

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Artur Ivanov

PÕLEVKIVI ISEKUUMENEMINE JA ISESÜTTIMINE

Lõputöö

Juhendaja:

Andres Talvari, PhD

Tallinn 2012

LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON

Kolledž: Päästekolledž	Kuu ja aasta: Mai 2012
Töö pealkiri eesti keeles: Põlevkivi isekuumenemine ja isesüttimine	
Töö pealkiri võõrkeeles: Самонагревание и самовозгорание сланца	
Töö autor: Artur Ivanov	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas.
Allkiri:	
<p>Lühikokkuvõte:</p> <p>Antud lõputöö teema on „Põlevkivi isekuumenemine ja isesüttimine“. Lõputöö põhiosa pikkuseks on 41 lehekülge. Lõputöö sisaldab 9 tabelit ja 11 joonist. Töö on kirjutatud eesti keeles ja võõrkeelne kokkuvõte on vene keeles.</p> <p>Ajalooliselt on teada, et põlevkivil on teatud tingimustel soodumus isesüttimisele. Selline keeruline endogeenne protsess toob endaga kaasa nii keskkonna saastumise kui ka majanduslikku kahju (orgaanilise aine kui tooraine kadu).</p> <p>Lõputöö eesmärgiks on uurida põlevkivi keemilisi ja füüsikalisi omadusi, mis võivad olla isekuumenemise ja isesüttimise põhjuseks ning tuua välja endogeensete tulekahjude vältimise ennetusmeetmeid. Eesmärgi saavutamiseks kasutas autor järgmiseid uurimismeetodeid: kirjandus- ja dokumendianalüüs, küsitlus ja temperatuurproovide katsed. Põlevkivi ja poolkoksi ladustamine oli uuritud VKG AS näitel ning sama ettevõtte tööstusterritooriumil oli läbiviidud temperatuuri mõõtmised ladustatavas põlevkivi hunnikus.</p> <p>Autori olulisemateks ettepanekuteks on tagada pidev kontroll ladustatava põlevkivi massi temperatuuri olekust ning loobuda pikaks ajaks põlevkivi ladude moodustamisel kasutatavast koonusekujulisest vormist. Samuti ka põlevkivi ladude moodustamise ja hoidmise juhendi ning päeviku loomine, kus kajastatakse läbiviidud toiminguid ja saadud andmeid.</p>	
Võtmesõnad: põlevkivi, isesüttimine, endogeenne tulekahju, aheraine, poolkoks	
Võõrkeelsed võtmesõnad: сланец, самовозгорание, эндогенный пожар, отвальная порода, полукокс	
Säilitamise koht:	
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor: Margus Möldri	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Andres Talvari	Allkiri:

SISUKORD

LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON	2
SISUKORD	3
MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU	5
SISSEJUHATUS	6
1. PÕLEVKIVI OLEMUS JA KOOSTIS	8
1.1 Põlevkivi	8
1.2 Kukersiit.....	9
1.2.1 Orgaaniline osa	9
1.2.2 Mineraalne osa.....	11
1.2.3 Niiskuse sisaldus	12
2. PÕLEVKIVI JA TEMA KOOSTISOSADE ISEKUUMENEMINE JA ISESÜTTIMINE.....	13
2.1 Isesüttimise defineerimine	13
2.2 Põlevkivi isesüttimise soodustavad faktorid.....	15
2.2.1 Segregatsioon	15
2.2.2 Soojusvahetus väliskeskkonnaga.....	16
2.2.3 Niiskuse ja vee mõju	18
2.2.4 Põlevkivi kihid.....	18
2.2.5 Ladustava kivimi puistangu kuju ja parameetrid.....	20
2.2.6 Püriidi sisaldus.....	20
2.3 Põlevkivi endogeensete tulekahjude statistika.....	22
2.4 Küsitluse andmete analüüsimine	23
3. PÕLEVKIVI JA POOLKOKSI LADUSTAMINE.....	25
3.1 Põlevkivi ladustamine Viiru Keemia Grupi tööstusterritooriumil.....	25

3.2	Temperatuurproovide võtmine	27
3.3	Poolkoks.....	30
3.3.1	Poolkoksi keemiline koostis ja soodumus isesüttimisele	30
3.3.2	Uue poolkoksi prügila ladestamine	32
4.	JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	34
4.1	Järeldused.....	34
4.2	Ettepanekud	35
	KOKKUVÕTE	37
	PE3IOME	38
	VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	39
	TABELITE JA JOONISETE LOETELU.....	41
	LISA 1. PÕLEVKIVI KIHID.....	42
	LISA 2. KÜSITLUSE VASTUSED JA KÜSIMUSTIK	43
	LISA 3. PÕLEVKIVI AHERAINE ISESÜTTIMINE	49
	LISA 4. LADUSTAMISE KOHT NR 1	50
	LISA 5. LADUSTAMISE KOHT NR 2	51
	LISA 6. LADUSTAMISE KOHT NR 3	52
	LISA 7. PÕLEVKIVIDE LIIGITAMINE ELEMENTKOOSSEISU JÄRGI.....	53
	LISA 8. PÕLEVKIVI LADUSTAMISE MEETODID	54

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

Adsorptsioon – süsteemi mingi komponendi isevooluline kogunemine faaside (tahke-gaas, vedelik-gaas) eralduspinnale (Agregaatolekud...20.04.2012).

Aherainepuistang – lubjakivi ja põlevkivi sisaldav põlevkivi rikastamise jääk (Liblik ja Punning 2005:47).

Difusioon – protsess, mille tulemuseks on aine molekulite juhuslik liikumine kõrgema kontsentratsiooniga piirkonnast madalama kontsentratsiooniga piirkonda (Difusion...20.04.2012).

Endogeenne tulekahju – (kreeka keelest *endo* – sees ja *genes* – sündiv, sündinud) tulekahju, mis on esilekutsutud kasuliku maavara, kivimi või põlevmaterjali isesüttimisest (Пожар....20.04.2012).

Heterogeensed protsessid – reaktsioonid, kus komponendid on erinevates faasides (gaasilises, vedelas, tahkes) (Talvari 2006:55).

Sapropeelkütus – kütus, mille lähtematerjaliks on veekogude põhja settinud primitiivsete ainu-raksete, bakterite, järvede ja merede vetikate, teiste füto- ja zooplanktoni esindajate biomassist moodustunud orgaaniline aine (Kütus...20.04.2012).

Terrigeensed setted – (laadina keelest *terra* – maa ja kreeka keelest *genes* – sündiv, sündinud) purdsademed ja purdkivimid, mis on koostatud maismaast ära viidud kivimikildudest ja mineraalkividest (Терригенные...20.04.2012).

VKG AS – Viru Keemia Grupp AS

EEK AS – Eesti Energia Kaevandus AS

GGJ-3 ja GGJ-5 – Uttegeneraatorid

PAH – Pooltsükliline aromaadne süsivesinik

EE – Eesti Energia

OPIS – Operatiivinfo süsteem

EVS –Eesti Vabariigi Standard

SISSEJUHATUS

Eesti unikaalset kukersiiti maardlat iseloomustab kõrge kvaliteet ja suur orgaanilise aine sisaldus, mis võimaldab edukalt kasutada antud fossiili põlevkivitööstuses õli ja energia saamiseks. Uuringud näitavad, et vastavalt Eesti majanduskasvu mõõdukale stsenaariumile on tõenäoline, et põlevkivi kasutus järgmiste 15-20 aastate jooksul ei lange. Viimastel aastatel on hästi jälgitav kiire ja edukas majanduslik-tehnoloogiline arendus põlevkiviõli saamises, mida tõendavad suured investeeringud Enefit 280 (EE) ja planeeritava Petroter II (VKG) põlevkiviõli tehaste ehitamiseks. Järelkult suureneb põlevkivi kasutamine ja ladustamine tööstusprotsessis.

Ajalooliselt on teada, et põlevkivil on teatud tingimustel soodumus isesüttimisele. Selline keeruline endogeenne protsess toob endaga kaasa nii keskkonna saastumise kui ka majanduslikku kahju (orgaanilise aine kui tooraine kadu). Ainete isesüttimise põhjus on madalatemperatuurilised oksüdeerumise protsessid. Sellised protsessid on suhteliselt aeglased. See näitab selle teema aktuaalsust ning ka vajadust toorainena kogutava põlevkivi kuhjade isekuumenemise temperatuuri jälgimises.

Käesoleva uurimistöo raames olid läbi viidud temperatuuri mõõtmised VKG AS tööstusterritooriumil paiknevates põlevkivi ladudes (põlevkivi kuhjad).

Lõputöö eesmärgiks on uurida põlevkivi keemilisi ja füüsikalisi omadusi, mis võivad olla isekuumenemise ja isesüttimise põhjuseks ning tuua välja endogeensete tulekahjude vältimise ennetusmeetmeid.

Eesmärgi saavutamiseks püstitas autor järgmised uurimisküsimused:

- Missugused on põlevkivi keemilised omadused?
- Millised keemilised ja füüsikalised asjaolud soodustavad põlevkivi isekuumenemist ja edasist isesüttimist?
- Kuidas toimub põlevkivi ladustamine ja aheraine puistamine ning missugused on sellega kaasnevad eelsoodumused isekuumenemisele ja isesüttimisele?

Antud lõputöös kasutatakse järgmiseid uurimismeetodeid: kirjandus- ja dokumendianalüüs, küsitlus ja temperatuurproovide katsed. Kirjanduse- ja dokumendianalüüsiga selgitatakse välja põlevkivi keemilisi, füüsikalisi omadusi, põlevkivi ja poolkoksi ladustamise ning aheraine puistamise iseärasusi, mis soodustavad aine isekuumenemist ja isesüttimist. Küsitluse läbiviimisel autor kogus informatsiooni seni toimunud isesüttimise juhtumite kohta ja analüüsis nende likvideerimisega kaasnevaid raskusi. Temperatuuriproovide katsete läbiviimisel selgitatakse välja temperatuurirežiim põlevkivi ladustamise käigus.

Lõputöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade põlevkivi koostisest, selle fossiili tekkimisest ja kukersiidi eristamisest.

Teises peatükis analüüsib autor põlevkivi füüsikalisi ja keemilisi omadusi, mis soodustavad põlevkivi isesüttimise nähtust, ning esitab põlevkivi isesüttimise statistilisi andmeid ja endogeensete tulekahjude likvideerimise raskusi ning iseärasusi, mis on välja uuritud küsitluse käigus.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse läbiviidud temperatuurproovide katseid ja nende tulemusi ning antakse ülevaade põlevkivi ja poolkoksi ladustamisest. Viimases peatükis keskendub autor läbiviidud uurimistöö järeldustele ja ettepanekutele.

Autor tänab abi eest lõputöö juhendajat Andres Talvari, VKG AS Töökeskkonnajuhi Viktoria Viirat, EEK AS Estonia kaevanduse Töökeskkonna spetsialisti Vladimir Šalašinski, Mäepääste meeskonna ülemat Vladislav Levkovskit ja Ida Päästkeskuse Jõhvi päästekomando pealikku Janno Vooli.

1. PÕLEVKIVI OLEMUS JA KOOSTIS

1.1 Põlevkivi

Põlevkivi termini vaste vene keeles on *горючий сланец*, saksa keeles *der Brennschiefer* ja inglise keeles *oil shale*, mis kõik näitavad, et tegemist on kiltmineraaliga. Selle oluliseks tunnuseks on kivimikihtide orienteeritud paigutus õhukeste plaatidena. Plaadid tekkisid settekivimina rõhu all, mida enamikul juhtudel põhjustas veekogu veesammas. (Aarna 1989:7-10)

Põlevkivi on süngeneetiliselt seotud karbonaatsete, karbonaat-terrigeensete või terrigeensete settekompleksidega, moodustades kihilaadseid kehi peamiselt savis (argilliidis) ja lubjakivis (Kattai 2003:12).

Põlevkivi lasundeid saab leida maailma kõikide mere-, järve-, ja maismaa settelademetes kambriumi kuni neogeeni perioodidest. Orgaanilise aine rikas lubjasete – kukersiit, mis on leitud Eesti ülemises ja alumises ordoviitsiumi perioodi setetes ja Loode-Venemaal, on merepõlevkivi. (Mõtlep, Kirsimäe, Talviste, Puura ja Jürgenson 2007)

Põlevkivi koosneb kolmest komponendist (Väli, Valgama ja Reinsalu 2008):

- Organiline aine ehk kerogeen;
- Lupja sisaldavad ained: kaltsiit ja vähesel määral dolomiit;
- Terrigeensed setted, savimineraalid, mis koosnevad kvartsist, hüdrovilgust, päevakivist ja muust.

Põlevkivi kuulub sapropeelkütuste liiki, ta on orgaanilist ainet ehk kerogeeni sisaldav settekivim. Põlevkivi lähteaine on olnud ainuraksed organismid, bakterid, vees elanud vetikad jt samased organismid. Eesti põlevkivi on karbonaatse ja terrigeense koostisega mineraalainega settekivim. Orgaaniline osa sisaldab peale vesiniku veel ka palju hapnikku, lämmastikku on napilt, omapiira on kloor orgaanilises aines. (Ots 2004:22)

1.2 Kukersiit

Kahte koostiselt ja kvaliteedilt sarnast põlevkivi on maakera eri paikades raske leida. See on tingitud põlevkivi tekke- ja järgnevate tingimuste suurest mitmekesisusest, seda nii kliima, settebasseini sügavuse, orgaanilise ja mineraalse lähtematerjali suhtelise koostise ning terasuse jt asjaoludest. (Kattai, Saarde ja Savitski 2000:20-21)

Kukersiit on oma kvaliteedi poolest (suhteliselt kõrge kütteväärtus ja õlisaagis, omapärane õli, väike väävlisisaldus ja niiskus) üks parimaid põlevkive maailmas. Eesti maardlas on kukersiidi kaevandamistingimused paljude teiste leiukohtadega võrreldes küllalt lihtsad (väike sügavus, kihindi väljapeetud paksus, rõhtne lasuvus). Seoses sellega on kukersiidi kaevandamine ja kasutamine Eesti põlevkivimaardlas majanduslikult õigustatud, seda lisaks ka tarbijate läheduse tõttu. (Kattai jt 2000:20-21)

Põlevkivid on enamasti tumehallid, pruunika või roheka tooniga, harva heledamad. Oma hele-kollakaspruuni värvi poolest erineb kukersiit teistest põlevkividest. (Kattai 2003:13)

1.2.1 Orgaaniline osa

Põlevkivi on peeneteraline settekivim, mis sisaldab suurt kogust (10-65%) orgaanilist ainet (kerogeeni), millest on võimalik saada teatud hulka kiviõli ja põlevgaasi tahke utmise (pürolüüsi) teel. Kukersiidi orgaaniline osa koosneb põhiliselt kerogeenist väikese hulga bituumeniga. Kukersiit koosneb peaaegu täielikult diskreetsetest kehadest, mageveekogude setetest, mis tekkisid mikroorganismide *Gloeocapsomorpha prisca* kogunemisel. (Mõtlep jt 2007)

Eristatakse kolme tüüpi kerogeeni, millel on kõige suurem levik ning mis on erineva nafta-gaasitekke potentsiaaliga (Kattai jt 2000:18):

- I tüüpi kerogeeni sisaldavad sapropeelsöed ning mõned põlevkivid. Peetakse selle kerogeeni lähtematerjaliks peamiselt järvelisi vetikaid. I tüübile on iseloomulik kõige H/C aatomile suhe ($> 1,5$), termilisel lagunemisel eraldub rohkesti vedelaid ja gaasilisiprodukte.
- II tüüpi kerogeen on iseloomulik enamikule põlevkividele ning merelistele hajutatud orgaanilise aine sisaldavatele nafta lähtekivimitele (mustad kildad). Algmaterjaliks on taandavas keskkonnas settinud füto- ja zooplanktoni, bentose

ning mikroorganismide segu. II tüüp erineb eelmisest madalama H/C aatomsuhte (1,0-1,5) ning lenduvate ainete väiksema väljatuleku poolest.

- III tüüpi kerogeen pärineb kõrgematest (ka maismaa-) taimedest ning ta klassifitseeritakse huumustüübiks, mis on iseloomulik huumussütele. H/C aatomsuhe on madal (< 1,0). Termilisel lagunemisel moodustub põhiliselt gaasilisi ühendeid.

Vesiniku ja süsiniku aatomsuhe järgi /.../ põlevkivid on lähedasemad naftale ja looduslikele bituumenitele kui kivisütele, pruunsöele ja turbale. Kerogeeni vesinikusisaldusest sõltub põlevkivi kuumutamisel tekkiva õli hulk. Eesti põlevkivi kuulub õlisaagise poolest heade põlevkivide hulka. (Aarna 1989:8-9)

Põlevkivi orgaanilise osa keskmist koostist kirjeldab empiiriline valem $C_{10}H_{15}OCl_{0,03}S_{0,07}$ (Ots 2004:47).

Tabel 1. Kerogeeni koostiselementid (Koel 1999)

C	76.0-77.5
H	9.4-9.9
S	1.2-2.0
N	0.2-0.5
O	9.0-11.0
Cl	0.5-0.9
H/C	1.48

Mis puutub kukersiiti, siis oma näitajate poolest (H/C suhe ligi 1,4; kõrge õlisaagis) on see sarnasem järveliste põlevkivide ja sapropeelsüte 1 tüübi kerogeeniga kui mereliste põlevkivide kerogeeniga (II tüüp). Eesti leiukoha kukersiiti kerogeeni kütteväärtus on 37,2 MJ/kg (8900 kcal/kg). (Aarna 1989:49)

1.2.2 Mineraalne osa

Põlevkivi karbonaatosa tähtsamad komponendid on kaltsiumkarbonaat (kaltsiit CaCO_3) ja dolomiit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Liivsaviosas on ülekaalus räni, alumiiniumi ja kaaliumi sisaldavad mineraalid. Vaba ränioksiidi osatähtsus põlevkivis on ligikaudu 40%. Liivsaviosa koostisesse kuulub ka markasiit. (Ots 2004:22)

Tabel 2. Mineraal osa põhikomponendid (Koel 1999)

Kaltsiit	CaCO_3	58.2%
Dolomiit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	12.6%
Kvarts	SiO_2	11.8%
Püriit	FeS_2	3.4%
Päevakivi	$\text{K}_2\text{O}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 6\text{SiO}$	4.0%
Illite	$\text{K}_2\text{O}\times 3\text{Al}_2\text{O}_3\times 6\text{SiO}_2\times 2\text{H}_2\text{O}$	10.0%

Põlevkivi mineraalosa hulk on tema tööstusliku kasutamise hindamise kriteeriumiks. Mineraalosa hulga kaudseks väljendajaks on põlemisel tekkiva tuha hulk, mis põlevkivide puhul varieerub 45-85% piires. Põlevkive tuhasisaldusega üle 85% praegusel ajal tööstuslikult ei kasutata. Mineraalne hulk järgi liigitatakse põlevkive tuharikasteks (kuni 85% tuhka), keskmise tuhasisaldusega (kuni 70% tuhka) ja tuhavaesetoks alla 60%. Balti basseini põlevkivid on tuhavaesed. Mineraalosa koostiselt jaotuvad põlevkivid nelja põhiliiki: silikaatseks, alumosilikaatseks, alumosilikaat-karbonaatseks ja karbonaatseks. Silikaatne mineraalosa annab põlevkivi põletamisel 60-80% SiO_2 tuha koostises, Al_2O_3 osatähtsus on teisejärguline. Alumosilikaatne mineraalosa annab tuha, milles peale ränioksiidi esineb 20-30% alumiiniumoksiidi. Alumosilikaat-karbonaatne mineraalosa sisaldab lubjakivi ja dolomiiti umbes 20%. Põlevkivi karbonaatne mineraalosa sisaldab 25-50% kaltsiumoksiidi, alumiiniumoksiidi ja ränioksiidi sisaldus on teisejärguline. (Aarna 1989:54-55)

1.2.3 Niiskuse sisaldus

Balti basseini põlevkivi niiskusesisaldus on tavaliselt 8-12% piires. Teiste põlevkivide puhul kõigub niiskusesisaldus laiemates piirides, mõnest protsendist kolmekümneni. Osa vett aurub õhu käes seismisel ega tekita mingisugust probleemi. Teine osa veest on seotud kütusetüki kapillaaridesse ja seda nimetatakse kapillaarveeks. Seda vett saab eraldada vaid kõrgendatud temperatuuril ja järelkult on see seotud energiakuluga nii põlevkivi põletamisel kui ka utmisel. Kolmas osa veest on seotud mineraalosaga keemiliselt ja see eraldub tunduvalt kõrgematel temperatuuridel, kui vastavad mineraalid lagunevad. Keemiliselt seotud vesi esineb kristallvee ehk hüdraadina ja savirikastes põlevkivides on tema osatähtsus märkimisväärne. (Aarna 1989:49)

Kukersiidi looduslik niiskus maapõues on 5-8%, kaubapeenpõlevkivis 10-14%, tükikivis 40-45% (Kattai 2003:21).

2. PÕLEVKIVI JA TEMA KOOSTISOSADE ISEKUUMENEMINE JA ISESÜTTIMINE

2.1 Isesüttimise defineerimine

Kõik ohuga kokkupuutuvad põlevained teatud temperatuuril hakkavad oksüdeeruma. Erinevate ainete oksüdeerumiskiirused on sõltuvad temperatuurist. Oksüdeerumine on soojust eraldav protsess ning soojuseeralduse kiiruse ülekaalus olek soojusäraande kiiruse suhtes põhjustab aine isekuumenemise. Mõnede ainete isekuumenemist ei põhjusta ainult oksüdatsioon, vaid ka teised füüsikalise-keemilised eksotermilised reaktsioonid, nt adsorptsioon. (Talvari 2009:88)

Oksüdeeriva materjali on muutused õhus säilitamise tingimustes väga rasked. Nad on seotud nii tema keemilise koostise ja struktuuriga kui ka tema füüsiliste ja tehnoloogiliste omadustega vastupidavuse ja tahkuse vähenemine, veemahutavuse tõus, poolkoksistamise tõrva väljamineku vähenemine jne. Oksüdeerimise käik ja lõplik tulemus sõltuvad paljude erinevate faktorite mõjust. Siia kuulub materjali füüsiline seis (kontsentreerituse suurus ja tase, puistangu kõrgus, tema kuju, mahu ja pinna suhe, õhu sissepääs jne). (Эпштейн 1967:19)

Isesüttimine on disperssete materjalide madalatemperatuurilise hapendumise protsess, mis lõpeb kõdunemise ja tulepõlemisega. Ainete isesüttimise kalduvus on tingitud nende füüsikalise-keemilistest omadustest: põlemissoojusest, eripinnast, soojusjuhtivusest, soojusmahtuvusest, mahutihedusest ja ümbritseva keskkonnaga soojusvahetuse tingimustest. (Корольченко 1986:12-16)

Isesüttimise protsessi arendamisel saab otsustava tähtsuse saab hapendumises (või mikroorganismide tegevuses) eralduva soojuse kogunemise võimalus materjalis. Isesüttimise protsessid arenevad materjalides võrdlevalt madalatel temperatuuridel (tavaliselt mitte rohkem, kui 247°C/520 K) pika aja jooksul. Sellistel tingimustel oksüdeeruvast välispinnast eraldatavast soojusest ei piisa protsessi toetamiseks.

Isesüttimise obligatoorne tingimus on kogu materjali massi oksüdeerumisreaktsiooni (või lagunemisreaktsiooni) sisse tõmbamine. Samal ajal on täheldatud, et mida suurem on mass, seda lihtsamalt algavad isesüttimise ja isesoojenemise protsessid. (Корольченко 1986:12-16)

Mikrobioloogiline isesüttimine

Mikrobioloogilisele isesüttimisele kalduvad materjalid on peamiselt taimse päritoluga, ja nad saavad olla toitekeskkonnaks bakteritele ja seenbakteritele. Isesüttimise protsessi arengu võimalus mikrobioloogilises mehhanismis on piiratud: materjali isesoojumise temperatuur ei tohiks olla rohkem kui 65°C/348 K, sellepärast, et kõrgemates temperatuurides mikroorganismid, üldjuhul hukuvad. (Корольченко 1986:12-16)

Tänu põlevkivi tekke päritolule ja koostisele mikroorganismide aktiivne paljundamine ja mõjutamine põlevkivi isekuumenemist on vältinud (puudub mikroorganismidele vajalik toitekeskkond).

Termiline isesüttimine

Termiline isesüttimine on füüsikalisk-keemiline protsess, mille kiirus sõltub keemilise reaktsiooni kiirusest, keemilisse ühendusse astuvasse pinnale hapniku tulemisest ja isekuumeneva materjali soojusvahetuse intensiivsusest väliskeskkonnaga. Tahke materjali arenenud pinna koos sellel pinnal absorbeeritud hapnikuga olemasolu on vajalik tingimus isesüttimise protsessi alustamiseks. Hapniku ja ainete vastastikuse mõju heterogeenne protsess toimub osakeste pinnal difusioonilises ja kineetilises režiimis. (Корольченко 1986:12-16)

Olulist rolli isesüttimise protsessi arengus etendab materjali poorsus. Materjali osakeste vahel ruumala täitev õhk, mis on absorbeeritud poorides, osaleb isekuumenemisel. Difusiooni tulemusena jõuab ta reageeriva pinda. Seepärast, isesüttimisele kõige kalduvad materjalid on suure poorsuse ja struktuuriga, mis tagab hapniku sisseimbumist reaktsiooni tsooni. Kalduvus isesüttimisele suureneb materjali absorbeerimisvõimet tõstes. (Корольченко 1986:12-16)

Keemiline isesüttimine

Isesüttimise protsessi kiirendust soodustavad sellised faktorid, nagu suurenenud soojuse akumulatsioon, materjali arenenud pind ja kerge süttivus. Erilist rolli need faktorid mängivad keemilises isesüttimises. On teada, et keemiliste reaktsioonide kiirus üldiselt suuresti kasvab temperatuuri suurendamisega. See asjaolu on väga tähtis keemilises isesüttimises. Kuna oksüdatsiooni protsessid on eksotermilised, raskendatud soojusjuhe tingimustes eralduv soojus läheb materjali massi kuumutusele, kiirendades sellega kriitiliste tingimuste saavutamist. Disperssed materjalid omavad kõiki isesüttimise arenemist soodustavaid omadusi, ja seetõttu isesüttimine, mis on põhjustatud disperssete materjalide kontaktist erinevate ainetega, on päris tihti tulekahjude põhjus. (Корольченко 1986:12-16)

2.2 Põlevkivi isesüttimise soodustavad faktorid

2.2.1 Segregatsioon

Kivimassi mäele puistamise tulemusel toimub kallaku kõrgusel selle eraldumine (segregatsioon), protsess sõltub tükide suurusest. Jalami juures asuvad maksimaalse suurusega tükid, kallakust ülespoole tükide suurus tasapisi väheneb, tipus asuvad kõige väiksemad tükid. Käesolev seaduspärasus on kinnitatud vaatluste tulemustega, mis olid läbi viidud kõigil Eestis olevatel üle 20 meetri kõrgetel mägedel. (Эпштейн 1967:157-158)

Lattu puistamise ajal tekib väga kergesti /.../ segregatsioon osakeste suuruse järgi: suuremad osakesed veerevad kukkumise kohast eemale. Nad kogunevad ja moodustavad õhku hästi läbilaskvaid kanaleid, mis on üsna mittesoovitatav. Selleks, et vältida segregatsiooni kahjulikku mõju, kasutatakse kihulist ladustamist, iga kihi /.../ tasandatakse. (Веселовский 1964:237)

Genereerimise ja soojuse ärajuhtimise tingimuste kohaselt moodustab kivimi massi hoidmisel „kriitilist” mahtu koonilistes mägedes umbes 170-230 tuhat m³; mahu ja pinna suhe ei pea olema kõrgem kui 12,5-13,0. On kindlaks tehtud erinevate liikide ja kivimi massi põlevkivi-kukersiidi tulekahjuohtlikkuse tase avatud õhu ladudes ja mägedes hoidmisel, mis on jõudnud „kriitilise” suuruseni (Эпштейн 1967:223):

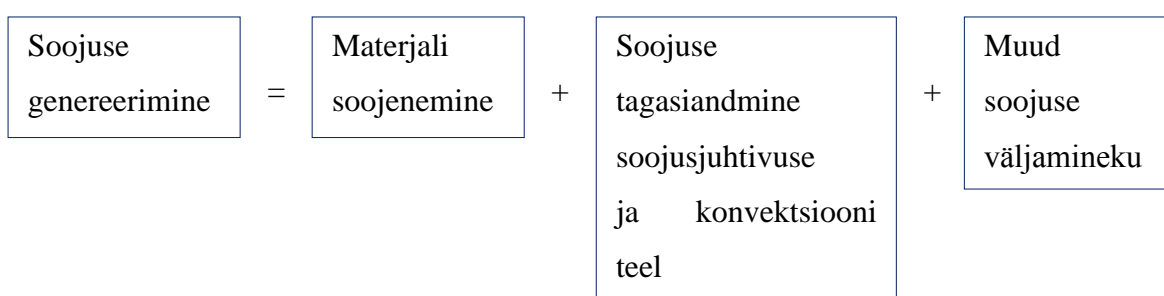
- Väheohtlikud – tehnoloogiline tükkpõlevkivi (sorteeritud), liik 25-125 mm ja kõrgem, esimese kolme aasta hoidmise jooksul;
- Mõõdukalt ohtlikud – purustatud põlevkivi (teraline), liik 0-25 mm;
- Ohtlikud – tavaline põlevkivi; liik 25-125 mm ja kõrgem alates kolme aasta hoidmist, kivim, mis sisaldab purustatud põlevkivi rohkem kui 6%.

Homogeense põlevkivi massi (sarnaste mõõtmistega põlevkivi tükid) ladustamisel pikka aja jooksul tekib loomulik kivimi osakeste peenestamine. See on tingitud hunniku sees oleva vee külmutamisel paisumise efektiga. Vee agregaatoleku muutumine talvel ja kevade sulamise hooajal teeb ladustavate põlevkivitükke habrasteks ja peenemateks.

Autor peab kõige ohtlikumaks nähtust, kui põlevkivi hunnikus eksisteerib segu suurte kivimi osakestest ja peenestatud fraktsioonidest. Suured põlevkivitükid loovad kanaleid ja õõnsusi õhu juurdepääsuks, aga peenestatud põlevkivi omab suurt pinda oksüdeerumiseks hapniku mõjul. Kirjeldatud olukord loob ideaalseid tingimusi põlevkivi isesüttimiseks.

2.2.2 Soojusvahetus väliskeskkonnaga

Soojuse kogumine mäel peab võrduma soojuse generatsiooni ja selle tagasiandmise vahele. Isesoojeneva süsteemi soojusbilanss on kajastatud järgnevalt:



Joonis 1. Soojusbilanss (Эпштейн 1967:158)

Niimoodi tõuseb soojuse genereerimine koos temperatuuriga eksponentsiaalselt, aga soojuse tagasiandmise tõus toimub lineaarselt. Ülevalantud võrrandist on näha, et soojuse genereerimine on süsteemi mahuga proportsionaalne, aga tagasiandmine on proportsionaalne süsteemi välise pinnaga. Sellepärast sõltub soojenemise kiirus süsteemi mahu ja selle välise pinna vahest. (Эпштейн 1967:158)

Madalal temperatuuril isesüttimise alguses on hapniku sorptsiooni kiirus väike. Hapniku kõrge kontsentratsiooni säilitamiseks aine kogumikus on vajalik õhu vähene juurdevool. Vastavalt sellele on ka vooluga välja kantava soojuse hulk väike. Õhu juurdevoolukiiruse suurenedes suureneb ka soojuse eraldumine. (Эпштейн 1966a)

Hapniku sorptsiooni kiirus tõuseb, kui tõuseb temperatuur ($t_2 > t_1$). See tingib hapniku kontsentratsiooni üha kiirema vähenemise piki õhuvoolu. Tulemuseks on asjaolu, et põlevkivi jahutamiseks juba temperatuuril ligi 50°C on vajalikud sellised õhuvoolu kiirused, mis ei ole teostatavad suurtes põlevkivi hunnikutes. Põlevkivi jahutamine õhuvooluga ei ole võimalik. (Эпштейн 1966a)

Kivimite ladude ja aheraine puistangute isekuumenemine areneb alati väikese mahulitest kolletes ja on isekuumenemispesadest lähtunud. Isesüttimiskolde paiknemine sõltub kolmest asjaolust: õhu juurdevoolust, raskendatud soojuse ära andmisest ümbritsevale ruumile, aktiivsete ainete olemasolust materjalis. (Эпштейн 1966a)

Üks faktoritest, mis soodustab õhu liikumist kivimite ladudes ja prügilates, on temperatuuride erinevus. Temperatuur kivimihunnikus on sageli kõrgem, kui ümbritsev õhk, mis tingib õhu juurdevoolu hunniku sisse. Mida suurem on temperatuuride erinevus hunniku ja välisõhu vahel ning mida kõrgem on hunnik, seda tugevamini mõjub see faktor. See on ka üks põhjustest, miks kivimihunnikute isekuumenemine aktiveerub külmal aastaajal. Kui välisõhu temperatuur on 0°C ja kivimihunnikus 40°C, siis õhu tiheduste erinevus on 0,20 kg/m³. Kivimihunniku 1 m kohta teeb see rõhuerinevuseks 0,2 mm veesammast; põlevkivi hunnikud ulatuvad 30 m, aheraine hunnikud 60 m. (Эпштейн 1966a)

Oksüdeeruvus tuleb määrata gaasilise hapniku suhtes ja madalate temperatuuride juures, kuna suurima tähtsusega isesüttimiseks kalduvuse hindamisel on vahemik 20 kuni 60°C. Tulemus, mis on saadud kõrgemate temperatuuride korral, võib mitte olla kooskõlas tegelikkusega, kuna sellisel juhul oksüdeerumise mudel muutub. (Веселовский 1964:183)

Oksüdeerumise kiirus peab olema piisavalt suur selleks, et soojuse genereerimine oleks suurem, kui soojuse äraandmine. See aga tähendab, et materjali oksüdeerumise kiirus saab

olla ainult suhteline isesüttimist iseloomustav suurus välistingimuste suhtes. (Веселовский 1964:183)

2.2.3 Niiskuse ja vee mõju

Põlevkivi ja aluskivimi isekuumenemise ja isesüttimise juhtumid /.../ tõestavad, et nende nähtuste aktivisatsioon toimub kevadise lumesulamise ja talvise sula perioodidel, aga ka kuudel, kus on rohkem atmosfääri sademeid (Эпштейн 1966a).

Vastavalt Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi andmetele põlevkivitööstuse piirkonnas on aasta keskmine sademete hulk 696 mm. Suurim sademete hulk (ligikaudu 400 mm) sajab maha soojal aastaajal juulist oktoobrini. Eesti asub piirkonnas, kus lumikate võib väikesel territooriumil olla väga erinev ning erineda aastati suurel määral. Valdaval osal Eesti territooriumist lõpeb lume sulamine enamasti märtsi lõpul või aprilli esimestel päevadel. (Sademete...03.04.2012)

Sagedaste talviste sulade tõttu on lumekate madal ja ebastabiilne (lumekatte keskmine kõrgus veebruaris-märtsis on 17-19 cm). Vihmaveel ja lume sulamisest tekkinud veel on tugevad oksüdeerimise ja lahustamise omadused. Vesi avaldab mitte ainult mehhaanilist, vaid ka keemilist toimet põlevkivi mineraalsetele ja orgaanilistele osakestele. (Эпштейн 1966a)

Vesi, mis sisaldab süsihapet, vähesel määral lämmastikhapet, hapnikku ja teisi gaase, täidab koos õhuhapnikuga põlevkivi ja aluskivimi poorid ning moodustab kivimihunnikutes oma õhk-vesirežiimi. Vesi kaotab kivimihunnikus liikumise käigus järkjärgult oma koostises oleva süsihappe ja oksüdeerivad mõjurid, küllastub soolade ja teiste ühenditega ning jõudes pinnaseni, viib nimetatud ained kivimihunnikust välja. Vaba süsihape muudab neutraalsed karbonaadid bikarbonaatideks. Kaltsiumbikarbonaadi (CaHCO_3) lahustumine ja tema leostumine põlevkivist ja kivimist aitavad kaasa kõva materjali muundamisel hapraks, poorseks. (Эпштейн 1966a)

2.2.4 Põlevkivi kihid

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 (vt LISA 1). Põlevkivikihid ja nendega vahelduvad

lubjakivikihid erinevad üksteist paksuse, kihi sisemise ehituse ja koostise poolest. (Aaloe...2006:14)

Epštein (1967) uurides põlevkivi erinevate kihtide soodumust isesüttivusele, kasutas meetodit, mis seisneb lahjendatud lämmastikhappe reaktsioonide kompleksi madalate temperatuuride tingimustest (Stadnikovi järgi).

Kompleksse eksperimentaalse uurimise tulemused näitavad, et kõrgeimat aktiivsust omab põlevkivi E, B ja A kihtidest, madalaimat aktiivsust aga põlevkivi D ja F kihtidest. Põlevkivi C ja A` kihtides on vahepealne. Kõik kivimi vahekihid on inaktiivsed. On kindlaks tehtud, et ühest ja samast kihist põlevkivi, kuid erinevatest kihi osadest võib omada erinevat eelsoodumust isesüttimiseks. Eksperimentaalselt on kindlaks tehtud ja tööstusandmete statistilise analüüsiga kinnitatud, et kastialade tsoonidest väljakaevatud põlevkivi omab kõrgeenenud keemilist aktiivsust. (Эпштейн 1967:221)

Epšteini läbiviidud eksperimendi andmete põhjal leiab autor sõltuvust põlevkivi kihi aktiivsuse ja kütteväärtuse vahel, mis on kajastatud tabelis 3.

Tabel 3. Põlevkivi kihtide aktiivsus ja kütteväärtus (autori tabel)

Kihi indeks	Kütteväärtus MJ/kg	Aktiivsus
A	15.00	Kõrge
B	18.5	
E	12.1	
D	10.6	Keskmine
F	9.4	
A`	5.7	Madal
C	10.9	

Põlevkivi kihid A, B, E sisaldavad kõige rohkem kerogeeni, järelkult ladustavas kaubapõlevkivis või aheraine puistangus moodustades suurt osa kogu massist, saab põlevkivi antud kihtidest luua eelsoodumust isesüttimisele.

2.2.5 Ladustava kivimi puistangu kuju ja parameetrid

Põlevkivi ladu moodustamisel või aheraine puistamisel tekkiva hunniku kuju ja suurus mõjutab soojuse genereerimist, õhu voolamise režiimi ja soojusjuhtivust.

Hoitava materjali koguse suurenemisel suureneb mäe mahu ja selle välise pinna vahe, järelkult, väheneb soojuse tagasiandmine iga 1 m³ materjalile. Niimoodi tekivad suurema mahuga mägedel soojuse akumulatsiooni soodsamad tingimused. (Эпштейн 1967:160)

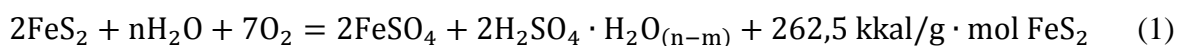
Kõige tuleohtlikum on kivimipuistangute koonusekujuline vorm. Palju vähemal määral on ohtlik lame (platookujuline) vorm puistangumassi kihitise ladustamisega. (Парахонский 1992)

Küsimuse uurimine nagu on näha ülevalöeldust viib järeldusele, et on vaja loobuda kooniliste kivimite mägede kasutamisest. Tuleb luua kaevanduse alal kivimi hoidmist tasastel mägedel, mille kõrgus ei ole rohkem kui 10-15 m. (Эпштейн 1967:161)

2.2.6 Püriidi sisaldus

Põlevate maavarade orgaaniliste ainete üheaegselt saadavad oksüdeerimisprotsessist osa ka anorgaanilised ained. Enamlevinud oksüdeerimis-redutseerimisreaktsioonid toimuvad orgaanilise aine ning raua ja väävli vahel. Püriidi oksüdeerimise käigus eraldub suurel hulgal soojust – sellele püriidi oksüdeerimisvõimele on rajatud hüpotees, mille kohaselt oksüdeerimise esmaseks faktoriks on hapniku koostoime mitte orgaanilise massi, vaid mineraalse komponendiga – püriidi ja markasiidiga. (Эпштейн 1966a)

Püriidi oksüdeerimist saab väljendada järgmise valemiga:



Püriidi oksüdeerumine toimub mitu astmetega. Esmalt oksüdeerub väävel, pärast oksüdeerub $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$

Epštein (1966a) kirjeldab Alumäe T. E. läbiviidud uurimusi, kus hoolikalt teostatud kukersiidi – oksüdeerimiselalases uurimuses märgitakse ära püriidi kerge oksüdeerumisevõime madalatel temperatuuridel eelnevalt niisutatud õhu tingimustes ja ta domineeriv roll võrrelduna põlevkivi orgaanilise aine oksüdeerimisprotsessi intensiivsusega.

Tabel 4. Püriidi sisaldus põlevkivi kihtides ja lubjakivi vahekihtides (Эпштейн 1966a)

Kihid ja vahekihid	Kuiva põlevkivis sisaldus %
A kiht	1,51
A/B vahekiht	0,86
B kiht	2,63
B/C vahekiht	1,18
C kiht	1,15
C/D vahekiht	0,61
D kiht	0,85
D/E vahekiht	1,05
E kiht	4,33
E/F vahekiht	4,36
F kiht	2,29
G kiht	2,19
H kiht	1,04

Tabelis 4 toodud andmetest järeldub, et kõige rohkem püriidi sisaldub põlevkivi E kihis; üldiselt põlevkivi kihtides on tunduvalt rohkem sisaldub püriidi, kui vahekihtides.

Tänu sellele, et püriitse teooria uurimiste käigus ei leidnud kindla tõendit, mis viidaks põlevkivi isesüttimise peamise tekke põhjusele, siis on alus püriidi sisaldust käsitleda ainult isesüttimise soodustavaks faktoriks.

2.3 Põlevkivi endogeensete tulekahjude statistika

Endogeensete tulekahjude statistilise andmeid esitas V. Kochkin VKG Kaevandused OÜ Ojamaa Kaevanduse Mäepäästeteenistuse juhataja. Tabelis 5 on toodud andmed ajavahemikus 1952 aastast kuni 1991 aastani.

Tabel 5. Väljakirjutis Jõhvi Mäepääste meeskonna juhtumite andmetest (autori tabel)

Objekti nimetus	Avariikoht	Avariiliik	Aasta
Käva-2	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	06.1952
«Ahtme» Kaevandus	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	1952
«Kukruse» Kaevandus	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	1953
«Vivikonna» Karjäär	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	1954
«Sompa» Kaevandus	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	1954
«Kukruse» Kaevandus	Aherainemägi	Tulekahju	04. 1957
Kaevandus №2	Terrikoonik – 2	Tulekahju	04. 1959
Kaevandus №2	Terrikoonik – 1	Tulekahju	1961
«Vivikonna» Karjäär	Põlevkivi kolmanda sorti ladu	Tulekahju	10. 1961
Kaevandus №2	Terrikoonik	Tulekahju	08. 1962
«Sompa» Kaevandus	Terrikoonik	Tulekahju	11. 1963
ПО «Сланцехим»	Tuhamägi	Tulekahju	05. 1989
Kaevandus №4	Aherainemägi	Tulekahju	06. 1991
Kaevandus №4	Aherainemägi	Tulekahju	09. 1991

Tabelist 5 on näha, et alates 1952 aastast kuni 1963 aastani endogeensete tulekahjude tekkimine iseloomustub suure sagedusega, mis varieerub iga aasta registreerimisest kuni kahe aasta pausini. Kolmanda sorti ladude, mille põlevkivi elementkoosseisu tunnuseks on süsiniku sisaldus 65-70%, veseniku 7,8-8,3% ja õlisaagise 35-45%, isesüttimine eristub maksimaalse sagedusega vahemikul 1952-1954 aastani. Põlevkivi rikastamise jääkide aktiivne isesüttimise tekke algab 1957 aastast ja jätkab 1991 aastani.

2.4 Küsitluse andmete analüüsimine

Küsitlus, milles osalesid kaevanduse töökeskkonna spetsialist, päästeametnik ja mäepääste meeskonna ülem (vt LISA 2), oli läbiviidud ajavahemikul 12.03.2012-16.03.2012. Küsitluse läbiviimiseks valis autor kitsa sihtrühma, põhinedes vastajate omandatud suure töökogemuses ja uuritava probleemi spetsiifika hea ettekujutuses.

Küsitluse eesmärgiks oli andmete kogumine põlevkivi isesüttimise kohta. Küsitlus keskendus endogeensete tulekahjude tekkepõhjustele, nende kuupäevade ja nende likvideerimisel tekkinud raskuste uurimisele ning ennetusmeetmete väljaselgitamisele.

Läbiviidud küsitluse tulemusena selgusid järgmised asjaolud, mis iseloomustavad põlevkivi isesüttimise protsessi iseärasusi:

- Enamikul juhtumitest ilmnesis isesüttimise tunnused kevade-eelsel perioodil, kui aherainemägede ja tuhamägede pindadelt leiti lumepaljandeid.
- Põlevkivi isesüttimise põlengute veega kustutamine võib tagada parema hapniku juurdepääsu, mille tulemusena põleng aktiveerub veel rohkem.
- Põlevkivipõlengu juhtumite likvideerimisel tuleb kaasata rasketehnikat, põlevkivi ümbertõstmiseks puhtasse kohta selle veega jahutamiseks.
- Kõiki isesüttinud põlevkivi aherainemägesid iseloomustab suur põlevkivisisaldus (kuni 30%) ning puidu, kummi ja muude põlevate jääkide esinemine ladustatud kivimites.
- Ei olnud registreeritud aherainemäede, mille põlevkivisisaldus oli alla 15%, isesüttimist.
- Kõik isesüttimise ja välisest allikast aheraine süttimise juhtumid toimusid kaevandustes, kus ei olnud rikastamistehaseid ja kus toimus käsitsi kivimi sorteerimine.
- Mitte üheski tegutsevatest kaevandustest kaevandatava põlevkivi mehaanilise rikastamisega pole aherainemäed süttinud.

Enamus põlevkivi süttimise juhtumitest jäi registreerimata või kadusid need dokumendid arhiivisse suure koguse dokumentide hulka. Küsitluse läbiviimise tulemused tuli

süsteematiseerida ja luua statistika põlevkivi isesüttimise juhtumite kohta, tuginedes küsitluse vastajate mälestustele ja OPISe protokollidele (vt tabel 6).

Tabel 6. Põlevkivi isesüttimise juhtumite andmed (autori tabel)

Aasta	Objekti nimetus	Tulekahju iseloomustus
15.09.2011	Kohtla-Nõmme	Põlevkivi aheraine isesüttimine
05.02- 16.02.2011	Kohtla-Nõmme	Põlevkivi aheraine isesüttimine
2005	Sompa kaevandus	Ladustatud põlevkivi isesüttimine. Põleva kuhja parameetrid: laius 50 m, pikkus 50 m, kõrgus 5 m
1996	Vitsiku küla, Kohtla vald	Teede ehitamiseks kasutatud paekivi ja põlevkivi segu isesüttimine. Põlemise pindala: 20 m ²
1995	Küttejõu	Aherainemäe süttimine välise allika mõjul
1992	Kiviõli kaevandus	Põlevkivi vana šurfi süttimine välise allika mõjul
Täpne info puudub. Alates ~1960 aastast	Kukruse, Viru, Sompa kaevandused ja Vivikond kaeveväli	Põlevkivi isesüttimine ladudes
Täpne info puudub. Alates ~1960 aastast	Käva, Kukruse, Sompa, Tammiku, Ahtme, №2 ja №4 kaevandused	Aherainemägede isesüttimine

Andmed tabelis 6, mis hõlmavad ajavahemikku alates 1960 aastast, on esitatud Vladislav Levkovski (endise mäepääste meeskonna ülema) isiklike mälestuste põhjal; antud informatsioon on tõendatud ja täpsustatud tabelis 5. Kohtla-Nõmme kaevandusmuuseumi juures 05.02.2011 ja 15.09.2011 olid registreeritud kaks põlevkivi isesüttimise juhtumid (vt LISA 3). Aheraine isesüttimise nähtust tõendavad järgmised asjaolud, et endogeenne tulekahju aktiveerub talve tingimustel pakse lumikatte all ning sügavuses rohkem kui üks meeter. Kirjeldatud sündmuste likvideerimisel veevarustuseks kaasati pumbajaamad HFS ja Aidu karjääri ekskavaatori kraavi kaevamiseks põlenguala ümber.

3. PÕLEVKIVI JA POOLKOKSI LADUSTAMINE

3.1 Põlevkivi ladustamine Viiru Keemia Grupi tööstusterritooriumil

Põlevkivi kogus, mida tarnitakse VKG AS territooriumile ja ladustatakse enne termilise töötlemist, on määratud ja kooskõlas keskkonnakompleksloaga nr L.KKL.IV-198338.

Vastavalt standardile EVS 670:1998 kaubapõlevkivi jaguneb, sõltuvalt kasutamisalast, kvalitatiivselt kahte liiki:

- kontsentraat (tehnoloogiline põlevkivi) liigitähisega K;
- energeetiline põlevkivi liigitähisega P.

Tabel 7. Kontsentraadi (K) ja energeetilise põlevkivi (P) klassid (EVS 670:1998)

Klassi tähis	Klassi nominaalmõõtmed, mm
K1	25-125
K2	0-125
P2	0-125
P3	0-25
P4	0-300

Tuginedes esitatud tabelis 7 andmetele, järeldub, et VKG AS ladustab ja kasutab tehnoloogilises protsessis põlevkivi kontsentraadi (K1) ja energeetilist põlevkivi (P3).

Käesolev standard sätestab ka nõudeid põlevkivi hoidmiseks (EVS 670:1998):

- Kontsentraati ja energeetilist põlevkivi hoitakse eraldi punkris, laos või vaalus. Vaal peab asuma kõval, taimedest ja mullast puhastatud alusel. Ladu ja vaalud peavad olema kaitstud üleujutuste ja risustamise eest, nad ei tohi külgneda hoonetega ning nende vahetus läheduses ei tohi teha tuld.
- Pikaajalisel säilitamisel tuleb põlevkivi temperatuuri laos ja vaalus kontrollida.
- Põlevkivi hoidmise projekti ja põlevkivi temperatuuri kontrollimise korra kinnitab ettevõtte.

Autori poolt soovitatud temperatuuri mõõtmise sagedus on üks kord nädalas ja pikaajaliseks ladustamiseks tuleb pidada üle ühe aasta pikkust ladustamist.

Ladustamiskoht nr 1. Petroter tsehhi toorme vaheladu (vt LISA 4). Ladustatakse põlevkivi peenfraktsiooni: kuni 25 mm. Tegemist on tsehhi toorme vahelaoga, milles maksimaalselt võib olla 30 000 tonni põlevkivi. Faktiliselt sellist koguse ei ole, kuna toore suunatakse pidevalt tootmisprotsessi ja tsehhi seisaku ajal tooret juurde ei tarnita. Ladustamiskoha vahetus läheduses ei ole ohutsooni sattuvaid objekte. Generaatorigaasi torujuhe paikneb 6 m kõrgusel ja ei ole ohutsoonis.

Põlevkivi isesüttimise tõenäosus peab olema kaduvväike, kuna pidevalt võetakse kivi tootmisse ja tarnitakse uut juurde. Ohutu ladustamise eest vastutab tsehhijuhataja, vastavalt ametikohustustele.

Ladustamiskoht nr 2. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (vt LISA 5). Ladustatakse põlevkivi fraktsiooni: 25 kuni 125 mm. Tegemist on tsehhi toorme vahelaoga, milles maksimaalselt võib olla 125 000 tonni põlevkivi. Vahelaost suunatakse põlevkivi GGJ-4 ja GGJ-5 seadmetele ümbertöötamiseks. Ladustamiskoha vahetus läheduses 6,32 m kaugusel 6 m kõrgusel kulgeb generaatorigaasi torujuhe ja 14,83 m kaugusel paiknevad Defenoleerimise seadme fenoolvee mahutid. Oht nimetatud objektidele on minimaalne.

Põlevkivi isesüttimise tõenäosus nimetatud fraktsioonil on tavaliselt väike, sest võetakse kivi pidevalt tootmisse ja tarnitakse uut juurde, aga viimase aasta jooksul antud põlevkivi ei leidnud suur tarbimist, ja ladustatakse seda pikka aja jooksul territooriumil.

Ladustamiskoht nr 3. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (vt LISA 6). Ladustatakse põlevkivi fraktsiooni: 25 kuni 125 mm. Tegemist on tsehhi toorme vahelaoga, milles maksimaalselt võib olla 100 000 tonni põlevkivi. Vahelaost suunatakse põlevkivi GGJ-3 ja GGJ-5 seadmetele ümbertöötamiseks. Ladustamiskoha vahetus läheduses ohustatud objekte ei ole. Ladu asub endise remondi-ehituse tsehhi puitmaterjali lao territooriumil, mille asupaik oli valitud kooskõlas põlevmaterjalide ladustamise reeglitega.

Põlevkivi isesüttimise tõenäosus nimetatud fraktsioonil on minimaalne. Samas võetakse kivi pidevalt tootmisse ja tarnitakse uut juurde. Ladustamiskohtades nr 2 ja nr 3 ohutu ladustamise eest vastutab tsehhijuhataja, vastavalt ametikohustustele.

3.2 Temperatuurproovide võtmine

Temperatuurikatsed olid läbiviidud 04.04.2012 VKG AS tööstusterritooriumil. VKG AS on kõige suurem põlevkivi ümbertöötamise ettevõtte Eestis, mille ajalugu ulatub 1924 aastasse. Kontserni valduses on viis põlevkivitöötlustehast, Ojamaa kaevandus, kaks soojuselektrijaama, oma transpordi, remondi ja elektritööde tütarettevõtted. VKG's töötab umbes 2000 inimest.

Uurimuse eesmärgiks oli registreerida temperatuuri režiimi olemust põlevkivi ladustamise käigus enne seda, kui põlevkivi suunatakse termilisele töötlemisele. Uurimiskatseteks oli saadud heakskiit tehnikadirektori ja töökeskkonnajuhi poolt. Oli läbiarutatud ja kokkulepitud meetmed katsete teostamiseks, et vältida võimaliku kahjulikku mõju tööstusprotsessile.

Temperatuurproovide võtmiseks oli vajalik ladustatava põlevkivi hunniku sisse läbipuurida kanal, läbi mille oleks võimalik temperatuuri mõõta. Tänu ettevõtte töökeskkonnajuhi poolt teostatud kooskõlastusele ja formaalsuste lahendusele olid tellitud puurimistööd VKG Kaevandused OÜ Ojamaa kaevandusest, mis toodab Petroter I tehase tarbeks peenpõlevkivi.

Puurimine

Kanali puurimine oli realiseeritud temperatuuri mõõtmisega samal päeval, et vältida kanali kokkuvarisemise segavat faktorit. Kanal tehti elektrilise käsipuuriga CЭP-19M (vt joonis 7 B), mis mõeldud aukude puurimiseks läbimõõduga kuni 50 mm kivimis.



Joonis 7. A: Kanali puurimine põlevkivis. B: Elektriline käsipuur CЭP-19M. C: Kaks puuri 1,0 m ja 2,0 m pikkusega (autori joonis)

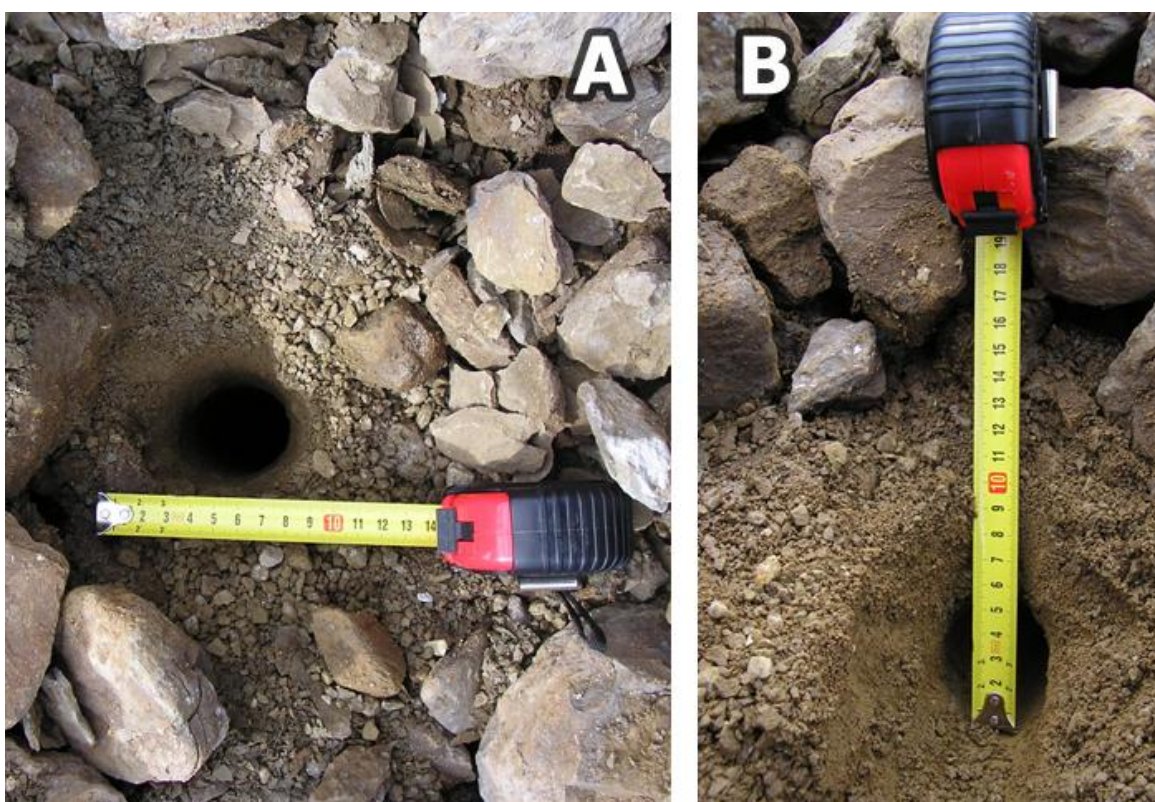
Joonisel 7 on kujutatud elektrilise käsipuur, mis on mõeldud kaevandustes kasutamiseks, ka kaevandustes, kus on gaasi ja tolmu plahvatuse oht. Puur on võimeline töötama välistemperatuuri -10°C kuni 35°C tingimustes.

Arvestades viimast tehnilist faktorit, oli temperatuuri katsete ajaks valitud kevad. Samuti on katsete teostamiseks sobimatud külmad talveilmad ja suur lumekatte paksus. Teiseks põhjuseks oli Epšteini (1966a) kirjeldatud nähtus, kus põlevkivi isekuumenemise aktivisatsioon toimub kevadise lumesulamise perioodil, mis on tingitud lume sulamisest tekkinud veel tugevate oksüdeerimise ja lahustamise omadustega.

Puurimistööd olid teostatud põlevkivi II sordi (vt LISA 7) ümbertöötlemise tsehhi toorme vahelaos, mille põlevkivi fraktsioonide suurus on vahemikus 25 kuni 125 mm ja maksimaalne kogus on 125 000 tonni. Ladu kujutab ennast koonusekujulist hunnikut, mille ligikaudne kõrgus on 20 m, pikkus 150 m ja laius 50 m (vt LISA 4).

Temperatuuri mõõdud

Temperatuuri mõõtmiseks oli ladustatava põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vahelaos läbipuuritud kaks kanalit: üks vertikaalselt (vt joonis 8 A) ja teine 45° kaldega põlevkivi hunniku nõlva suhtes (vt joonis 8 B)



Joonis 8. A: vertikaalselt läbipuuritud kanal. B: 45° kaldega läbipuuritud kanal (autori joonis)

Vastavalt puuri parameetritele on joonisel 8 kujutatud kanalite sügavus 2 m ja diameeter 44 mm. Augu asukoht põlevkivi hunniku nõlvas maapinnast on umbes 4 m.

Temperatuuri näidud olid fikseeritud kontaktivaba infrapunase termomeeteriga Raytek MT6, millega saab mõõta temperatuuri täpsusega $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ tulemusest ja vahemikus -30 kuni 500°C .

Temperatuuri mõõtmisel olid saadud kaks sarnast tulemust vertikaalselt läbipuuritud kanalist -4°C ja 45° kaldega läbipuuritud kanalist $-2,6^{\circ}\text{C}$. Temperatuuri väärtused olid põlevkivi hunniku pinnal põhjas vahemikus $2-5^{\circ}\text{C}$ ja lõunas vahemikus $7-9^{\circ}\text{C}$.

Saadud tulemused on aluseks järgmise väite tegemiseks, et lühiajalisel põlevkivi ladustamisel isekuumenemise ja isesüttimise nähtusi ei eksisteeri. Kanalis, mis oli läbipuuritud vertikaalselt põlevkivi hunniku põhja suunas, on märgatav läbikülmunud põlevkivi massi mõju, mis annab natuke väiksema temperatuuriga tulemusi, kui teisest august saadud tulemused. Selline asjaolu lubab eeldada, et mida kõrgemal asub ladustatav põlevkivi mass, seda kõrgem on selle temperatuur. Tuleb eraldi märkida ka päikese kevadist soojuskiirguse aktiveerumist, mis mõjutab otseselt ladustatava põlevkivimassi läbisoojenemist. Seda tõendavad selgelt erinevad temperatuuri väärtused, mis on võetud hunniku põhja- ja lõunapoolsetelt külgedelt. Temperatuuri ebahütluse põhjuseks põlevkivihunniku pinnal peab autor ka erinevate põlevkivi osakeste erinevat soojusmahtuvust, mis sõltub osakese suurustest.

3.3 Poolkoks

3.3.1 Poolkoksi keemiline koostis ja soodumus isesüttimisele

Termilisel töötlemisel tekkiv tahkejääk (poolkoks) moodustab 55-60% kasutatavast põlevkivist. Poolkoks nagu ka põlevkivi koosneb mineraalsest ja orgaanilise ainest. (Kattai 2003:79)

Tabel 9. Põlevkivi ja poolkoksi orgaanilise massi elementide koostis (Эпштейн 1966b)

	Põlevkivi	Poolkoks
C	76.99	80.55
H	9.68	5.11
S	1.54	5.20
N+O+Cl	11.79	8.84
Kokku	100	100
C:H suhe	7.8	15.5

Põlevkivi orgaanilise aine lagunemine utteprotsessis temperatuuridel 380-450°C toimub intensiivne bitumoidi moodustamine ja algab selle lagunemine õliaurude eraldumisega, mis viiakse lõpule temperatuuri tõusuga kuni 500°C. Gaasigeneraatoriteks nimetatakse agregate põlevkivi termiliseks töötlemiseks eesmärgiga saada põhiproduktina põlevkiviõli. Gaasigeneraatorites toimub põlevkivi poolkoksistamine koos järgneva gaasistamisega või ilma selleta. (Poolkoksi...30.03.2012)

Kirjeladatud protsessi tulemusel saadud poolkoksi orgaaniline osa sisaldus on 7-12%, mis võib teatud tingimustel põhjustada poolkoksi isesüttimist prügilates (Poolkoksi...30.03.2012). Liblik ja Punning (2005:47) kirjeldavad aherainepuistangute isesüttimist, mis iseloomustuvad suure orgaanilise aine sisaldusega (üle 9%). Põlevkivi sisaldus puistangutes kõigub tavaliselt 8-25% piires (Kohtla kaevandus). Autor leiab sarnasuse poolkoksi ja põlevkivi aheraine isesüttimisele kalduvuses nende orgaanilise osa sarnasustes.

Vastavalt EL Prügiladirektiiv1999/31/EÜ, mis sätestab ladestatavate jäätmete üldorgaanika sisalduse, ohtlike jäätmete üldorgaanika on lubatud sisalduseks kuni 8%. Poolkoksi orgaanilise aine tegelik sisaldus ületab direktiiviga määratud piire 4 protsendipunkti võrra ulatudes kuni 12%-ni. (VKG...01.04.2012)

Selleks alustas VKG Oil AS 2005 aastal tööstusprotsessi muutmist, mille tulemuseks oli ladustava poolkoksi orgaanilise aine sisalduse vähenemine kuni 8%. Elluviidud innovatsioonid hoiatasid teoreetilist poolkoksi eelsoodumust isesüttimisele.

Bitumoidi tekkega võib kaasneda põlevkivitükkide kokkusulamine, mis osaliselt takistab soojuskandja läbimist põlevkivikihist uttetsoonis ja põhjustab seega bitumoidi sattumise poolkoksi. (Poolkoksi...30.03.2012)

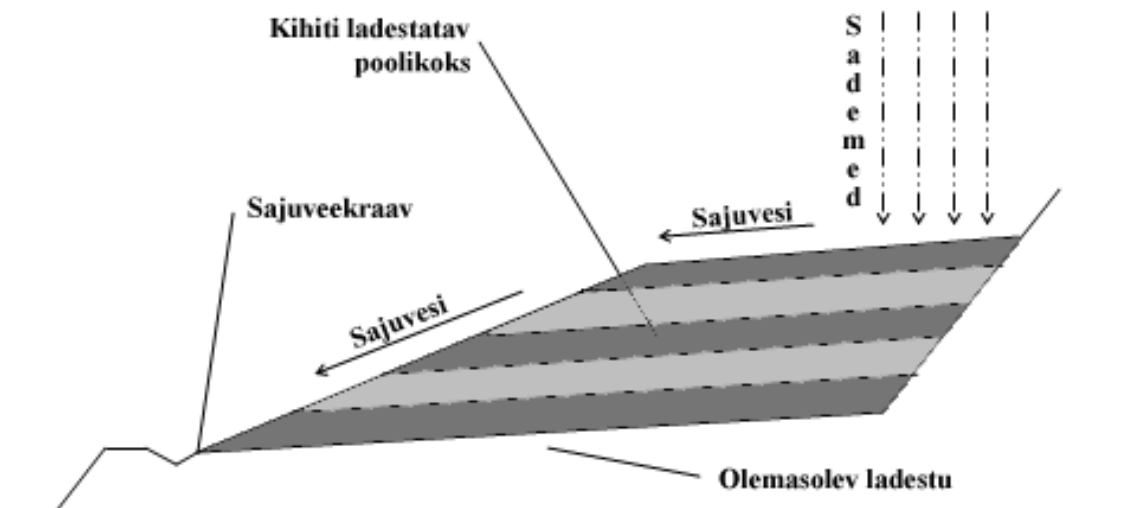
Epstein (1966b) uurides põlevkivi termilise lagunemise jääkide soodumust isesüttimisele, kirjeldab poolkoksi enne mahalaadimist jahutamist, mis seisneb veega loputamises. Tänu selle poolkoksi tükkide pinnal ja pooride kanalites kondenseerub bitumoid, mis vähendab poolkoksi aktiivsust, takistab õhu juurdepääsu ja muutub peaaegu võimetuks isesüttimisele.

Värskelt saadud poolkoks sisaldab suurel hulgal fenooli millest tingitult võetakse seda kui ohtliku ainet. Fenool ja teised kahjulikud ained eralduvad värskest poolkoksist ning reostavad jõgede ja ojade valgealasi mis suubuvad Soomelahte. Teiseks suureks probleemiks on pooltsükliline aromaadne süsivesiniku emissioon (PAHs) ning peeneteralisest poolkoksi jääkmaterjalist eralduv tolmu. Erinevad ohtlike ainete hulka kuuluvad ained (näiteks arseenhape), mida kasutati kunagi õli eemaldus protsessis, on nüüdseks mäetud Kohtla- Järve mahajäätud kaevandustesse. Mõned mahajäätud poolkoksi kaevanused on isesüttinud ning põlevad siiani ning selle käigus eraldub õhku vesiniksulfiidi (H_2S), ammoniaaki (NH_3) ning tugevaid metalle. (Vahta, Pensab, Seppa, Luudd, Karue ja Elvistoc 2010)

3.3.2 Uue poolkoksi prügila ladestamine

Uue prügila projekteerimist alustati 2005 aastal, mille raames olid läbivaadatud kõik võimalikud keskkonnamõjud. Jäätmete süttimise välistab eelprojektiga valitud ladestusviis: poolkoks ladestatakse kihiliselt. Poolkoksi või aheraine platooviisilisel ladestamisel pole isesüttimise juhte teada, valitud ladestamisviisiga saab selle välistada. (Viru...29.03.2012)

Poolkoksi prügila AS VKG territooriumil rajatakse tihendatavate 0,5 m paksuste poolkoksi kihtidena. Lahendus põhineb poolkoksi omadustel, mis võimaldab poolkoksist moodustada kihid, mille filtratsioonimoodul vastab prügila põhja ja katte nõuetele, kuid mille saavutamiseks tuleb poolkoks peale ladestamist koheselt tihendada. Seega on iga ladestatud kiht järgnevale veetihedaks aluseks ja samas uus ladestatud kiht eelnevale katteks. Selle tulemusena moodustub monoliitne ladestu, mis on kogu prügila keha osas väga halva veejuhtivusega ja tekkiva nõrgvee kogused minimaalsed.



Joonis 9. Uue poolkoksi prügila ladestamistehnoloogia (Viru...29.03.2012)

Joonisel 9 on näha, kuidas prügila ümbritsetakse killustikuga kindlustatud kraavidega. Ladestu välisõlvad on rajatud kaldega kuni 1:3, ja sajuvesi voolab ladestu pinna peal sajuveekraavi. Kirjeldatud ladestamismeetod väldib poolkoksi isekuumenemist tänu halva veejuhtivusele ja õhuläbilaskvusele, tihendatud kivim takistab hapniku sorptsiooni hunniku sees.

4. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

4.1 Järeldused

Autori poolt läbiviidud põlevkivi isesüttimise uuringu tulemusel selgusid välja peamised asjaolud põlevkivi endogeensete tulekahjude tekkimise eelsoodumuseks. Allpool esitatakse ja võetakse üldistavalt kokku eksperimendi tulemused ja kõige olulisemaid põlevkivi isesüttimise mõjurid:

- On avastatud põlevkivi isesüttimise sõltuvus kihtidest, kõrgeimat aktiivsust omab põlevkivi E, B ja A kihtidest tänu suure orgaanilise aine sisaldusele.
- Tuginedes Epšteini uuringutele, on alus väita, et püriidi ja mineraalse osa väävlis sisaldavate komponentide oksüdeerumine saab soodustada põlevkivi isekuumenemise protsessi aktiveerumist.
- Põlevkivi ladude ja aheraine puistangu moodustamisel eksisteerib segregatsiooni nähtus, mille puhul hunniku kivimi massi osakesed allosas ja üleval erinevad tunduvalt suuruse järgi.
- Põlevkivi ladude ja aheraine puistangu koonusekujuline moodustamise viis loob ideaalsed tingimused soojuse akumulatsioonile hunniku sees, tänu selle välise pindala ja mahu vahelisele erinevusele.
- Klassifikatsiooni järgi omavad kõige suuremat soodumust isesüttimisele kolm põlevkivi liiki: tavaline põlevkivi, põlevkivi klass nominaalmõõtmetega 25-125 mm peale kolme aastast ladustamist ja kivim, mis sisaldab purustatud põlevkivi rohkem kui 6%.
- Vihmaveel ja lume sulamisest tekkinud veel on tugevad oksüdeerimise ja lahustamise omadused. Vesi avaldab mitte ainult mehhaanilist, vaid ka keemilist toimet põlevkivi mineraalsetele ja orgaanilistele osakestele.
- Läbiviidud temperatuuriproovide võtmise katsed näitasid, et AS VKG tööstuse territooriumil kaubapõlevkivi 25 kuni 125 mm fraktsioonidega laos isekuumenemise ja isesüttimise nähtusi ei eksisteerinud.

- Tänu kaasaegsele põlevkivi rikastamistehnoloogiale on praegusel ajal ladestatavas aheraines ja rikastusjääkides põlevkivi sisaldus on 3-8% piirides, järelkult isesüstitamise võimalus on viidud miinimumile.
- Põlevkivi termilisel töötlemisel tekkiva poolkoksi teoreetiliselt võimalik soodumus isesüstitamisele on vähendatud uue ladestamistehnoloogiaga, mis näeb ette poolkoksi kinnirullimist kihtide kaupa.
- 1986. aastal elluviidud põlevkivi aheraine tasandiliste puistangute eksploatatsiooni juhend aitas likvideerida isesüstitamise juhtumite ilmumist tänu uue puistamise tehnoloogiale.

Järgnevalt toob autor välja ettepanekuid, mille rakendamisel on võimalik ennetada põlevkivi isesüstitamist ladustamise käigus.

4.2 Ettepanekud

Pikaajalise põlevkivi ladustamise korral tuleb hunnik moodustada tüvipüramiidi, poolkera kujuliselt (vt LISA 7). Selline ladustamise viis vähendab välise pindala ja mahu vahet ja takistab soojuste akumulatsiooni laos. Kui tehnilistest või majanduslikest põhjustest tulenevalt ei ole võimalust tagada eelpool kirjeldatud ladustamist, siis ei tohi moodustatud koonusekujuline ladu ületada 15 m kõrgust. Vastasel juhul ei saa vältida segregatsiooni nähtust, mis hunniku kõrgemates punktides väikeste põlevkivi fraktsioonide koguses suurendab oksüdeerumist, st isekuumenemist aine pindalal.

Veejuhtivuse ja õhu juurdevoolu takistamiseks tuleb ladustada põlevkivi kihiliselt ja iga põlevkivi tase tihendamiseks. Kirjeldatud ladustamise meetod on kujutatud joonistel 10 ja 11 (LISA 7). Antud ladustamise viisi saab rakendada, kui põlevkivi fraktsioonide suurus ei ole tähtis tööstusprotsessis. Kihtide tihendamine toimub buldooseritega, roomikutega või spetsiaalsete vibroplaatidega.

Põlevkivi ladustamisel tuleb vältida suurte kivimi osakeste ja peenestatud fraktsioonide kuhjatist. Suured põlevkivitükid loovad kanaleid ja õõnsusi õhu juurdepääsuks, aga peenestatud põlevkivi omab suurt pinda oksüdeerumiseks hapniku mõjul. Kirjeldatud olukord loob ideaalseid tingimusi põlevkivi isesüstitamiseks.

Põlevkivi pikaajalise lao moodustamisel peab olema pidev kontroll ja süstemaatilised vaatlused, eesmärgiga avastada võimalikud isekuumenemise ja -süttimise kolded. Tuleb tagada nii visuaalne kontroll kui ka ladustatud põlevkivikuuhja sisetemperatuuri mõõtmise. Talve hooajal saab isekuumenemise kollet avastada tänu lumepaljanditele kuhja pinnal. Teistel hooaegadel tuleb temperatuuri mõõta läbipuuritud põlevkivi lao kanalitest kontaktivaba infrapunase termomeeteriga, või kasutades selleks muid temperatuuri mõõtevahendeid.

Temperatuuri on soovitatav mõõta nt nädalase intervalliga, siis võib olla märgatav temperatuuri muutumise suund ja ka kiirus. Otstarbekas on luua põlevkivi ladude moodustamise ja hoidmise juhend ning päevik, kus kajastatakse läbiviidud toiminguid ja saadud andmeid. Samalaadsed probleemid on ka Venemaa põlevkivi käitlejatel. Nemad juhivad põlevkivi ladustamisel spetsiaalsetest juhendmaterjalidest, mida soovi korral on võimalik ka Eesti oludele kohandada.

Põlevkivi ladude moodustamisel tuleb vältida võõrkehi ja ainete (purustatud klaas, erinevad polümeerid, auto rehvide osad, saepuru ja muud) sattumist põlevkivi massi sisse. Tuleb ennetada ladustavale põlevkivile suure niiskuse sisaldusega või märja põlevkivi lisamist. Kokkupuude niiskusega soodustab ladustataval põlevkivil oksüdeerumise protsesside aktivatsiooni.

Põlevkivi lao moodustamisel tuleb järgida, et oleks tagatud piisav päästetehnika juurdesõidutee ja veevarustus, sest põlevkivi endogeenne tulekahju eeldab kivimikuuhja lahtiajamist buldoosrite ja ekskavaatorite abil ja suure veehulgaga kustutamist ning jahutamist.

Aheraine puistangud, mis on moodustatud kaevanduse vana rikastamise tehnoloogia tulemusel, peavad olema isesüttimise ennetamiseks kaetud inertsete materjalidega. Sama tehnoloogiat kasutati suletud Kukruse kaevanduse aheraine puistangul, kattes mäe pinna liiva ja mulla seguga.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli leida nii põlevkivi keemiliste ja füüsikaliste protsesside seoste mõju fossiili soodumusele isekuumenemiseks ja isesüttimiseks, kui ka leida meetmeid endogeensete tulekahjude ennetamiseks. Eesmärgi saavutamiseks kasutas autor järgmisi uurimismeetodeid: kirjandus- ja dokumendianalüüsi, küsitlust ja temperatuurproovide katseid.

Temperatuurproovide võtmise katsete tulemused, mis saadi antud lõputöö raames, võivad leida kasutust edasistes põlevkivi isesüttimise uuringutes.

Uurimuse tulemusena selgus isesüttimist soodustavate asjaolude kogum, millest iga faktor võib võrdse tasemel, kuid erinevates tingimustes olla endogeense tulekahju peamiseks põhjuseks. Suureks probleemiks on avastatud puudulik süstemaatiline kontroll pikaajaliste põlevkivi ladude seisundite kohta.

Autori olulisemateks ettepanekuteks on tagada pidev kontroll ladustatava põlevkivi massi temperatuuri olekust ning loobuda pikaks ajaks põlevkivi ladude moodustamisel kasutatavast koonusekujulisest vormist. Samuti ka põlevkivi ladude moodustamise ja hoidmise juhendi ning päeviku loomine, kus kajastatakse läbiviidud toiminguid ja saadud andmeid.

Lõputöö eesmärk on saavutatud. Käsitletud teema on aktuaalne ka edaspidi. Tendents on põlevkivi kaevandamise intensiivistamisele, sest põlevkivist õli ja lähitulevikus Eestis ka diislikütuse tootmine hoogustub soodsate turumajandustingimiste tõttu.

РЕЗЮМЕ

Тема данной дипломной работы – «Самонагревание и самовозгорание сланца». Основная часть дипломной работы составляет 41 страницу. Работа содержит 9 таблиц и 11 рисунков. Работа написана на эстонском языке с иноязычным заключением на русском языке.

Ключевыми словами в данной работе являются: сланец, самовозгорание, эндогенный пожар, отвальная порода, полукоккс.

Исторически известно, что при определенных условиях у сланца есть склонность к самовозгоранию. Этот сложный эндогенный процесс несёт с собой как загрязнение окружающей среды, так и материальный урон (потеря органического вещества, так и сырья).

Целью данной работы является изучение химических и физических свойств сланца, которые могут быть причиной самонагревания и самовозгорания, а также создание превентивных мер по предотвращению эндогенных пожаров. Для достижения цели автор использовал следующие методы исследования: анализ литературы и документов, опрос и температурные пробы. Складирование сланца и полукоккса было исследовано на примере VKG AS, замеры температуры были проведены в штабеле складированного сланца на производственной территории этого же предприятия.

Важнейшим предложением автора является обеспечение постоянного контроля над состоянием температуры складированной массы сланца, а также отказ от конусообразной формы при формировании длительно складированного штабеля сланца. Кроме того, следует создать руководство по формированию и обслуживанию складов сланца и журнал, где отображены все проведённые процедуры и полученные данные.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

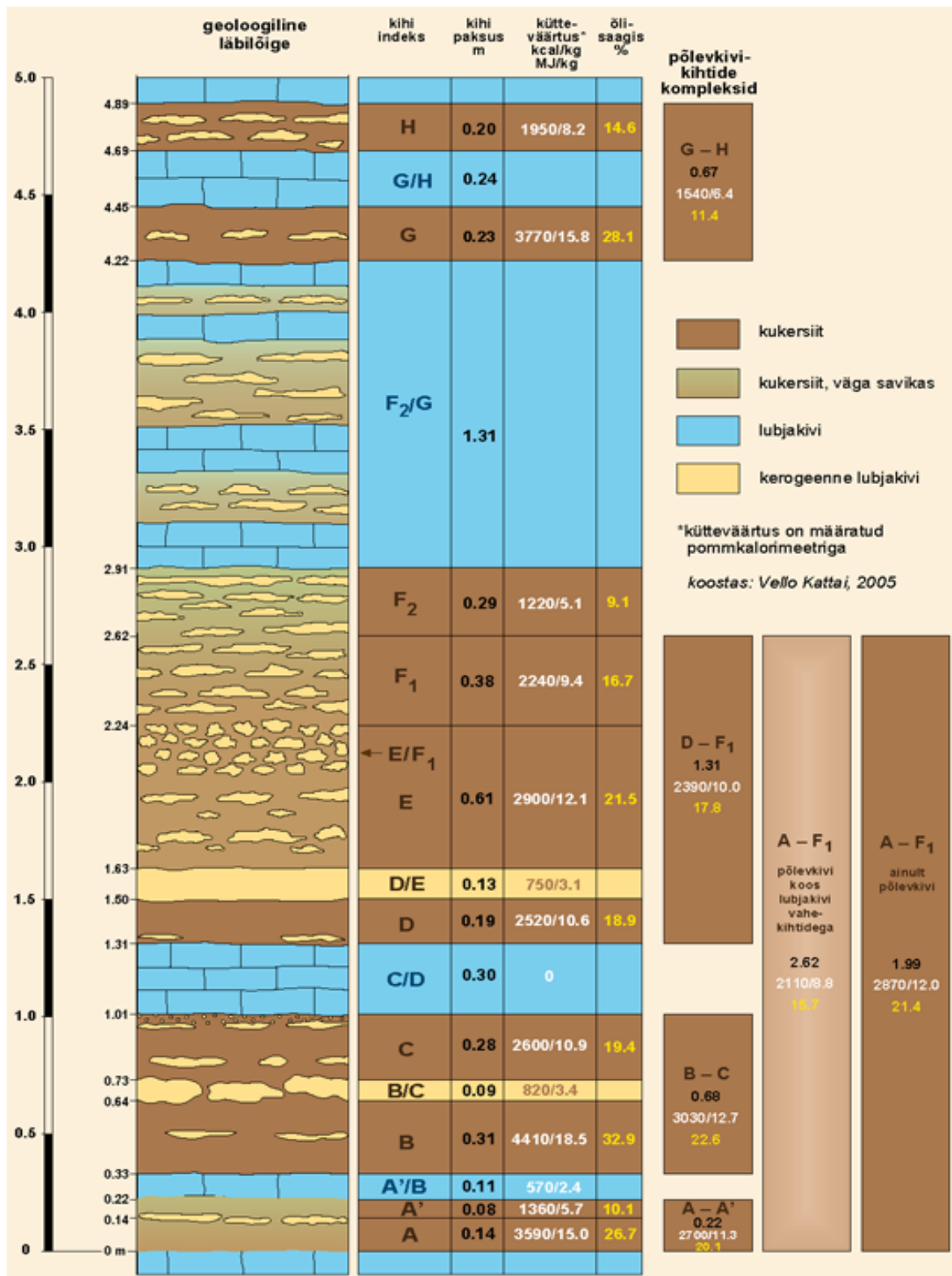
- Aaloe, A., Bauert, H., Soesoo, A. 2006. Kukersiit - Eesti põlevkivi. Tallinn. GEOGuide Baltoscandia
- Aarna, A. 1989. Põlevkivi. Tallinn. Valgus
- Agregaatolekud. Tallinna Tehnikaülikooli kodulehelt
<http://www.kl.ttu.ee/atrick/ope/kky3031/ptk02.pdf> välja otsitud 20.04.2012.
- Difusion. Encyclopedia Britannica online.
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/163068/diffusion> välja otsitud 20.04.2012.
- Eesti Standart EVS 670:1998, Kaubapõlevkivi. Põlevkivi kvaliteeditunnused.
- Kattai, V. 2003. Põlevkivi – õlikivi. Tallinn. Eesti geoloogiakeskus
- Kattai, V., Saarde, T. ja Savitski, L. 2000. Eesti põlevkivi. Tallinn. Akadeemia Trükk
- Koel, M. 1999. Estonian oil shale. <http://www.kirj.ee/public/oilshale/Est-OS.htm> välja otsitud 03.04.2012.
- Kütus. Tallinna Tehnikaülikooli kodulehelt
http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/1._Kutus.pdf välja otsitud 20.04.2012.
- Liblik, V. ja Punning J. 2005. Keskkond ja põlevkivi kaevandamine Kirde-Eestis. Tallinn
- Mõtlep, R., Kirsimäe, K., Talviste, P., Puura, E. ja Jürgenson, J. 2007. Mineral composition of Estonian oil shale semi-coke sediments. Oil Shale, 24 (1), 405–422. Välja otsitud Estonian Academy Publishers andmebaasist 03.04.2012
- Poolkoksi keskkonnaohtlikkuse määramine. 2003. Aruanne Eesti Keskkonnauuringute Keskus. Keskkonnaministeeriumi kodulehelt
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=850/Poolkoksi+keskkonnaohtlikkuse+m%E4%E4ramine.pdf> välja otsitud 30.03.2012.
- Sademetek hulk. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi kodulehelt
<http://www.emhi.ee/?ide=6,299,303> välja otsitud 03.04.2012.
- Talvari, A. 2009. Põlevainete omadused. Tallinn. Sisekaitseakadeemia
- Talvari, A. 2006. Ohtlikud ained. Tallinn. Sisekaitseakadeemia

- Vahta, R., Pensab, M., Seppa, M., Luudd, A., Karue, H. ja Elvistoc, T. 2010. Assessment of vegetation performance on semicoke dumps of Kohtla-Järve oil shale industry, Estonia. *Estonian Journal of Ecology*, 59 (1), 4. Välja otsitud Estonian Academy Publishers andmebaasist 01.04.2012
- Viru keemia grupi uue poolkoksi prügilala eelprojekti keskkonnamõju hindamine. 2005. Viru Keemia Grupi kodulehelt <http://www.vkg.ee/cms-data/upload/keskkonnakaitse/vkg-uee-poolkoksiprugila-kmharuanne.pdf> välja otsitud 29.03.2012.
- VKG Oil AS parendab põlevkivitööstust. Viru Keemia Grupi kodulehelt <http://www.vkg.ee/est/uudised/139> välja otsitud 01.04.2012
- Väli, E., Valgama, I. ja Reinsalu, E. 2008. Usage of Estonian Oil Shale. *Oil Shale*, 25 (2), 101–114. Välja otsitud Mäeinstituudi artiklite andmebaasist 02.03.2012
- Веселовский, В.С., Алексеева, Н.Д., Виноградова, Л.П., Орлеанская, Г.Л., Терпогосова, Е.А. 1964. Самовозгорание промышленных материалов. Москва. Наука
- Корольченко, А. 1986. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. Москва. Химия
- Парахонский, Э.В. 1992. Теоретические и технологические основы предупреждения самовозгорания породных отвалов сланцевых шахт. *Oil Shale*, 16 (4S), 346–355.
- Пожар эндогенный. Горная энциклопедия. <http://www.mining-enc.ru/p/pozhar-endogennyj/> välja otsitud 20.04.2012.
- Терригенные отложения. Горная энциклопедия. <http://www.mining-enc.ru/t/terrigennye-otlozheniya/> välja otsitud 20.04.2012
- Эпштейн, С.Л. 1967. О самовозгорании прибалтийского сланца-кукерсита. Неопубликованная диссертация. Академия наук Эстонской ССР, институт химии, Таллинн
- Эпштейн, С.Л. 1966а. К вопросу о влиянии некоторых факторов на самовозгорание горючих сланцев и вмещающих пород. *Добыча и переработка горючих сланцев*, 15 (1), 122, 124.
- Эпштейн, С.Л. 1966б. Склонность к самовозгоранию твердого остатка термического разложения сланца и сланцевой золы. *Сланцевая и химическая промышленность*, 4 (1), 13–19.

TABELITE JA JOONISETE LOETELU

Tabel 1. Kerogeeni koostiselementid (Koel 1999).....	10
Tabel 2. Mineraal osa põhikomponendid (Koel 1999).....	11
Tabel 3. Põlevkivi kihtide aktiivsus ja kütteväärtus (autori tabel)	19
Tabel 4. Püriidi sisaldus põlevkivi kihtides ja lubjakivi vahekihtides (Эпштейн 1966a) ..	21
Tabel 5. Väljakirjutis Jõhvi Mäepääste meeskonna juhtumite andmetest (autori tabel).....	22
Tabel 6. Põlevkivi isesüttimise juhtumite andmed (autori tabel)	24
Tabel 7. Kontsentraadi (K) ja energeetilise põlevkivi (P) klassid (EVS 670:1998).....	25
Tabel 8. Põlevkivide liigitamine elementkoosseisu järgi (Aarna 1989:9)	53
Tabel 9. Põlevkivi ja poolkoksi organilise massi elementide koostis (Эпштейн 1966b)...	30
Joonis 1. Soojusbilanss (Эпштейн 1967:158)	16
Joonis 2. Põlevkivi kihid Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääri näitel (Aaloe 2006)	42
Joonis 3. A: Põleva kivimi väljatõstmise ekskavaatoriga. B: Põlevkivi aheraine isesüttimine (autori joonis).....	49
Joonis 4. Petroter tsehhi toorme vaheladu (autori joonis)	50
Joonis 5. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (autori joonis).....	51
Joonis 6. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (autori joonis).....	52
Joonis 7. A: Kanali puurimine põlevkivis. B: Elektriline käsipuur СЭР-19М. C: Kaks puuri 1,0 m ja 2,0 m pikkusega (autori joonis)	28
Joonis 8. A: vertikaalselt läbipuuritud kanal. B: 45° kaldega läbipuuritud kanal (autori joonis).....	29
Joonis 9. Põlevkivi tüvipüramiidi kujulise ladustamise meetod (autori joonis).....	54
Joonis 10. Põlevkivi ladustamise kihtide kaupa (autori joonis)	54
Joonis 11. Põlevkivi poolkerakujuline ladustamise meetod (autori joonis)	55

LISA 1. PÕLEVKIVI KIHID



Joonis 2. Põlevkivi kihid Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääri näitel (Aaloe 2006)

LISA 2. KÜSITLUSE VASTUSED JA KÜSIMUSTIK

1. Kas Teie töökogemuses on juhtumeid, mis on seotud põlevkivi isesüstitamisega?

- **Jah**
- Ei

2. Missugustel asjaoludel olid avastatud põlevkivi isesüstitamise juhtumid

(Kui on andmeid, siis täpsustage kohta, kuupäeva ja hooaega. Andke lühidalt ülevaade juhtumi kohta).

Esimesed põlevkivi isesüstitamise juhtumid kinniste kaevanduste aherainemägedes №2, Sompas, Kukrusel toimusid 20. sajandi 60-ndatel aastatel. Põhilisteks põhjusteks olid suur põlevkivisisaldus (kuni 30%) ning puidu-, kummi- ja muude põlevate jääkide esinemine ladustatud kivimites.

20. sajandi 90-ndatel aastatel märgati mitu juhtumit, kus toimus põlevkivi süttimine väliste soojusallikate toimel.

Sonda küla rajoonis põles 1992. aasta suvel Kiviõli kaevanduse maa-alune väljatöötlus, süttinud vanas šurfis ladustatud tuhande taluniku kodust.

1994. aastal süttis kaevanduse number neli aherainemägi jaanipäevaks süütatud lõkkest.

1995. aastal süttis kaevanduse Küttejõud aherainemägi jaanipäevaks süütatud lõkkest.

Kõik isesüstitamise ja välisest allikast aheraine süttimise juhtumid toimusid kaevandustes, kus ei olnud rikastamistehaseid ja kus toimus käsitsi kivimi sorteerimine.

3. Kas on põhjust väita, et loetletud juhtumitel oli tegemist isesüstitamisega, mitte süütamisega või järelvalveta jäätud lahtise tuleallikaga?

Nendel eelmainitud juhtumitel, kus ma märkisin põhjuseks isesüstitamise, oli tegelikult isesüstitamine.

4. Kas oli võimalus visuaalselt hinnata missuguse kivimi klassiga on tegemist?

- Põlevkivi
- Segu põlevkivist ja muu kivimist
- Muud (kirjutage oma variandi vastus)

Lubjakivi vahekihid ja põlevkivi, mille põlevkivisisaldus oli üle 15%. Ükski aherainemägi, mille põlevkivisisaldus oli alla 15% ei põlenud.

5. Kui suures ulatuses oli põlevkivi isesüttimine (täpsustage ligikaudselt pindala) ja kui palju aega võttis selle tulekahju likvideerimine?

Sompa kaevanduse ja kaevanduse number kaks aherainemägede isesüttimisel ei kasutatud aktiivseid kustutusmeetodeid ja lõpptulemusena põlesid nad ära kogu pindala ulatuses. Esimesed aktiivse kustutamise katsed viidi läbi 1972. aastal Kukruse kaevanduse aherainemäel, kattes aherainemäe pinda liiva ja mulla seguga. Läbiviidud tööde tulemusena kaeti aherainemägi hüdroibestamise abil kaetud viljaka ibega ning aja möödudes põlemise protsess lõppes, aherainemägi muutus vaateväljakuks turistidele. Aga isegi praegusel ajal pole põlemine aherainemäe sees täielikult lõppenud. Talvel võib jälgida tumedaid laike lumisel mäe pinnal.

6. Missugused probleemid tekkisid selle juhtumi likvideerimisel?

Põhilised raskused seisnesid selles, et põlevkivi ei õnnestu kustutada seda lihtsalt veega üle valades. On vaja lõigata mitte üle 20 cm paksused kihid, lükata põlev kivim puhtasse kohta ja seal seda veega jahutada. Põlemise käigus eraldub suur kogus kahjulike gaase, selle tõttu tuleb põlemiskoldes töötada isoleerivate hingamisaparaatidega.

7. Missugust kustutustaktikat kasutati juhtumi likvideerimisel?

Esimene moodus: hüdroibestus inertsete materjalidega.
Teine moodus: põleva kivimi mahalõigatavate kihtide veega kustutamine.

8. Kuidas oleks võimalik, Teie arvates, vältida põlevkivi isesüttimist?

Mitte üheski tegutsevatest kaevandustest kaevandatava põlevkivi mehaanilise rikastamisega pole aherainemäed süttinud. Antud vastusele lisatud „Põlevkivikaevanduste lamedate aherainemägede eksploatatsiooni ohutusnõuded“ nõuete täitmine võimaldas viia põlevkivi isesüttimise tõenäosuse aherainemägedes

nullini.

Nimi	Vladimir
Perekonnanimi	Šalašinski
Ametikoht	Töökeskonna spetsialist EEK AS Estonia kaevandus.

1. Kas Teie töökogemuses on juhtumeid, mis on seotud põlevkivi isesüttimisega?

- **Jah**
- Ei

2. Missugustel asjолudel olid avastatud põlevkivi isesüttimise juhtumid

(Kui on andmeid, siis täpsustage kohta, kuupäeva ja hooaega. Andke lühidalt ülevaade juhtumi kohta).

Andmed on esitatud isiklike mälestuste põhjal alates 1960. aastast, mille tõttu on minul raske sündmuste kuupäevi meenutada.

Enamikul juhtumitest ilmnisid süttimise tunnused kevade-eelsel perioodil, kui leiti aherainemägede ja tuhamägede pindadelt lumepaljandeid.

Põlevkiviladude süttimise juhtumid leidsid aset Kukruse, Viru ja Sompa kaevandustes ning Viivikonna karjääril.

Aherainemägede (tuhamägede) leidsid aset enamikul mägiettevõtetel: Käva, Kukruse, kaevandus number kaks, kaevandus number neli, Sompa, Tammiku, Ahtme.

3. Kas on põhjust väita, et loetletud juhtumitel oli tegemist isesüttimisega, mitte süütamisega või järelvalveta jäätud lahtise tuleallikaga?

Jah, võib väita, et valdaval enamikul juhtudest leidis aset isesüttimine. Meenub juhtum, kus tuhamäe jalamil tehti lõke, millest sai alguse aherainemäe põleng. Põlengu likvideerimine ei valmistanud raskusi.

4. Kas oli võimalus visuaalselt hinnata missuguse kivimi klassiga on tegemist?

- Põlevkivi
- Segu põlevkivist ja muu kivimist
 - Muud (kirjutage oma variandi vastus)

Tuhamägede süttimisel võib pakkuda, et suurima tõenäosusega leidis aset mittemägist

päritolu materjalide (äratöötanud õlid, määrded, õliga immutatud riided ja muu sarnase) sattumine aherainemägedesse.

5. Kui suures ulatuses oli põlevkivi isesüttimine (täpsustage ligikaudselt pindala) ja kui palju aega võttis selle tulekahju likvideerimine?

Põlemispindalast võib rääkida väga suhteliselt, kuna suurem osa põlevast massist asus aherainemäe sees ja ilmselt moodustas olulist mahtu. Kui aga temperatuur jõudis avatud pinnale, siis moodustas põleng mõnest ruutmeetrist kuni kogu aherainemäe avatud pinnani.

Põlengu likvideerimise katseid tehti mitmeid kordi suure koguse vee andmise ja osalise aherainemäe lahtivõtmise buldoosritega abil. Ilmselt vee andmisega tagati parem hapniku juurdepääs ja põleng aktiveerus. Kõik süttinud tuhamäed põlesid ära täielikult. 80-ndate alguses muutus aherainemägede süttimine üsna aktuaalseks. Eraldi momentidel oli suitsu tõttu piiratud autotranspordi liikumise kiirus Tallinn-Narva maanteel, kaevanduses number kaks kaasati põlevkivi äralaadimisele mäepääste rühm respiraatorite kasutamisega.

Probleemi lahendamisse kaasati МакНИИ instituut, mis töötas välja juhendi „Põlevkivikaevanduste lamedate aherainemägede ekspluatatsiooni ohutusnõuded“.

Mis puutub põlevkivi ladudesse, siis vähimategi soojenemise tunnuste puhul teostati soojenenud koha lahtivõtmine buldoosrite ja ekskavaatorite abil ja soojenenud massi rohke veega niisutamine. Selle juures teostati põlevkivi äralaadimist tarbijale.

6. Missugused probleemid tekkisid selle juhtumi likvideerimisel?

Lisatöö maht veetrasside loomiseks, vajadus kasutada hingamisseadmetega masinistidega masinaid, soojenemiskolde läheduses töötavate kohustuslik kindlustus professionaalsete mäepäästjatega, piiratud võimalused suure koguse tehnika kasutamisel.

7. Missugust kustutustaktikat kasutati juhtumi likvideerimisel?

Kirjeldus eespool.

8. Kuidas oleks võimalik, Teie arvates, vältida põlevkivi isesüttimist?

Põlevkivi ladustamisel mitte lubada pikki ladustamise aegu, ei tasu ehitada suuremahulisi ladusid, omada ladude läheduses töökindlaid veevõtukohti, tagada pidev

järelevalve lao seisundi üle.

Mis puutub kivimite ladustamisse, siis МакНИИ ülikooli soovitustele ei ole midagi lisada.

Nimi	Vladisval
Perekonnanimi	Levkovski
Ametikoht	Endine mäepääste meeskonna ülem erus (praeguseks pensionil).

1. Kas Teie töökogemuses on juhtumeid, mis on seotud põlevkivi isesüttimisega?

- **Jah**
- Ei

2. Missugustel asjолudel olid avastatud põlevkivi isesüttimise juhtumid

(Kui on andmeid, siis täpsustage kohta, kuupäeva ja hooaega. Andke lühidalt ülevaade juhtumi kohta).

Põlevkivi isesüttimised on aset leidnud kaevanduste põlevkivi ladustamise platsidel ja siis kui teede ehituse jaoks kasutatava paekivi mille hulgas on palju põlevkivi.

- Sompa kaevanduse laoplatsil 2005 aasta suvel. Laoplatsile ladustatud põlevkivi hulka oli sattunud märga põlevkivi, mis hakkas kuumenema ja seejärel toimuski süttimine (tegemist on sama protsessiga kui turbal). Paoplatsil oleva hunniku suurus oli umbes 50x50 meetrit ja kõrgus umbes 5 meetrit.
- Teede põlengud olid Ida-Virumaal 1996 aastal suvel Kohtla vallas Vitsiku külas.

3. Kas on põhjust väita, et loetletud juhtumitel oli tegemist isesüttimisega, mitte süütamisega või järelevalveta jäätud lahtise tuleallikaga?

Oletatavalt oli nendel juhtudel tegemist isesüttimisega. Sai ka konsulteeritud Mäepääste spetsialistidega, kes kinnitasid isesüttimise võimalust.

4. Kas oli võimalus visuaalselt hinnata missuguse kivimi klassiga on tegemist?

- Põlevkivi
- Segu põlevkivist ja muu kivimist
- Muud (kirjutage oma variandi vastus)

Esimesel juhul oli kindlalt tegemist ainult põlevkiviga, teisel juhul tegemist paekivi ja põlevkivi seguga.

5. Kui suures ulatuses oli põlevkivi isesüttimine(täpsustage ligikaudselt pindala) ja kui palju aega võttis selle tulekahju likvideerimine?

Sompa kaevanduses toimunud põlengut kustutati umbes nelipäeva, kuna tegemist oli kuhjatud põlevkivi mäega, pindala oli umbes 100 ruutmeetrit. Vitsiku külas oli tegemist teega, siis seal põles umbes 20 ruutmeetrit, kustutamine kestis 8 tundi.

6. Missugused probleemid tekkisid selle juhtumi likvideerimisel?

Põlevkivi kustutamise juures on vaja kasutada rasket tehnikat (ekskavaatorid, buldooserid) kõik pinnas on vaja ümber tõsta. Sündmuskohal on vaja palju kustutusvett ja inimressi.

7. Missugust kustustaktikat kasutati juhtumi likvideerimisel?

Sündmuskoht piirati ja alustati kustutusega.

8. Kuidas oleks võimalik, Teie arvates, vältida põlevkivi isesüttimist?

Konrtollida, et ei satuks märga põlevkivi massi kuiva hulka. Ladustada õhema kihiga.

Nimi	Janno
Perekonnanimi	Vool
Ametikoht	Ida Päästkeskuse Jõhvi päästekomando pealik

LISA 3. PÕLEVKIVI AHERAINE ISESÜTTIMINE



Joonis 3. A: Põleva kivimi väljatõstmine ekskavaatoriga. B: Põlevkivi aheraine isesüttimine (autori joonis)

LISA 4. LADUSTAMISE KOHT NR 1



Joonis 4. Petroter tsehhi toorme vaheladu (autori joonis)

LISA 5. LADUSTAMISE KOHT NR 2



Joonis 5. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (autori joonis)

LISA 6. LADUSTAMISE KOHT NR 3



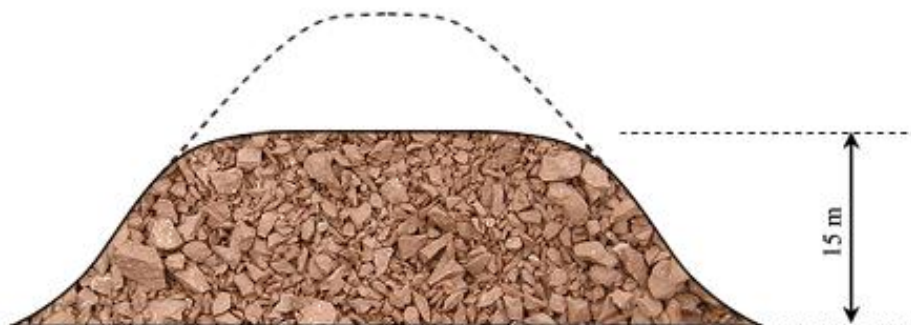
Joonis 6. Põlevkivi ümbertöötlemise tsehhi toorme vaheladu (autori joonis)

LISA 7. PÕLEVKIVIDE LIIGITAMINE ELEMENTKOOSSEISU JÄRGI

Tabel 8. Põlevkivide liigitamine elementkoosseisu järgi (Aarna 1989:9)

Põlevkivi klass	Elemendi sisaldus, %		Õlisaagis, %
	süsinik	vesenik	
I	Kuni 60	Kuni 7,3	18-25
II	60-65	7,3-7,8	25-35
III	65-70	7,8-8,3	35-45
IV	70-75	8,3-8,9	45-57
V	75-80	8,9-9,3	Kuni 67

LISA 8. PÕLEVKIVI LADUSTAMISE MEETODID



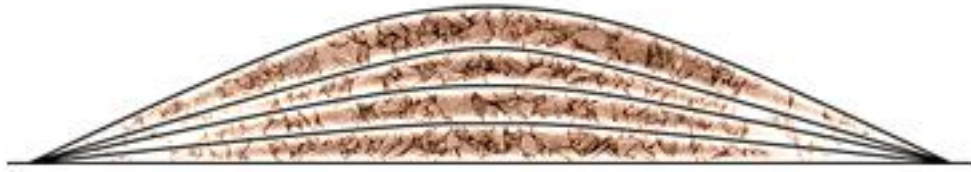
Joonis 9. Põlevkivi tüvipüramiidi kujulise ladustamise meetod (autori joonis)

Joonisel 9 on kujutatud punktiirjoonega tekkiv koonusekujulise puistamisel hunniku ülaosa, mida tuleb vältida põlevkivi ladu moodustamisel.



Joonis 10. Põlevkivi ladustamise kihtide kaupa (autori joonis)

Joonisel 10 on kujutatud kihtide kaupa ja nõlvade tihendamist eeldav ladustamine. Kirjeldatud ladustamise viis maksimaalselt takistab õhu juurde pääsu hunniku sisse ja veejuhtivust. Kihtide tihendamine toimub rakse tehnika abil (buldoosritega, roomikutega).



Joonis 11. Põlevkivi poolkerakujuline ladustamise meetod (autori joonis)

Joonisel 11 on kujutatud poolkerakujuline põlevkivi ladustamine, mis eeldab laugnõlvade moodustumist ja kihilist tihendamist rakse tehnika abil (buldoosritega, roomikutega). Kirjeldatud ladustamine soodustab vaba ja ohutu tehnika liikumist, aga vajab suure ladustamise pindala.