

6. Eesti põlevkivi kaevandamisviisid

Martin Saarnak, Lembit Uibopuu, Ingo Valgma, Martin Nurme, Vivika Väizene

Sissejuhatus

Eestis on põlevkivi kaevandatud avakaevandamis- ja allmaakaevandamismoodusel [3]. Kaevandamisviisi klassifikatsioon täpsustab seda, kuidas kaevandatakse. Tavaliselt näitab see põhikaeveõõnte või põhiprotsesside põhiomadusi [19]. Põlevkivi kaevandamine Eestis [11] sai alguse I maailmasõja päevil, kui Venemaa loode osa tabas kütuse kriis ning kui mõisteti kivisöe asendatavust põlevkiviga. Venemaal moodustati Kütuse Komitee, kus kaaluti põlevkivi kasutamise võimalusi. 1916. aastal hakkas Kütuse Komitee ülesandel geoloog Pogrebov läbi viima ulatuslikke geoloogilisi uuringuid Eesti põlevkivi levikualal. Geoloogilisteks uuringuteks kasutati šurfe. Põlevkivi proovide saamiseks laiendati uuringušurfe ja kaevandati 50 tuhat puuda põlevkivi Petrogradi teaduslikesse uurimisasutustesse, Tallinna katlamajadesse ja Aseri ning Kunda tsemendivabrikutesse saatmiseks. Uurimistulemused olid edukad. Kütte komitee otsustas alustada põlevkivi kaevandamist ja tsaar Nikolai II eraldas selleks riigi poolt kaevanduse projekteerimiseks ja rajamiseks vastava summa raha ning sellega seotud tööd algasid kiirelt [14].

Põlevkivikarjäärade rajamine

Enne karjäärade rajamist oldi rajatud uuringušurfid. Uuringušurfid olid rajatud teaduslikes laboratooriumites põlevkivi uurimiseks. Esimesed šahtid ja strekid rajati käsitsi, raimates kangi ja kiilude abil, vesi pumbati välja käsipumbaga ja lahti murtud põlevkivi tõsteti maa peale käsivintsi abil puutoobris [16]. 1917. aastal alustati põlevkivi kaevandamise ettevõtte rajamist Pavandu külla. Hakati ehitama kitsa- ja laiarööpmelist raudteed Kohtla raudteejaamast Pavandusse. Alustati Pavandu külas infrastruktuuri ja ehitiste rajamist (elektrijaam, katlamaja, töökojad). Pavandu karjääris hakkasid tööle auruvedurid koos puidust vagonettidega ja elektriga käivituvad veepumbad. Veetaseme alandamiseks kaevati käsitsi veekraav. Kahjuks sõjategevuse tõttu tööd takerdusid. Pavandu karjääri algust võib nimetada ka Eesti põlevkivi avakaevandamise alguseks. Pavandu karjääris alustati aukkaevandamisega ja hiljem mindi üle vaalkaevandamisele [24]. 1919. hakati Pavandu karjääris katendi eemaldamiseks kasutama 2 m³ kopa mahuga auruvekskavaatorit, mida liigutas, elektrijõul töötav metallist transportöör. Rööbastel liikuvat auruvekskavaatorit hakati esmakordselt Eestis põlevkivi kaevandamisel kasutama 1925. aastal Vanamõisa karjääris, kuigi tööd algasid seal juba 1920. Järgnesid ka teiste karjäärade rajamised (Tabel 6-1).

Põlevkivikaevanduste rajamine

Kaevandamise tehnoloogiat ja protsesse valitakse sõltuvalt mäendustingimustest [20]. On teada tuntud tõde, et lõuna suunas on põlevkivi kihind sügavamal maapõues. Samuti on tänapäevaks kujunenud tõeks, et kaevandamine karjäärist pole otstarbekas kui põlevkivi kihindit katab üle 30 meetri paksune katend. Alla 30 meetri sügavusi kaevandusi leidub Eestis mitmeid, alustades ajaloolistest kaevandustest, mis rajati avamusjoone lähedale Pavadus, Kävas, Kiviõlis, Küttejõul ja Viivikonnas. Kõigil eelpool nimetatutel jääb põlevkivikihind maapinnast alla 10 meetri sügavusele. Madala sügavusega kaevandused on tingitud asjaoludest, et nende tekke aegne paljandamise tehnoloogia polnud üle 10 m sügavuse karjääri loomiseks just optimaalseim ressursside kasutamine. Seetõttu hakati kasutama allmaakaevandamist ja selleks rajati karjääridest stollid. Esimeseks toodangut andvaks kaevanduseks võib nimetada Kukruse kaevandust [15]. Enne II maailmasõda toimus allmaakaevandustes valdavalt paarisstrekkega kaevandamisviis. See oli tingitud põlevkivi säästvast kasutamisest ja tuli vältida maapinna vajumist. Vahetult pärast II maailmasõda võeti kasutusele paarislaavadega kaevandamisviis, 1960ndatel kamber- ja kombineeritud kaevandamisviis (Tabel 6-2).

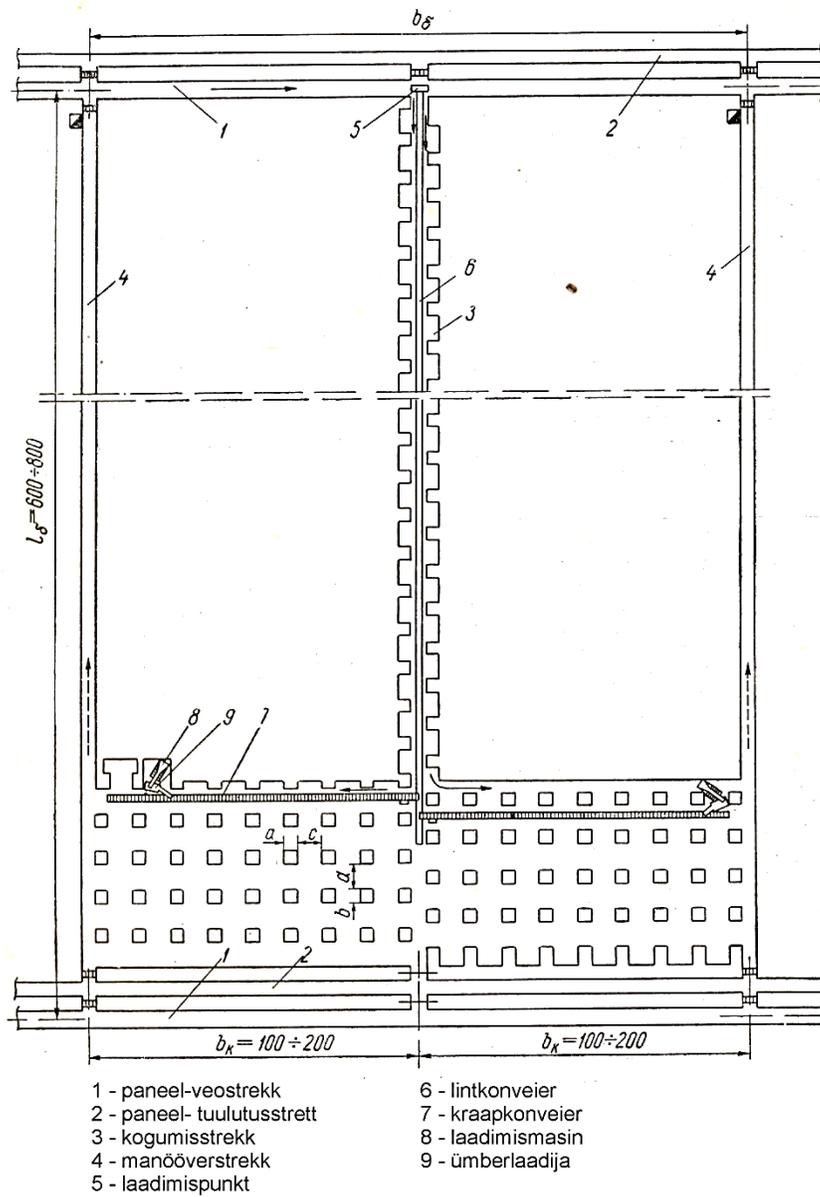
Eesti põlevkivi kaevandamisel on kasutatud järgmisi kaevandamisviise:

- **Avakaevandamisel**
 - ✓ väljakkaevandamine - kaevandamisviis, mille puhul maavara väljatakse kihtidena suurel alal e. väljakul. Lasund võeti välja kihtide kaupa, katend ja aherkivi veeti hobustega välispuistangutesse, põlevkivi ladustati. Põlevkivi kaevandamisel kasutati ainsana erafirmas „Mutschnik & Co“ 1917 aastal Muistneki karjääris, kus tööd katkesid revolutsiooniliste sündmuste tõttu.
 - ✓ aukkaevandamine - karjääris kaevandades jääb järgi auk. Katend ja aherkivim veetaks välispuistangusse. Aukkaevandamist kasutatakse juhul kui katendikivimeid ei saa paigutada kaevandataud alasse, kuna need kataksid maavara või neid ei ole piisavalt, et auku täita. Eestis on enamus karjäärid alustanud aukkaevandamisega, seejärel on mindud üle vaalkaevandamisele.
 - ✓ vaalkaevandamine - peamine kihtmaardlate kaevandamisviis, mille puhul katendikivimid paigutatakse sisepuistangusse vaaludena. Eesti põlevkivi- ja fosforiidikarjäärid on vaalkarjäärid [18, 22, 4].
- **Allmaakaevandamisel**
 - ✓ paarisstrekkega - kõige vanem kasutusel olnud allmaa kaevandamisviis Eestis. Alustati kitsaste 3-4 m laiuste etega (kambritega), hiljem hakati katsetama laiemaid (8-10 m) esi, kus jäeti aherkivim kaevandatud alasse.
 - ✓ paarislaavadega - Paarislaavadega kombineeritud kaevandamisviisil rajati paneelstrekke vahele ette kogumisstrekki ja kraapkonveieri monteerimiseks kahele poole ee alglõõrid. Kogumisstrekile monteeriti lintkonveier, millelt laaditi põlevkivi paneelstrekil vagonettidesse. Vedu toimus elektriveduritega. Põlevkivi sorteerimine, laadimine kraapkonveierile ja aherkivimi laadimine üle konveieri

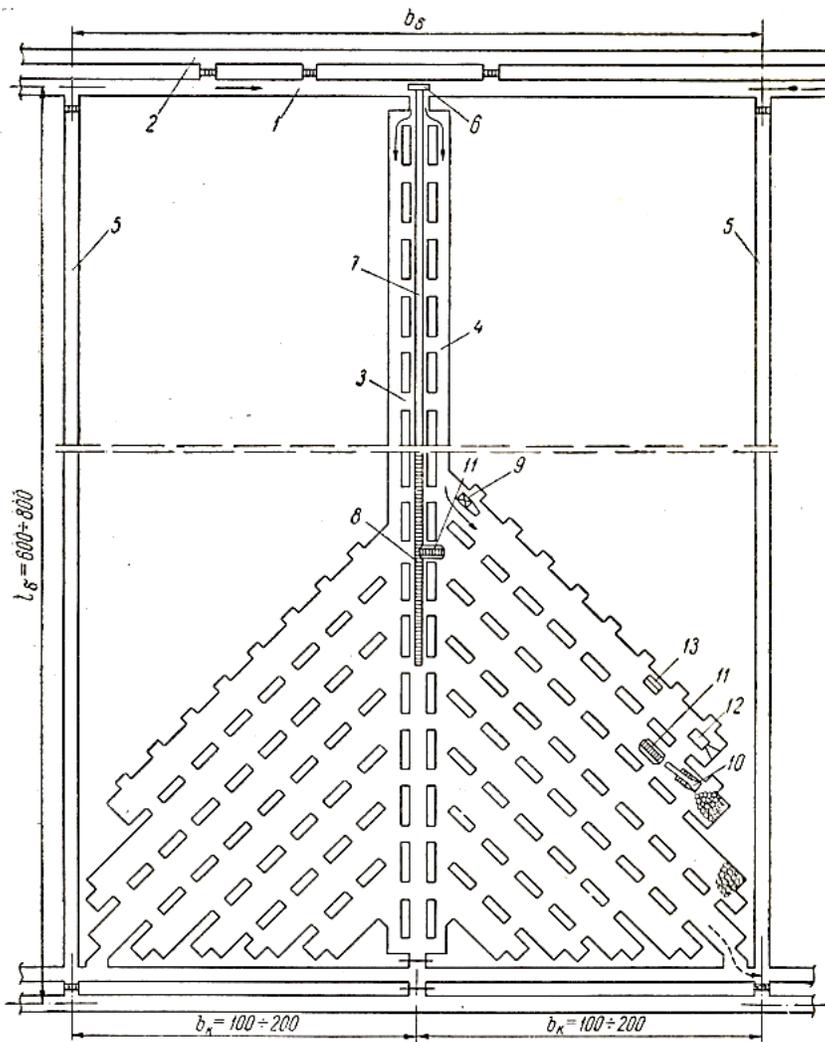
paeriita toimus käsitsi. Algul kasutati üheketilist, hiljem kaheketilist kraapkonveierit lõpuks moodsamat hüdrojuhvidega kaheketilist ankrukettidega konveierit. Kaevandatud alas kasutati osalist täitmist, mille tõttu maapind vajus [7]. Põlevkivi raimamiseks kasutati soonimist ja puur-lõhketöid. Lõhketöödel kasutati ammoniiti. Tööee toestamisel kasutati puit-toeposte, hiljem metall-toeposte. Laavade lõppu jäeti külgstrekk, tuulutuseks, materjalide transpordiks ja varuväljapääsuks.

- ✓ **kamberkaevandamine** - kaevandamisviis, mille puhul jäetakse väljatasvasse kihindisse tervikud, mis hoiavad maapinda üleval ja nende vahele moodustuvad kambriid, kus liiguvad masinad (Joonis 6-1) [6]. Kaevandamisviisi eeliseks on võimalus kasutada põlevkivi väljamisel moodsaid mäemasinaid [17] ja oluliseks tunnuseks on katendi ja maapinna vajumise vältimine normaalsetel geoloogilistel tingimustel [23]. Puuduseks on, et osa maavarast (põlevkivist) jäetakse väljamata, millest moodustuvad tugitervikud, mis jäävad maapinda hoidma. Veel on puuduseks see, et kogu väljatatav kaevis (põlevkivi ja aherkivim) tuleb transportida maa peale seal rikastada tarbijale nõutava kvaliteedini. Suurenevad kaevandamiskaod ja maad risustavad aheraine mäed. Kasutusel on olnud ja on ka edaspidi võimalik kasutada erinevaid kamberkaevandamise viise (Joonis 6-2, Joonis 6-3, Joonis 6-4, Joonis 6-5) . Kambrite laius on olnud olenevalt kattekivimite paksusest ja omadustest 6 -10 m, tervikute mõõdud ca 6x6 m ja kõrgus 2,6 – 3,4 m. Kamberkaevandamisel on kasutatud puur-lõhketöid. Algul puuriti ja lõhketööd viidi läbi käsitsi. Tänapäeval on kasutamisel puurimisel liikuvad puurseadmed ja lõhketöödel kasutatakse emulsioon-lõhkeaine laadimisseadmeid. Kaevisse laadimiseks kasutati algul käpp-laadimismasinaid, millega laaditi algul vagonetti, siis konveierile, liikurvagonetti ja viimastel aastatel on kasutusel kopplaadurid. Kambrites on kasutatud ka allmaa töödeks kohandatud buldoosereid kambrite puhastamiseks ja kaevisse kraapkonveierile laadimiseks. Kambrite toestamiseks kasutati ankurtoestikku. Originaalse, lihtsalt paigaldatava, valmistatava ja korduvalt kasutatava ankrutüübi töötasid välja Põlevkivi Instituudi teadlased, mille valmistamise tehnoloogia parendamiseks aitasid kaasa Kesk-Elektromehaanikatöökodade insenerid. Ankrupikkus sõltus luku paigutamise asukohast tihedasse lubjakivi kihti [10]. Ankrupaidamise puurauke puuriti kambri lakke käsi-elektripuurmasinaga keerdpuuriga. Puurimisel kasutati mitmesuguseid ratsionaliseerijate valmistatud abivahendeid. Hiljem kasutati liikuvaid puurseadmeid. Kogumisstrekil kasutati kaevisse lintkonveierile laadimisel punker-ümberlaadureid [1] Kambriploki tuulutamiseks kasutati kohalikke ventilaatoreid kummitorude või konfuusoriga. Ahtme kaevanduses kasutati kamberkaevandamisel USA firma Joy mäemasinate kompleksi, mis koosnes laadurist, liikurvagunist, puurvankrist ja ankurtoestiku paigaldamise masinast. [13]

Näiteid kaevandamisviiside kasutamisest konkreetsetes kaevandustes on näha tabelist. (Tabel 6-2)

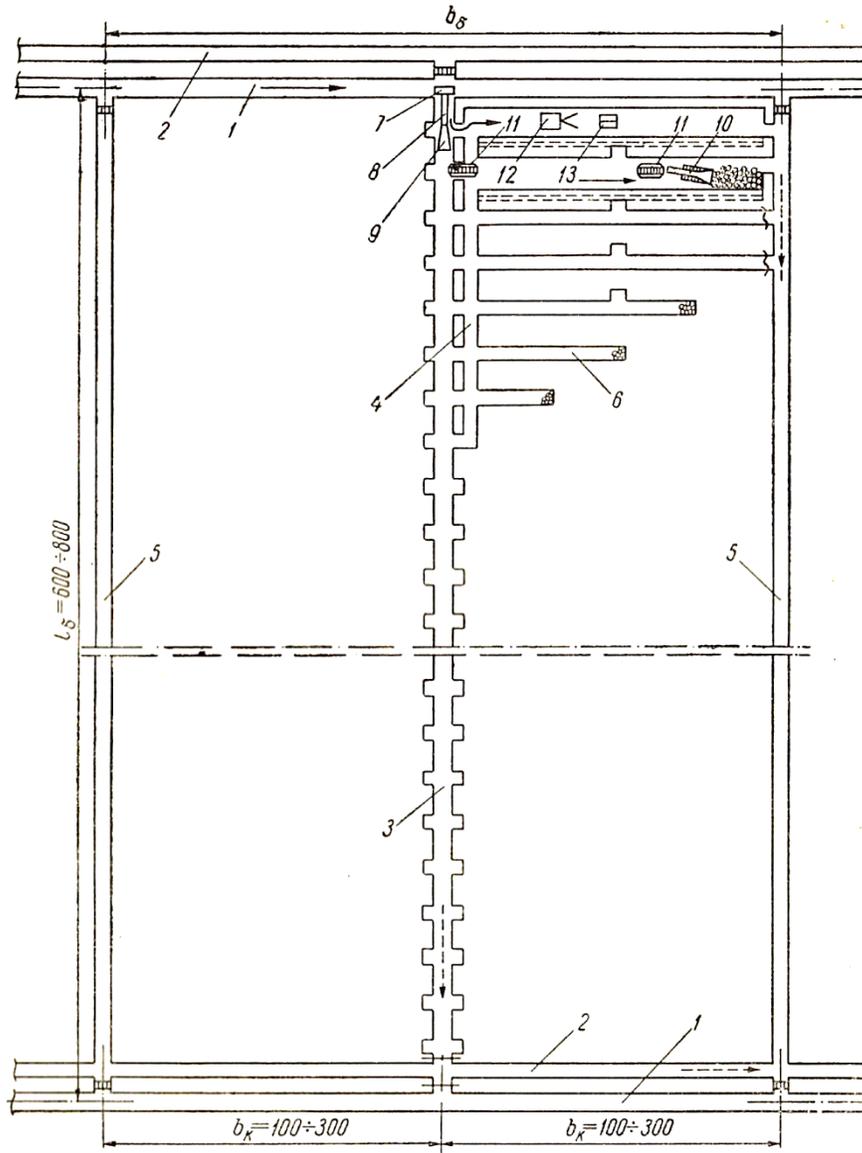


Joonis 6-1 Tulptervikutega kamberkaevandamisviis [13]



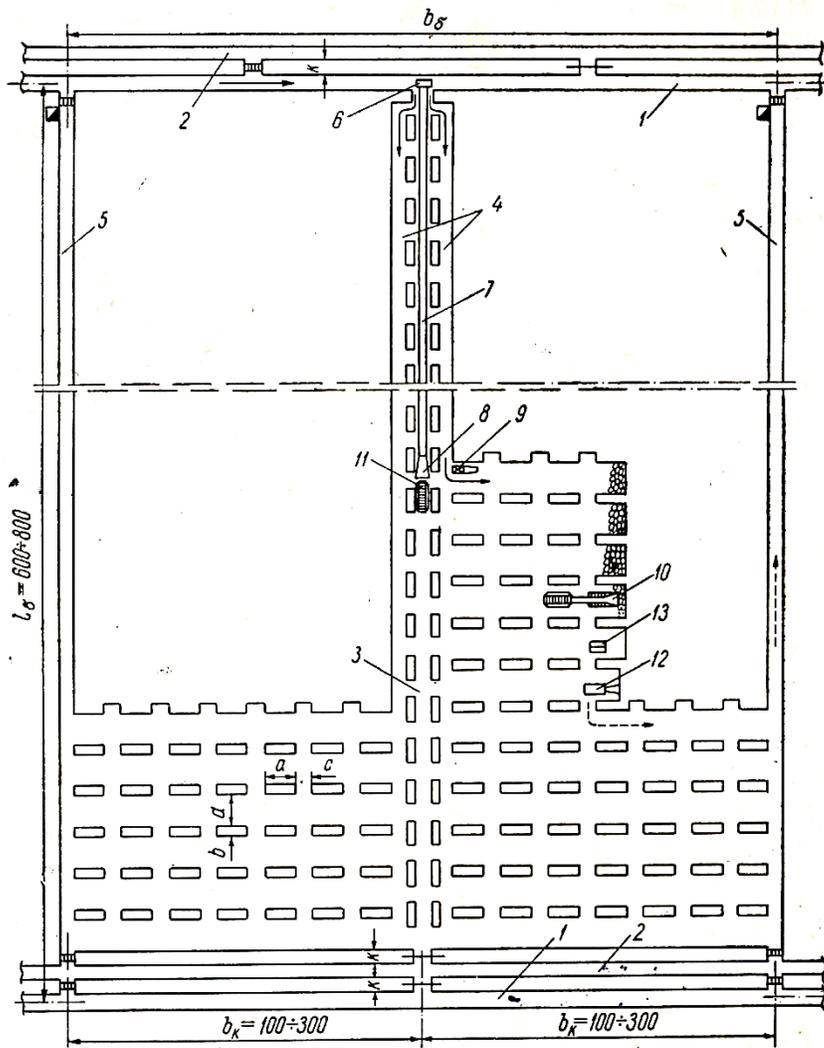
- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 - paneel-veostrekk | 8 - kraapkonveier |
| 2 - paneel- tuulusstrett | 9 - konfuusoriga ventilaator |
| 3 - kogumistrekk | 10 - laadimismasin |
| 4 - manööverstrekk | 11 - liikurvagun |
| 5 - külgstrekk | 12 - puurseade |
| 6 - laadimispunkt | 13 - ankrupaigaldamise seade |
| 7 - lintkonveier | |

Joonis 6-2 30° – 60° kambrite asetusega kamberkavandmisviis [13]



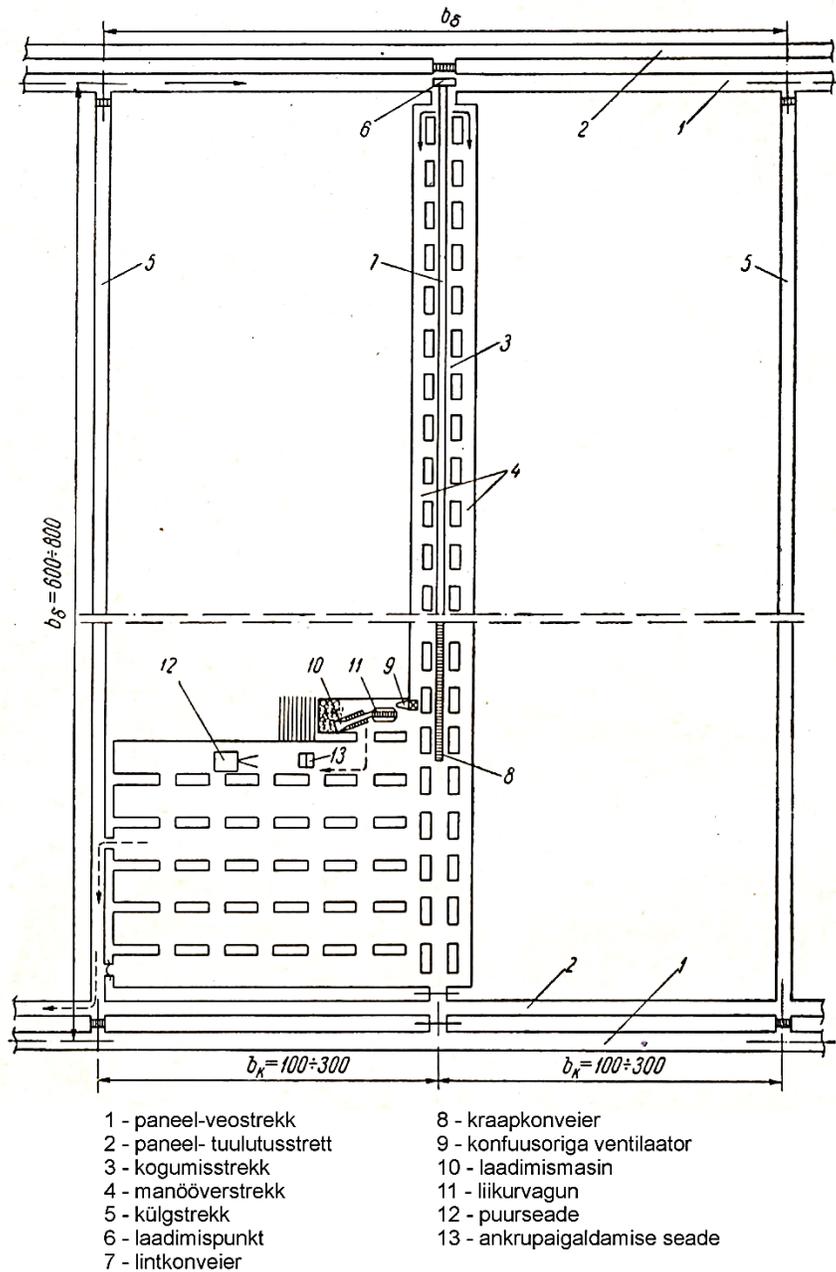
- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1 - paneel-veostrekk | 8 - lintkonveier |
| 2 - paneel- tuulustusstrett | 9 - punkriga ümberlaadur |
| 3 - kogumisstrekk | 10 - laadimismasin |
| 4 - manööverstrekk | 11 - liikurvagonett |
| 5 - külgstrekk | 12 - puurseade |
| 6 - lõigustuskamber | 13 - ankrupaigaldamise seade |
| 7 - laadimispunkt | |

Joonis 6-3 Koristuskambritega kamberkaevandamisviis [13]



- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1 - paneel-veostrekk | 8 - punkriga ümberlaadur |
| 2 - paneel- tuulutusstrett | 9 - konfuusoriga ventilaator |
| 3 - kogumisstrekk | 10 - laadimismasin |
| 4 - manööverstrekk | 11 - liikurvagun |
| 5 - külgstrekk | 12 - puurseade |
| 6 - laadimispunkt | 13 -toestusankrute paigaldamise seade |
| 7 - lintkonveier | |

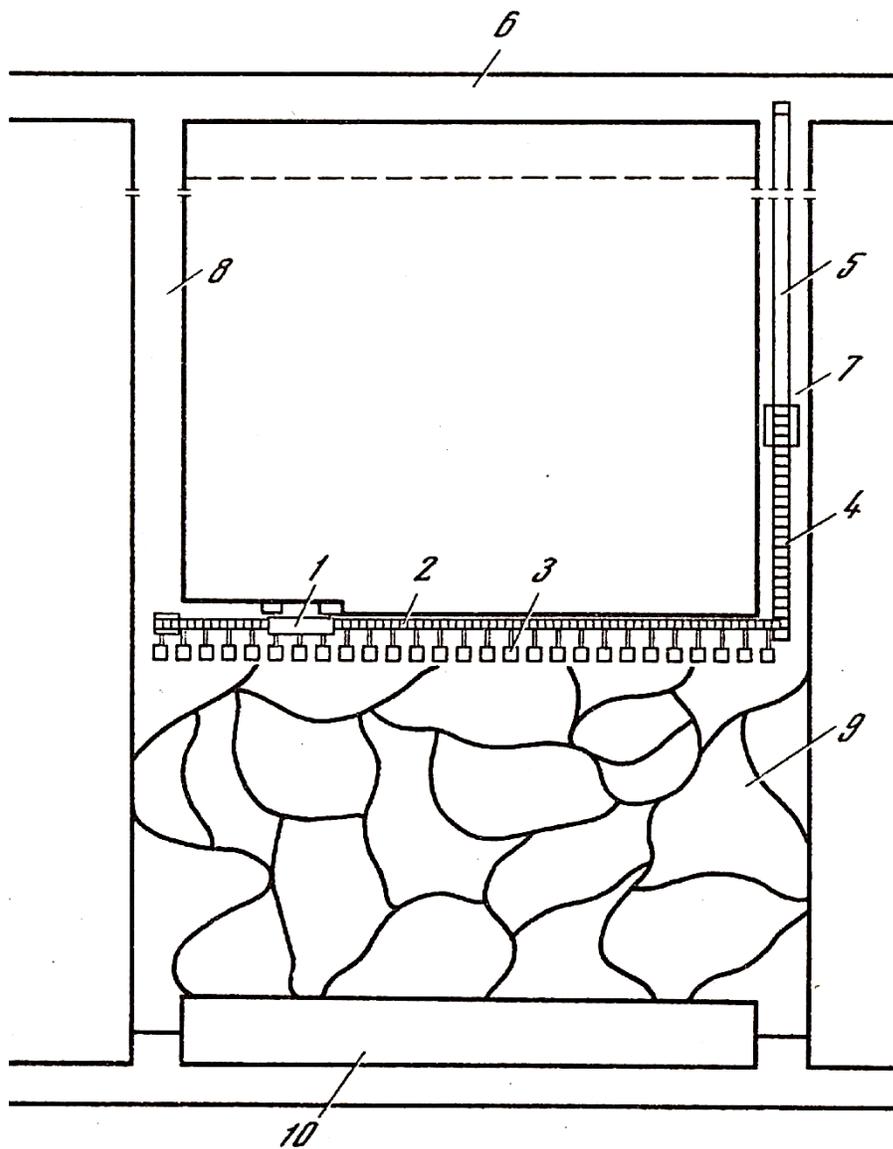
Joonis 6-4 Mitmekambriline kamberkaevandamisviis [13]



Joonis 6-5 Ristlõhkeaukudega kamberkaevandamisviis [13]

- ✓ kombinlaavakaevandamine - tänapäeva kõige moodsam allmaa kaevandamisviis on pikaee kombiniga lae langetamisega lankkaevandamisviis (Joonis 6-6), mis võimaldab allmaa mäetööd täielikult automatiseerida arvuti abil [9, 12]. Eestis alustati pikkee-kitsahaardelise kombaini katsetamist Eesti Põlevkivi kaevandustes 1970. aastatel mäeinsener Alo Adamsoni juhtimisel. Tema teeneks tuleb lugeda kitsahaardelise põlevkivikombaini IGŠ68S projekteerimiseks

vajalike katsetuste, mõõtmiste, modelleerimiste ja teoreetiliste arvutuste läbiviimine, mille tulemusel valmis koostöös tehase projekteerijatega spetsiaalselt põlevkivi kaevanduste jaoks koristuskombain. Kombain oli üks õnnestunumaid mäemasinaid, mis oli projekteeritud ja valmistatud spetsiaalselt Eesti põlevkivi raimamiseks, kus küllalt sitketele ja kõvadele põlevkivi kihtidele olid veel kõvemad lubjakivi vahekihid ja konkretsioonid. Eriti edukalt töötas kombain Kohtla kaevanduses, kus väljati kogu kihind A-E. Kombainkaevandamisel kasutatakse lankkaevandamist, kus kaeveväli valmistatakse, rajades ette valmis kogumis- ja külgstreki ning ee alglõõri kombaini, konveieri ja toestuskompleksi monteerimiseks. Tänapäeva kombainilaava pikkus võib ulatuda kuni 400 meetrini, langi pikkus võib olla 4 – 5 km. Pikkades etes on kasutusel piki ett konveieril liikuv veoketi abil ennast vedav kahe tigu tüüpi tööorganiga varustatud mäekombain. Lõikeorganid asuvad kombaini mõlemas otsas, on tungraudade abil üles-alla liigutatavad. Pöörlevate tööorganite teljed on paralleelsed kaeveõõne põhjaga. Kombain võib töötada mõlemas suunas, kusjuures alumine tööorgan liigub ees, ülemine taga. Teises suunas liikuma hakates vahetatakse tööorganite asukohad. Tööorganid on varustatud vahetatavate lõiketeradega. Seda tüüpi kombain oli kasutusel Eestis põlevkivi kaevandamisel. Moodsates tänapäeva koristustes kasutatakse komplekse ja agregate, kus koristusesi hoitakse ülal ühte hüdrovõrku ühendatud hüdrauliliste tugede ja neile asetatud katuse abil. Samas võrgus on ka konveierit nihutavad tungraud. Strekil asub võrgus rõhku hoidev õlijaam. Võrgus kasutatakse tänapäeval õli asemel emulsiooni (vee ja õli segu). Eestis kasutati esialgu mehaanilist raudtoestikku ja hiljem mindi üle hüdraulilise kompleksi "Sputnik" kasutamisele [14]. Pikaee kombainiga lae langetamisega lankkaevandamisviisi eeliseks on inimestele ohutu töö kindlustamine, põlevkivikihi täielik väljamise võimalus, puuduseks on kaevandatud ala maapinna rikkumine.

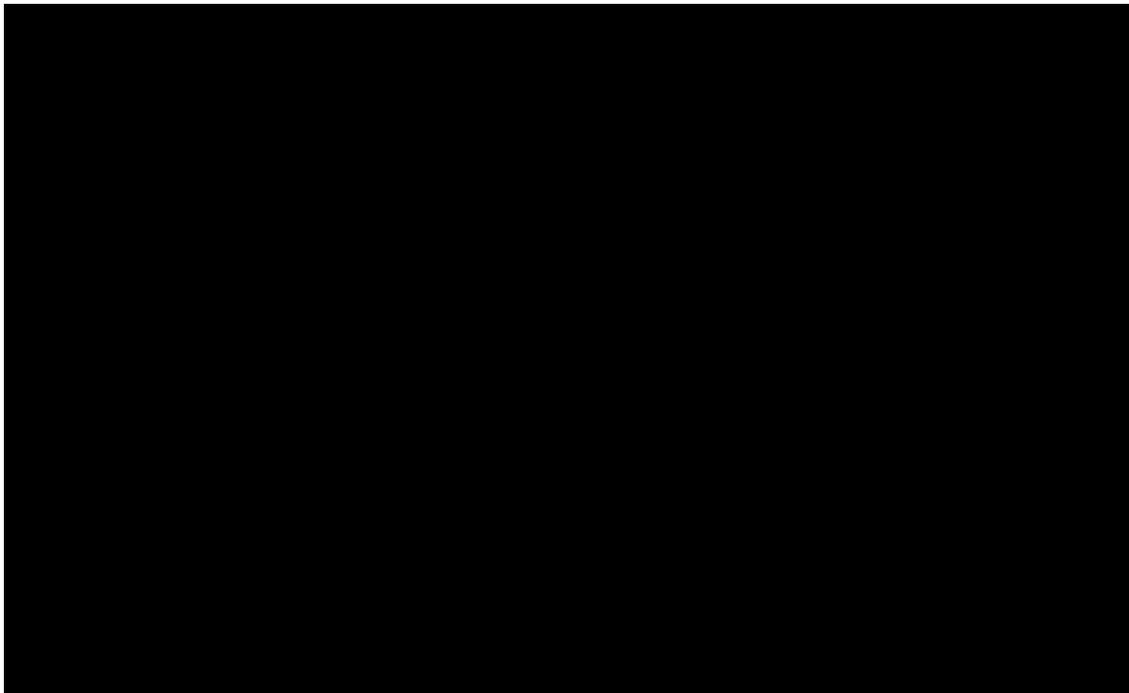


- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| 1. Korbain | 6. Paneelstrekk |
| 2. Kraapkonveier | 7. Kogumisstrekk |
| 3. Varistamistoestik | 8. Külgstrekk |
| 4. Konveier | 9. Kaevandatud ala |
| 5. Lintkonveier | 10. Strekkide vaheline tervik |

Joonis 6-6 Korbainlaavakaevandamisviis [13]

Tabel 6-1 Avakaevandamise perioodid Eesti põlevkivi karjäärides [2]

Karjääri nimi	algus	lõpp
Pavandu	1917	1927
Kukruse	1920	1920
Kiviõli	1922	1931
Vanamõisa	1920	1931
Käva	1925	1930
Küttejõu	1925	1946
Ubja	1926	1955
Viivikonna	1936	1987
Kohtla	1937	1959
Sirgala	1962	...
Narva	1970	...
Aidu	1974	2012
Põhja - Kiviõli	2004	...
Ubja	2005	...

Tabel 6-2 Kaevandamisviiside perioodid Eesti põlevkivi kaevandustes [2]**Kokkuvõtvalt**

Eestis on tänaseks päevaks põlevkivi kaevandamisega tegeletud peaaegu 100 aastat. Tehnoloogia on olnud pidevas arengus [21] ning ka tänapäeval katsetatakse uute lahenduste juurutamist kaevandamistehnoloogiates [7] kui ka viisides [5, 8]. Tänapäeval

toimub põlevkivi kaevandamine põhiliselt, kas avakaevandamises vaalkaevandamise ja kõrgselektiivse kaevandamise [18, 22, 4] või allmaakaevandamisel kamberkaevandamise viisidega.

Töö on seotud uuringuga ETP AR12007 nr. 3.2.0501.11-0025 - „Põlevkivi kadudeta ja keskkonnasäästlik kaevandamine“ – mi.ttu.ee/etp , B36 - Kivimi raimamine ja rikastamine valikmeetoditega - mi.ttu.ee/rikastamine ja KIK14033 - Põlevkivi altkaevandatud alade stabiilsuse hindamine.

Viited

1. Allik, A. „Stangovaja krep na slantsevõh šahtah“. Nedra, Leningrad, 1964.
2. Allik, A. 50 aastat põlevkivi allmaakaevandamist kogumikus „50 aastat põlevkivi kaevandamist Eesti NSVs“. Valgus, Tallinn, 1968
3. FRAIMAN, J; KUZMIV, I. Technology Experience and Economics of Oil Shale Mining in Estonia. ENERGY SOURCES Volume: 17 lk. 703 – 718. 1995
4. Karu, V. (2007). Põlevkivihindi väljamine ning võimalikud korrastussuunad Tammiku-Kose karjäärivälja näitel. E. Reinsalu, A. Önnis, K. Sokman, I. Valgma, H. Viilup (Toim.). Kaevandamine parandab maad (5 pp.). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinsituut
5. Karu, V. (2007). Soovitusi põlevkivi avakaevandamiseks ning ala kujundamiseks Jõhvi vallas Tammiku-Kose väljal. Önnis, A-Ö. (Toim.). Kaevandamine parandab maad (22 - 24). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli mäeinsituut
6. Kolats, M. [Kamber](#) . Mäeõpik. Mäeinsituut
7. Nurme, M. (2014). Allu purustuskopa katsed Narva karjääris. - Talveakadeemia 2014 kogumik. Tartu: Talveakadeemia, 50 – 59
8. Orru, M.; Väizene, V.; Pastarus, J.-R.; Sõstra, Y.; Valgma, I. (2013). Possibilities of oil shale mining under the Selisoo mire of the Estonia oil shale deposit. Environmental Earth Sciences, 1 - 11.
9. Pastarus, JR. (2003). Püsivusanalüüs kombainkaevandamisel Eesti põlevkivikaevandustes. V. Mägi (Toim.). Tallinna Tehnikaülikooli Aastaraamat 2002 (281 - 287). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool
10. Pozin, E.; Adamson, A.; Andrejev, V. „Razrušenie slantsev instrumentami vjõmotšnõmi mašinami
11. Rahe, T.; Grossfeldt, G.; Kuusemäe, K. (2013). Poster of Oil shale mining in Estonia. In: International Oil Shale Symposium Tallinn, Estonia, 10.-13.06.2013: International Oil Shale Symposium Tallinn, Estonia, 10.-13.06.2013. Tallinn: Enefit, 2013, 1.
12. Stokes, MR; Tuck, MA. Future configurations of high output longwall faces PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL MINE VENTILATION CONGRESS Pages: 487-492. PITTSBURGH 1997
13. Talve, L. „Napravlenija usoveršenštovanija kamernoj sistemõ razrobotki na Estonskih slantsevõh šahtah“ kogumikus „Problemõ slantsedobõvajuštšei promõšlennosti Estonskov SSR. Nedra, Leningrad, 1968

14. Uibopuu, L.; Saarnak, M. (2014). Põlevkivi ajalugu, 1. osa: kuidas mäendus sa riikliku juhtimise (1919 - 1944). *Inseneeria*, 46 - 47.
15. Uibopuu, L.; Saarnak, M. [Allmaa kaevanduste algus](#) Kaevandamise ajalugu. Mäeinstituut. 2014
16. Uibopuu, L.; Saarnak, M. [Esimesed põlevkivikarjäärid](#) Kaevandamise ajalugu. Mäeinstituut. 2014
17. Undusk, V. (2009). Põlevkivikihi selektiivne väljamine Ojamaa kaevanduse tingimustes. – Mäenduse maine. Tallinn: Eesti Mäeselts, TTÜ mäeinstituut, 98-107
18. Undusk, V. Feasibility and Technological Study for Wirtgen 3700 SM High-Selective Miner in Conditions of Aidu Oil Shale Open Cast. As Estonian Oil Shale Applied Research Center, Jõhvi, 1997
19. Valgma, I. [Kaevandamisviisid](#) Mäeõpik. Mäeinstituut
20. Valgma, I.; Kolats, M.; Grossfeldt, G.; Saum, M. (2008). Kaevandamise protsesside sõltuvus mäendustingimustest. Valgma, I. (Toim.). Maavarade kaevandamise ja kasutamise protsessid (-). Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut
21. Valgma, I.; Kolats, M.; Uibopuu, L.; Lüüde, A.; Saarnak, M.; Reinsalu, E.; Nurme, M. (2014). Mäenduse tehnoloogia areng Eestis. In: *Ressursid ja energiasäät: Ressursid ja energiasäät 2014. (Toim.) I. Valgma*. Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut, 2014.
22. Valgma, I.; [Vaalkaevandamine](#). Mäeõpik. Mäeinstituut
23. Wu Ai-xiang; Huang Ming-qing; Han Bin. Orthogonal design and numerical simulation of room and pillar configurations in fractured stopes. *JOURNAL OF CENTRAL SOUTH UNIVERSITY* Volume: 21 Issue: 8 Pages: 3338-3344 Published: AUG 2014
24. Väizene, V.; Valgma, I.; Iskül, R.; Kolats, M.; Nurme, M.; Karu, V. (2013). High selective oil shale mining. *Oil Shale*, 30(2S), 305 - 325.