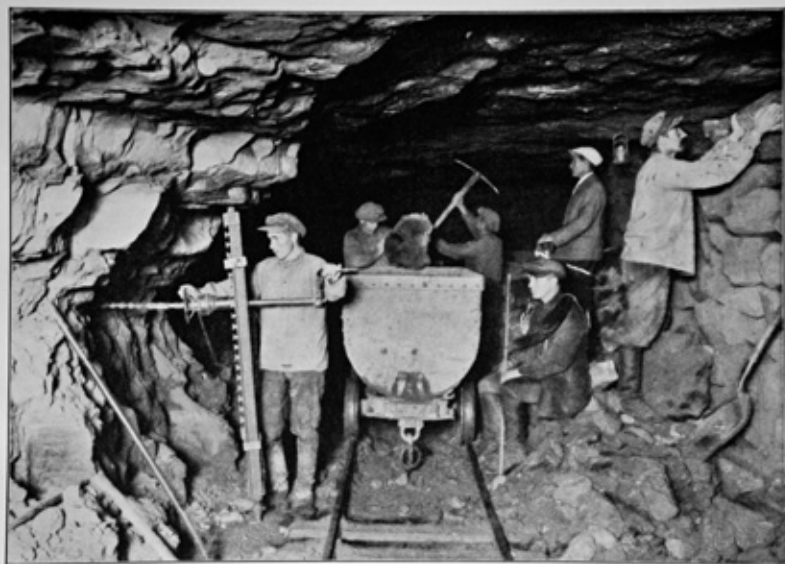


millest üks – aktsiaselts "Esimene Eesti Põlevkivitööstus" – töötas riigikapitalil, ülejäänud 6 aga välismaisel erakapitalil. Eesti Vabariigi aastail kaevandati üldse ligi 9 mln tonni põlevkivi. Põlevkivi oli kõige odavam, hinnalt püsivam ja kättesaadavam kütteaine, mille varusid arvati jätkuvat 4000–5000 aastaks. See oli Eesti rahvuslik uhkus, meie pruun kuld.

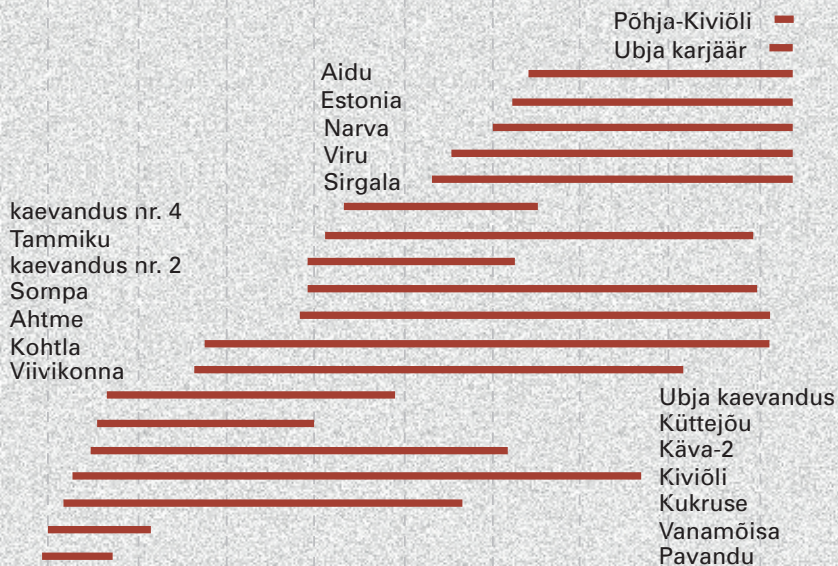
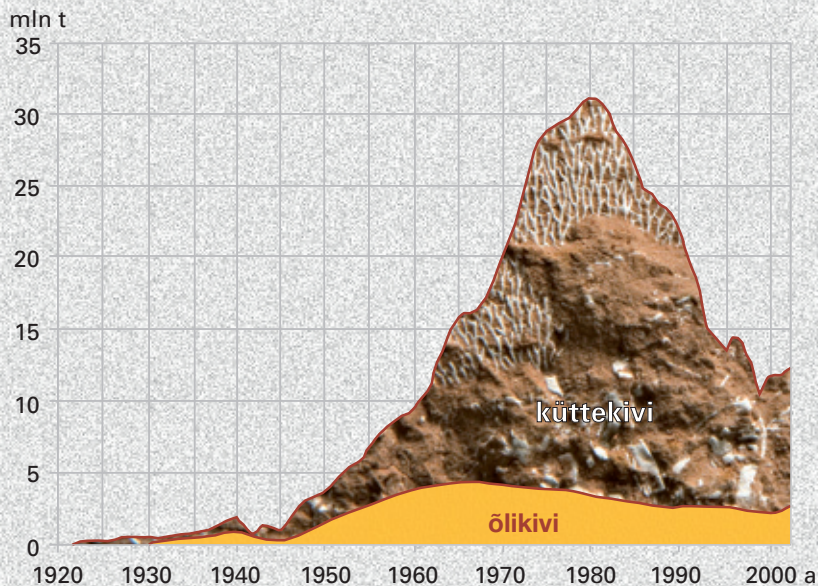
II maailmasõja ajal ilmutas Saksamaa põlevkivi kui strateegilise tähtsusega maavara vastu suurt huvi ja alustas uute põlevkiviettevõtete rajamist. Vene vägede pealetungil 1944. a Skeem (vasakul) ja foto (all) raamatust "Riigi Põlevkivitööstus 1918-1933"

sügisel purustas aga taanduv Saksa armee Sillamäe, Kohtla ja Kiviõli utmis- tehased, osa kaevandusi pandi põlema, teised uputati. Rivist olid väljas ka põlevkivil töötanud elektrijaamad Püssis ja Kohtla-Järvel.

Nõukogude perioodil allutati põlevkivitootmine NSVL Söetööstuse ministeeriumile, kaevandamine kohapeal kuulus ettevõtte "Eesti Põlevkivi" kompetentsi. 1946. aastaks oli taastatud 6 kaevandust ning saavutatud toodangu sõjajärelne tase. Põlevkivitööstust arendati majapidamisgaasi saamiseks Leningradile ja Eestile. 1960. aastani olid põlevkivi peamiseks tarbijateks Kohtla-Järve ja Kiviõli põlevkivikombinaadid ja raudtee,



KUKRUSE ALLMAA-KAEVANDUS. MÄETÖÖLISED.



Põlevkivi kaevandamine ja tarbimine Eestis ning kaevandusettevõtete eluiga (V. Kattai, 2003, joonis 5.4 järgi)

peenpõlevkivi läks aga kohalike elektrijaamade kütteks. Suurte põlevkivil töötavate elektrijaamade ehitamine 1960. aastail (Balti Soojuselektrijaam – 1960, Eesti Elektrijaam – 1970) muutis oluliselt põlevkivitarbimise struktuuri: nüüd kulutati elektrienergia tootmiseks 80% kaevandatud põlevkivist. Samas tekkis vajadus suurema põlevkivikoguse ja uute kaevanduste järele. Nii alustas 1962. a tööd Sirgala karjäär ja 1965. a "Viru" kaevandus (kaevandus nr. 7), 1970. a avati Narva karjäär ja 1972. a "Estonia" kaevandus. Samal ajal Eesti põlevkivimaardla südamikus asuvad kaevandusväljad ammendati ning kaevandustööd nihkusid paratamatult maardla äärealade suunas, kus aga tootuskihind on õhem, madalama kvaliteediga ja lasub sügavamal, mis muutis tootmise töömahukamaks ja kallimaks. Põlevkivitoodang saavutas maksimum-

taseme 1980. a, mil toodeti 31,3 mln tonni põlevkivi ja kaevandamise maht ületas tarbimise mahu. Sealtpeale hakkas tootmine aasta-aastalt vähenema ja jäi 1999. a alla 10 mln tonni ning oli võrdne 1960. aasta toodanguga. Käesolevaks ajaks on põlevkivi kaevandamine stabiliseerunud umbes 13-15 mln tonnile aastas ja suurem osa sellest läheb endiselt elektrienergia tootmiseks. Eesti on eelmise sajandi kuuekümnendatest aastatest alates olnud maailma kõige suurem põlevkivitootja ja -tarbija – nii kaevandati siin eelmise sajandi 80-ndatel aastatel 2/3 kogu maailma põlevkivitoodangust.

Põlevkivi kaevandamine ja selle kasutamine õli- ja keemiatööstuse toorainena ning elektri tootmiseks on loomulikult põhjustanud keskkonnamuutusi Kirde-Eestis kogu põlevkivitööstuse ajaloo

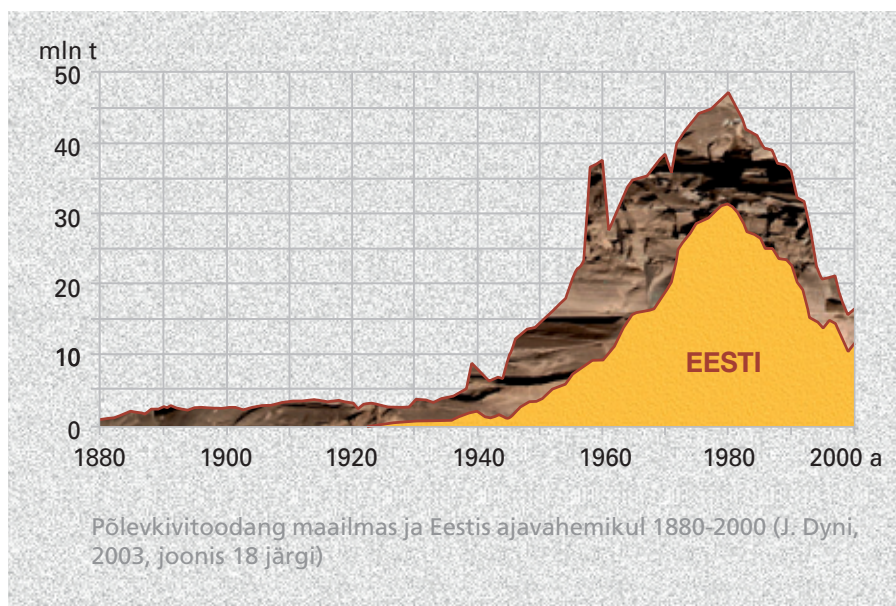


kaevandamine Narva karjääris

jooksul. Suurimad keskkonnamõjud ja sellest tulenevad otsesed ohud nii inimesele kui loodusele jäid siiski põlevkivitööstuse hiilgeaegadesse, 1980. aastate algusesse. Käesoleval kümnendil pööratakse suurt tähelepanu keskkonnareostuse probleemidele nii põlevkivi kaevandamisel kui ka selle edasisel kasutamisel. Suuri paranemistendentse on märgata ka Narva Elektrijaamade töös, näiteks uute katelde töölerakendamise ja uue generatsiooni puhastusseadmete paigaldamise järel on CO₂, lämmastiku- ja väävliühendite keskkonda paiskamine vähenenud palju kordi.

PÕLEVKIVI MUJAL MAAILMAS

Põlevkivivarud maailmas on hiigelsuured. Ameerika Geoloogiateenistuse arvutuste kohaselt ulatuvad need 410 miljardi tonnini. Põlevkive on kujunenud läbi pika geoloogilise aja ja leiukohti on teada rohkem kui 600 enam kui 30 riigist. Kõige suuremad põlevkivivarud on USA-l, järgneb Brasiilia. Kohalikku tähtsust omava maavarana on põlevkivil ka kohalikud nimetused. Paremini uuritud on Green River'i leiukoha põlevkivi USA-s, Austraalia torbaniit, Rootsi maarjaskilt, Eesti kukersiit ja Jordaania põlevkivi. Käesoleval ajal on Eesti kõige suurem põlevkivitootja maailmas. Peale Eesti kaevandatakse





Põlevkivi kaevandamine Põhja-Kiviõli karjääris: C/D lubjakivi pealse põlevkivi-kompleksi D-F₁ kaevandamine (ülal). Freescombaini Wirtgen 2500 SM abil kaevandatakse selektiivselt suhteliselt puhta lubjakivi vahekihti C/D ja selle alla jäävaid põlevkivi kihte B+C (all)



põlevkivi veel Venemaal, Austraalias, Hiinas ja Brasiilias, viimases kolmes riigis vaid õli tootmiseks. Odavam nafta on põlevkivikaevandamise välja tõrjunud Prantsusmaal, Šotimaal, Kanadas ja teistes riikides. Siiski on põlevkiviõli toodang maailmas marginaalne võrreldes naftaga, mille päevatoodang on 75 miljonit barrelit. Põlevkivitööstuse areng maailmas sõltub kõige otsesemalt toornafta hinnast. 2005. a ulatus toornafta hind maailmaturul üle 65 dollari piiri, 2006. a kevadel aga juba üle 70 dollari. Põlevkiviõli peetakse USA-s üheks võimalikuks alternatiiviks naftale siiski alles kaugemas tulevikus.

Kaevandamine kaevanduspark-muuseumi lähedal Vanaküla karjääris

KUS SAAB TUTVUDA PÕLEVKIVI JA SELLE KAEVANDAMISEGA?

Põlevkivitootmise ja -tarbimise ajalooga Eestis saab tutvuda Kohtla-Järve Põlevkivimuuseumis ja Kohtla Kaevanduspark-muuseumis. Viimane neist asub Kohtla-Nõmmel endises Kohtla kaevanduses. Muuseum avati 2001. aastal. Siin on võimalik giidide – kaevandusveteranide juhendamisel laskuda 8 m sügavusele vanadesse kaevanduskäikudesse, näha põlevkiläbilõiget ning kaevanduses kasutatud masinaid, sõita töölisrongiga ja süüa töölislõunat. Kaevandusmuuseum on külastatav koht, sest igaüht huvitab kordki elus maa all ära käia.



SÕNASELETUSI

Argilliit – savi tihenemisel ja kõvastumisel kujunenud valdavalt mikrokihiline sette-kivim, mis lõheneb õhukesteks plaatideks

Barrel – vedelike mahumõõt USA-s, naftabarrel on 0,1590 m³

Detriit – surnud organismide lagunenud skeletiosakesed, mis hõljuvad vees või on sadestunud veekogude põhja

Diktüoneema (*Dictyonema*) – vanaaegkonna meredes laialdase levikuga graptoliitide perekond

Diktüoneemakilt – siiani kasutatav nimetus graptoliitargilliidi kohta. Vt. graptoliitargilliit

Dolomiit – kaltsiumi ja magneesiumi süsihappesooladest (Ca/MgCO₃) moodustunud mineraal ja kivim

Fossiil – kivistis

Georgi, Johann Gottlieb (Ivan Ivanovitch) 31.12.1729 – 27.10.1802 – saksa päritolu vene uurimisreisija, loodusteadlane ja etnograaf, Peterburi TA akadeemik (1783). Tegi pikemaid uurimisreise Venemaal, töödes leidub andmeid ka Eestimaa ja eestlaste kohta

Glaukoniit – rohekas, sageli teradena esinev keerulise koostisega silikaatne raua-mineraal

Graptoliit – vanaaegkonna merede planktilise eluviisiga poolkeelikloom

Graptoliitargilliit – ka diktüoneemakildana tuntud Alam-Ordoviitsiumi orgaanilise aine rikas ning sageli graptoliitide kivistisi sisaldav mustjaspruun savikivim (Eesti aluspõhja litostratigraafilises jaotuses vastab Türisalu kihistule)

Helmersen, Gregor von 11.10.1803 – 15.02.1885 – Eestist võrsunud baltisaksa päritolu vene geoloog, Peterburi TA akadeemik (1850). Oli riikliku geoloogiateenistuse rajaja Venemaal, juhendas geoloogilist kaardistamist. Oma töödes on käsitletud ka Eesti rändkive ja põlevkivileide

lhnofossiil – jäljekivistis

Kerogeen – põlevkivi orgaaniline aine (kreeka k. *keros* – vaha + *genos* – teke)

Kukersiit – Eesti põlevkivi nimetus, tuletatud Kukruse mõisa saksakeelsest nimest "*Kuckers*"

Käsijalgne – selgrootu mere põhjas elav loom, kelle pehmet keha kaitseb kahe poolmega koda

Kütteväärtus – kütuse massiühiku (tahkete ja vedelate kütuste puhul) või mahuühiku (gaasiliste kütuste puhul) täielikul põlemisel vabanenud energiahulk. Praktikas mõõdetakse sageli kilokalorites (1 kcal = 4,1868 kJ)

Lade – teatud piirkonnas geoloogilise ea jooksul moodustunud kivimid; lademe nimi on tuletatud kohanimest, kus lade on tüüpilisel kujul esindatud

Ladestik – ladestu alajaotus, vastava ajastiku jooksul moodustunud kivimid; ladestiku nimetus moodustatakse enamasti täiendsõnade "Alam-", "Kesk-" või "Ülem-" lisamisega vastava ladestu nimetuse ette

Leiukoht – maakoore osa, kus leidub maavara

Maardla – geoloogiliselt uuritud ja piiritletud ning keskkonnaregistri maardlate nimistus arvele võetud maavaralasund

Maarjaskilt – alumiinium-kaaliumsulfaati sisaldav savikivim

Maavara – kasulik kaevis, mis vastab talle esitatud nõuetele

Moondekivim – suure rõhu ja/või temperatuuri tingimustes muutunud sette- või tardkivim

Ordoviitsium – vanaaegkonna teine ajastu, järgneb Kambriumile ja eelneb Silurile. Algas umbes 490 mln aastat tagasi ja kestis 45 mln aastat. Ordoviitsiumi ajastu liigestatakse Vara-, Kesk- ja Hilis-Ordoviitsiumiks. Ajastu kestel kujunenud kivimeid käsitletakse Ordoviitsiumi ladestuna

Paleosoikum - vanaaegkond

Plankton – vees vabalt hõljuvad taimed ja loomad; fütoplankton – taimne plankton, zooplankton – loomne plankton

Pogrebov, Nikolai Fjodorovitch 17.11.1860 – 10.01.1942 – vene hüdrogeoloog,

kes 1916. a uuris Eesti põlevkivi geoloogiat ja tootmisvõimalusi. Aastail 1916-1923 ilmus temalt rida artikleid sel teemal

Puud – vananenud massiühik Venemaal, 1 puud = 16,38 kg

Püriit – raudsulfid, FeS_2 ; metalse läike ja kuld kollase värvusega kuubikujuliste kristallidena või teradena esinev mineraal, leidub rikkalikult Eesti aluspõhja kivimites

Raud, Märt 23.07.1878 – 04.03.1952 (teistel andmetel surmaaeg ja -koht teadmata) – insener, Eesti põlevkivitööstuse rajaja ja arendaja aastail 1918-1940, A/S Esimene Eesti Põlevkivitööstus juhatuse esimees

Sammalloom – poolkeraja või oksliku kujuga koloniaalne mereloom

Schmidt, Carl Friedrich 27.01.1832 – 21.11.1908 – Eestist võrsunud baltisaksa geoloog ja botaanik, Peterburi TA akadeemik (1885). Põhilised tööd käsitlevad Eesti ja selle naaber alade alampaleosoikumi kivimite stratigraafiat ja faunat. Tema loodud kivimite liigestus lademeteks kehtib mõnes osas tänapäevani. Peetakse Eesti geoloogia rajajaks

Sini-roheline vetikas e. tsüaanobakter – üle 3 miljardi aasta vana vetika-(bakteri-) hõimkond. Võivad elada nii vees kui maismaal väga erinevates tingimustes. Mõned liigid toodavad tugevatoimelisi mürke

Stratigraafia – kivimite vanuselist järjestust ja ruumilisi suhteid uuriv geoloogia haru

Zalesski, Mihhail Dmitrievitch 15.09.1877- 22.12.1946 – vene paleobotaanik, uuris taimejäänuseid sütes ja põlevkivides. Vetikstruktuuride esmaavastaja kukersiidi kerogeenis

Tasmaniit – Tasmaania saarel leiduv põlevkivi

Terrigeenne – maismaa-, maismaalt pärit, maismaatekkeline

Torbaniit – põlevkivi ja söe vahepealne pruunikasmust kihiline kivim, mis on saanud oma nime Torbane Hill'i (Šotimaa) leiukoha järgi. Torbaniiti leidub ka Prantsusmaal, Lõuna-Aafrikas, eriti aga Austraalias

Trilobiit – vanaaegkonna madalmeredes elanud lüliljalgne

Utmine – kuivdestillatsioon; kuumutamine õhu juurdepääsuta

Aaloe, A. 1989. Kukersiidi geoloogilise uurimise ja kasutamise ajaloost // Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist. VII. Tallinn, "Valgus", 25–42.

Aaloe, A., Tubli, T. 1984. Virumaa varaait // Horisont, nr. 11, 10–13.

Aarna, A. 1989. Põlevkivi. Tallinn, "Valgus", 143 lk.

Aarna, A., Kask, K., Reier, A., Öpik, I. 1954. Põlevkivi. Tallinn, 191 lk.

A/S Esimene Eesti Põlevkivitööstus, endine Riigi Põlevkivitööstus 1918-1938. Tallinn, 1938, 118 lk.

Bauert, H., Kattai, V., 1997. Kukersite oil shale // Geology and mineral resources of Estonia. Tallinn, Academy Publishers, pp. 313-327.

Dyni, J.R., 2003. Geology and resources of some World oil-shale deposits // Oil Shale, vol. 20, nr. 3, pp. 193-252.

Heinsalu, H., Viira, V., 1997. Pakerort Stage // Geology and mineral resources of Estonia. Tallinn, Academy Publishers, pp. 52-58.

Kattai, V. 2003. Põlevkivi – õlikivi. Tallinn, Eesti Geoloogiakeskus, 162 lk.

Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. 2000. Eesti põlevkivi: geoloogia, ressurs, kaevandamistingimused. Tallinn, Eesti Geoloogiakeskus, 226 lk.

Kõrts, A. 1994. Kivistunud vetikad // Eesti Loodus, nr. 3, 77–78.

Männil, R., Bauert, H., Puura, V., 1986. Kukersiidikuhje ja leviku seaduspärasused. Rmt.: Puura, V. (toim.) Balti põlevkivibasseini kukersiidikihtkonna ehitus. Tallinn, 48-54 (vene keeles).

Pirrus, E. 2000. Maavarade geoloogia. Tallinn, TTÜ mäeinstituut, 83 lk.

Reinsalu, E. 1998. Mäemajandus. Tallinn, TTÜ mäeinstituut, 159 lk.

Reinsalu, E. 2003. Ainulaadne põlevkivi ootab kaevandamist // Eesti Loodus, nr. 11, 6–9.

Riigi Põlevkivitööstus 1918-1933. Tallinn, 1933, 87 lk.

Geoloogiline ajaskaala

IUGS ICS Geological Time Scale 2004 (www.stratigraphy.org), mugandanud ja eestindanud Eesti Stratigraafia Komisjon 2004 (www.gi.ee/ESK/)

EOON	AEGKOND	AJASTU	AJASTIK	Vanus (milj. aastat)
Fanerosolkum	Kainosolkum <i>Uusaegkond</i>	KVATERNAAR	Holotseen	0,00
			Pleistotseen	0,0115
		NEOGEEN	Pliotseen	1,806
			Miotseen	5,332
		PALEOGEEN	Oligotseen	23,03
			Eotseen	33,9 ± 0,1
			Paleotseen	55,8 ± 0,2
	Mesosolkum <i>Keskaegkond</i>	KRIIT	Hilis-Kriit	65,5 ± 0,3
			Vara-Kriit	99,6 ± 0,9
		JUURA	Hilis-Juura	145,5 ± 4,0
			Kesk-Juura	161,2 ± 4,0
			Vara-Juura	175,6 ± 2,0
		TRIIAS	Hilis-Triias	199,6 ± 0,6
			Kesk-Triias	228,0 ± 2,0
			Vara-Triias	245,0 ± 1,5
	Paleosolkum <i>Vanaaegkond</i>	PERM	Loping	251,0 ± 0,4
			Guadalup	260,4 ± 0,7
			Cisural	270,6 ± 0,7
		KARBON	Pennsylvania	299,0 ± 0,8
			Mississippi	318,1 ± 1,3
		DEVON	Hilis-Devon	359,2 ± 2,5
			Kesk-Devon	385,3 ± 2,6
			Vara-Devon	397,5 ± 2,7
		SILUR	Pfidoli	416,0 ± 2,8
			Ludlow	418,7 ± 2,7
			Wenlock	422,9 ± 2,5
			Llandovery	428,2 ± 2,3
		ORDOVIITSIUM	Hilis-Ordoviitsium	443,7 ± 1,5
			Kesk-Ordoviitsium	460,9 ± 1,6
			Vara-Ordoviitsium	471,8 ± 1,6
		KAMBRIUM	Furong	488,3±1,7
			Kesk-Kambrium	501,0±2,0
			Vara-Kambrium	513,0±2,0
Proterosolkum <i>Agueoon</i>	Neoproterosolkum	EDIACARA		542,0±1,0
		KRÜOGEEN		630
		TON		850
	Mesoproterosolkum	STEN		1000
		ECTAS		1200
		CALYMM		1400
	Paleoproterosolkum	STATHER		1600
		OROSIR		1800
		RHYAC		2050
		SIDER		2300
Arhalkum <i>Ürgeoon</i>	Neoarhalkum			2500
	Mesoarhalkum			2800
	Paleoarhalkum			3200
	Eoarhalkum			3600
				~4500

ISBN-13: 978-9985-9763-4-0

ISBN-10: 9985-9763-4-7

