

Tallinna Tehnikaülikool
Mäeinstituut

Enn Pirrus

MAAVARADE GEOLOGIA

Trükiversioon - 1999
Digitaalversioon – aprill 2007

SISUKORD

1.	TAUST	4
1.1.	Põhimõisted	4
1.2.	Maa keemiline koostis ja elementide seos kivimitega	6
1.3.	Maavarade lasumusvormid	10
2.	MAAVARALEIUKOHTADE GENEETILISED TÜÜBID	18
2.1.	Endogeensed leiukohad	18
2.1.1.	Magmatogeensed leiukohad	18
	Magmakoldelised leiukohad	19
	Jääkmagmalised (pegmatiitsed) leiukohad	20
	Pneumatolüütilised leiukohad	21
	Hüdrotërmaalsed leiukohad	21
2.1.2.	Metamorfogeensed leiukohad	23
	Metamorfised leiukohad	24
	Metamorfiseerunud leiukohad	24
2.2.	Eksogeensed leiukohad	25
2.2.1.	Murendmaardlad	25
	Purdmaardlad	25
	Jääkmaardlad	25
	Infiltratsioonimaardlad	26
2.2.2.	Settelised leiukohad	27
	Mehhanogeensed settelised leiukohad e. puistmaardlad	27
	Kemogeensed settelised leiukohad	28
	Biogeensed settelised leiukohad	31
2.2.3.	Vulkaanilis-settelised leiukohad	34
2.3.	Maavarade moodustumise etapilisus ja ruumiline paigutus maakoos	34
2.4.	Maavarade geneetiline klassifikatsioon	35
3.	MAAVARADE UURIMINE	36
3.1.	Geoloogiline kaardistamine	36
3.2.	Otsing	39
3.3.	Uuring	40
3.3.1.	Eeluuring	40
3.3.2.	Detailuuring	42
3.3.3.	Järeluuring (ekspluatatsiooniline uuring)	42
3.4.	Varude arvutus	43
3.4.1.	Aritmeetilise keskmise meetod	45
3.4.2.	Geoloogiliste plokkide meetod	45
3.4.3.	Kolmnurkade meetod	46
3.4.4.	Paralleelsete läbilõigete meetod	47
3.4.5.	Samapaksusjoonte meetod	47
3.5.	Varude klassifikatsioon	47
3.6.	Tehnilised uuringumeetodid	49
3.6.1.	Puurimine	50
3.6.2.	Mäetööd	51
3.6.3.	Geofüüsikalised uuringutööd	52
	Gravimeetiline meetod	52
	Magnetomeetiline meetod	52
	Elektromeetria	52
	Seismomeetria	53
	Radiomeetria	53
	Geolokatsioonimeetodid	53
3.6.4.	Leiukohtade proovimine	53
	Proovimisviisid	54
3.6.5.	Proovide töötlemine	55
4.	EESTI MAAVARAD	57
4.1.	Põlevkivi	58
4.2.	Diktüoneemaargilliid	61
4.3.	Turvas	62
4.4.	Maagaas	65
4.5.	Nafta	65
4.6.	Fosforiid	66
4.7.	Looduslikud ehitusmaterjalid	68
4.7.1.	Paas	68

4.7.2.	Kruus ja liiv.....	70
4.7.3.	Savi.....	71
4.7.4.	Graniit.....	73
4.8.	Teisejärgulised, potentsiaalsed ja uuritavad maavarad.....	74
4.8.1.	Rauamaagid.....	74
4.8.2.	Polümetallid Pb ja Zn.....	75
4.8.3.	Teised haruldased elemendid.....	76
4.8.4.	Looduslikud värvained.....	76
4.8.5.	Järvelubi.....	76
4.8.6.	Diatomiit.....	77
4.8.7.	Mudad.....	77
4.8.8.	Mineraalvesi.....	78
5.	KASUTATUD JA SOOVITATAV KIRJANDUS.....	79
Joonis 1	. Isomeetrilised lasundid - iseloomulikud magmakivimitega seotud leiukohtadele.....	11
Joonis 2	Tulpjad (sammasjad) lasundid - harvaesinevad lasundivormid magmatekkelistes, eriti vulkaanilistes kivimites.....	12
Joonis 3	Kihid ja läätsed (kihindmaardlad) - settekivimites paiknevate maavarade tüüplasundid.....	13
Joonis 4	Katted - peamiselt murenemisprotsessis kujunevad ebatasaste pindadega läätsjad kivimkehad.....	14
Joonis 5	Kontaktvööndid - magmakolde välispiirdel (skarnid) või sisemises äärevööndis (greisenid) formeeruvad keeruka ehitusega maagilasundid.....	15
Joonis 6	Sooned - normaallasumusega kihte põikisuunas lõikavad kivimkehad.....	16
Joonis 7	Nafta ja gaasileiukohtade tüüplasundid.....	17
Joonis 8.	Maakoore pääseb vahevööst maagirikkam aine suurte kontinentaalsete plaatide - laamade - lõhenemis- või kokkusurumisvööndites.....	18
Joonis 9.	Eritüübiliste magmatogeensete maavaraleiukohtade paiknemine magmakolde piirkonnas.....	23
Joonis 10.	Madalmereliste fosforiidide kujunemine P ₂ O ₅ rikka tõusva hoovuse toimet.....	32
Joonis 11.	Eksogeensete leiukohtade kujunemine maakoore ülaosas.....	34
Joonis 12.	Geoloogilise töö etapid maavarade avastamisel.....	38
Joonis 13.	Maardla kontuurimine puuraukude andmeil.....	44
Joonis 14.	Varu arvutamise meetodeid.....	46
Joonis 15.	töötlemine. A - segamine, B - vähendamine kvarteerimise teel.....	56
Joonis 16.	Põlevkivi levila (A) Balti keskordoviitsiumi paleobasseini piires.....	59
Joonis 17.	Eesti ja Tapa põlevkivileiukohad.....	60
Joonis 18.	Dictyoneemaargilliidi levik Eestis. Pidevjoonega näidatud samapaksusjooned, punktiiriga lasumussügavus meetrites.....	62
Joonis 19.	Turbavarude kogus maakonniti.....	63
Joonis 20.	Tüüpläbilõikeid Eesti turbalasuundeist.....	64
Joonis 21.	Soode tüüpide levik Eestis.....	64
Joonis 22.	Fosforiidileiukohtade paiknemine Eestis.....	67
Joonis 23.	Vasalemmas kaevandatava keskordoviitsiumi lubjakivilasundi ehitus.....	69
Joonis 24.	Eesti tähtsaimate paekasutusala ja leiukohtade paiknemise skeem.....	69
Joonis 25.	Eesti tähtsaimad liiva ja kruusa leiukohad ning nende edasiseks kasutuseks sobivad perspektiivalad.....	70
Joonis 26.	Kambriumi katkematu savilasundi ehitus Põhja-Eestis.....	71
Joonis 27.	Keeruka ehitusega keskdevoni savi leiukoht Joosul.....	72
Joonis 28.	Jääjärveliste pinnakattesavide levik Eestis.....	73
Joonis 29.	Neeme graniidimassiiv paikneb Tallinnast ida pool, 120-150 m sügavusel merepinnast.....	74
Joonis 30.	Eesti uuritud mudavarud.....	78
Tabel 1	Maakoore keskmine koostis kaaluprotsentides.....	7
Tabel 2	Elementide jaotumine petrogeenseteks ja metallogeenseteks perioodilisuse süsteemi alusel.....	8
Tabel 3.	Maavara varu klassifikatsioon.....	49

SISSEJUHATUS

Õpetus maavarade otsimisest, uurimisest ja kasutuselevõtust, millega puututakse kokku mitmel elualal, oleks abitu süsteemikindla algteadmista maavarade olemusest, paiknemisest ja tekkeloost maapõues. Ometi ei leia asjasthuvitatud hõlpsasti niisugust lugemismaterjali, vähemasti emakeeles mitte. Selleks on mitu põhjust. Esiteks on maapõuest hangitav ja inimtegevuses kasutatav materjal väga mitmepalgeline ja keerukas vahekorras maakoore geoloogilise ehitusega, mistõttu on selles raske selget pilti luua. Teiseks on mõiste maavara sageli erinevalt käsitletav ning sisult pidevalt muutuvgi. Kolmandaks on teave maapõues peituvast mõnikord väga konfidentsiaalne, suurel osal maailmast koguni tugeva saladuskattega ümbritsetud - sõltub ju sellest otseselt riigi tööstuslik potentsiaal. Ja lõpuks - oleme liiga väike rahvas selleks, et endale kõigis valdkondades vajalikke omamaiseid käsitlusi luua. Lünk selles ainevallas on aga häiriv ja käesolev raamat püüab seda pisut leevendada.

Raamat koosneb kolmest põhiosast. Esimeses leiavad käsitlust maavarade tekkeviisid maapõues ning sellele rajanev maavarade liigitus. Teine osa käsitleb maavarade otsingu- ja uurimisviise. Kolmas osa heidab põgusa pilgu Eesti maapõuevaradele ja nendega seonduvatele probleemidele. Raamat võiks olla abimeheks geoloogia ja mäeinseneri eriala õppivale üliõpilasele, aga ka muul viisil maavaradega kokku puutuvatele töötajatele. Viimast silmas pidades on püütud sõnastada teksti nii, et oleks välditud liigne erialane terminirägastik, kuid siiski nii, et üldkasutatav mõistetekogum aitaks siitkaudu suunduda ka nõudlikumate ja üksikasjalikumate kirjapanekute juurde.

Samal põhjusel on välditud arvukaid viiteid kirjandusallikatele, sest neid on maavaradega seonduvas ainevallas lõpmata palju ning enamuse üldvastuvõetaks muutunud seisukohti kordub neis ühest teisest, avamata tõelist algallikat. Tegelikult ongi teadmistekogum maavarakasutusest kogu inimkonna praktilise tegevuse ühislooming ja selle üldistusi on paljud uurijad püüdnud eri vaatenurkade alt vaid kindlamasse süsteemi asetada. Kirjapanija oma juurdeminek ei puudu ka selles raamatus. Tõsisema käsitlusviisiga lugeja leiab raamatu lõpust siiski ka olulisemate kirjandusallikate loendi. Sellest võib leida üksikasjalisemaid käsitlusi eri maavaratüüpide kohta või vähemasti viiteid teistele allikatele, ja samas mõista ka seda, millisele käsitlusplaanile on toetunud käesoleva raamatu koostamisel.

Autor tänab kõiki neid, kes talle raamatu tegemisel toeks olid ja nõu ning jõuga selle valmimisele kaasa aitasid. Ühtlasi on teretunud kriitilised märkused aadressil: Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut.

1. TAUST

1.1. Põhimõisted

Alustagem maavarast. Seda põhimõistetki käsitletakse mitmeti. Võiksime öelda, et maavara on maakoorest ammutatav mineraalne või organogeenne ainekogum, mida saab kasutada inimese majandustegevuses otseselt või temast inimtegevuseks vajalikke aineid ja materjale tootes. Maavara kaevandatakse maapõuest. Maapõue on inimtegevuseks kättesaadav maakoore ülaosa. Niisugune võiks olla maavara loodusfilosoofiline määratlus, mis seob reaalselt looduses esineva aine inimtegevuse ja majandusega. Kuid maavaral peab olema ka juriidiline sisu, mis seadustab tema kasutamise igapäevaelus. Sellise määratluse järgi on maavara "... aine, mille kaevandamine on majanduslikult kasulik ja mis seetõttu on ressursina arvel" (E. Reinsalu, 1998). Eesti Vabariigi maapõueseadus (1994) määratleb maavara mõiste veelgi kitsamalt, otse nomenklatuurselt tema eri tüüpe loetledes ja lisades täpsustuse "... mis on arvele võetud riigi maavarade registris". Muu maakoore osa, mida võidakse ka kaevandada, ümber paigutada või isegi kaubastada, kannab seaduses nime "maa-aines".

Mõistagi vajab geoloog maavara avaramat, ülaltoodud käsitlust, sest vastasel korral kaotavad tähenduse niisugused mõisted nagu "maavara otsing" või "... uuring" ja rida teisigi, sest mis sa ikka enam otsid, kui ta on juba "riiklikus registris".

Maavarade mõistet ähmastab ka tema sisu muutlikkus. On ju arusaadav, et see, mis täna pole veel kasutatav, võib homme meile pakkuda suurt huvi. Koos teaduse, tehnika ja majanduse arenguga vajame üha uusi tooraineliike, võtame kasutusele ka väikestes kontsentratsioonides esinevaid elemente - praktiliselt tarbime juba praegu kõiki Mendelejevi tabelis toodud elemente ja tuhandeid nende omavahelisi kombinatsioone, teisisõnu, keemilisi ühendeid.

Et geoloogilised protsessid ei ole Maal standardsed, vaid põimuvad omavahel sageli väga ootamatuteski seostes, võib suuremat osa meid huvitavaist ühendeist looduses ka leida, tuleb vaid nad üles otsida ja arukalt kasutusele võtta.

Kuid juhtub ka vastupidist - mõnedki maavarad kaotavad oma tähtsuse ja kaovad unustuse hõlma. Enamasti on see seotud mingi vähemlevinud maavara ammendamisega - nii näiteks võivad peatselt kaduda maavarade hulgast harvaesinevad Tšiili salpeetri (nitraadi-) lademed, lindude väljaheidetest meresaartel kujunenud guaano-fosforiidid ja mõned teisedki. Pole Eestimaa põlevkivil ega fosforiidilgi tõelist analoogi mujal maailmas. Kuid sagedamini kaovad maavarad inimese huvifäärist siiski majanduslikel põhjustel. Õhuke 10-30 cm paksune soorauakiht, mis andis peamise tooraine ürginimese algelisele metallurgiale, ei tule tänapäeva tööstuse mastaapides enam kuidagi arvesse. Rääkimata ränikivi teravast killust odaotsal. Näeme, et maavarade käsitus ei saagi olla ajalooliselt väga püsiv.

Lisame veel, et eestikeelses kõnes pole maavara mõiste veel keeleliseltki stabiliseerunud. Paralleelselt on tarvitusel ka pikem sõnakuju "maapõuevara", mis kohati kõlab ilusamini ja on mõneti täpsemgi. Teda tulebki võtta maavara täieliku sünonüümina, kuid ametlikesse formuleeringutesse on siiski juurdunud lühem sõna. On pakutud veel lühemat sõna maare (maa sügavuses peituv "aare"), millest tuletatakse ka maardla, maavarade leiukoht. Sõna pole laiemalt juurdunud, mõnikord siiski käibel ja vastu talle astuda pole mõtet. Mõistlik pole talle omistada ka maa-ainese sisu (Reinsalu, 1998). Vanemas kirjanduses leidis kasutamist ka kohmakas mõiste "kasulik kaevis", mis on otsetõlge vene keelest (poleznoje iskopajemoje) ja pole sobiv kasutamiseks.

Niisiis - heal lapsel mitu nime! Kuid jäägem ehk ikka selle juurde, et maavara on maapõuest kaevandatav looduslik moodustis, mis on kasutatav majandustegevuses või millest saab eraldada tööstuses vajalikke metalle või keemilisi ühendeid. Maavara võib olla tahkes, vedelas või gaasilises olekus.

Oleks justkui kõik selge, aga ei ole ka. Maapõuest ammutatav hinnaline joogi- ja mineraalvesi peaks selle määratluse alusel olema samuti maavara, aga enamasti ta sellesse rubriiki ei kuulu. Miks? Eelkõige seepärast, et vee käitumist maapõues uurib väga lai ja spetsiifiline eriteadus - hüdrogeoloogia, mis hõlmab ka kõik praktilise veekasutuse valdkonnad. Seega on maaisene vesi hüdrogeoloogia peamine objekt ja eraldi maavarana teda tavaliselt ei vaadelda. Pealegi on põhjavesi vähemalt osaliselt taastuv loodusvara - tema varu uueneb, mistõttu tema ressurss vajab hoopis erinevat käsitlust. Küll aga kuuluvad maavarade hulka nafta- ja gaasikondensaadid, kuid see on ka mõistetav, sest need ained ei levi ju maapõues kõikjal, nagu see on omane põhjaveele. Ka ei taastu nende varu. Ja kuigi on olemas ka siin eriteadusharu - naftageoloogia -, on viimane siiski üldtunnustatult üks maavarade õpetuse allharusid.

Mõistet "maavara" kipub mõnevõrra ähmastama ka teine laialt käibel olev termin - maak. Maagi mõiste oli viimaste aastakümneteni suhteliselt selge ja ühemõtteline: maak on mineraalne agregaat, millest tehnoloogiliste võtetega saadakse ehedat metalli. Seega oli maak üksnes metallide tootmiseks kasutatav maavara. Paraku omistati hiljem seda nimetust ka mõnele mittemetalsele komponendile, näiteks väävlimaak, asbestimaak, grafiidimaak, fosforiidimaak, agrokeemilised maagid jne., mistõttu, nagu öeldud, mõiste sisu mõnevõrra ähmastus. Eesti keeles võiksime seda siiski vältida ja kasutada viimatinimetatute puhul üldisemat nime "toore", "tooraine".

Venekeelses kirjanduses on just sellel tunnusel sageli tajutav maavarade järsk liigitamine kaheks alarühmaks - maagid ja mitteraagid (rudnõje i nerudnõje poleznõje iskopajemoje). Sellist liigitust tasuks silmas pidada meilgi, vaatamata mõistete lahknevusele teistes maailma keeltes.

Maavarade paiknemisel maakoos on kasutusel mõiste maavara leiukoht ehk maardla (varasemas kirjanduses ka "leiupaik", koguni kasulike kaeviste "varapaik" - need aga on pigem arhaismid, millest tuleks hoiduda). Mõisted "maavarade leiukoht" ja "maardla" on küll lähedased, mõnes kontekstis täiesti kattuvad, kuid siiski pisut erineva rõhuasetusega. Nii võiksime maavarade leiukohta käsitada geoloogilisema ja avaramana - maakoore selle osana, kus maavara tootmisväärsel hulgal esineb; maardlat aga rohkem ametlikuna - igakülgselt uuritud ja puuraukudega korralikult kontuuritud kivimikehana. Seda varjundit tasub silmas pidada, kuigi põhimõtteliselt on tegemist siiski sünonüümidega.

Peale leiukoha ja maardla esineb kirjanduses sageli mõiste maagikeha - see on siis konkreetne maagist koosnev soon, kiht või lasund. Ühes leiukohas võib neid maagikehasid olla palju, sageli väga keerukates vastastikustes suhetes.

Maavarade geoloogias on kasutusel ja tähtis ka mõiste maavara- või maagiilming (-näht), kus tegemist on küll maavarakogumiga, kuid mis esineb antud kohas siiski mittetootmisväärsel hulgal. Mõistagi on niisugused ilmingud väga tähtsad maavarade otsimistööl, juhtides geolooge samm-sammult suuremate lasundite poole. Mäenduses on sellel mõistel pisendav, mõnikord isegi justkui halvustav varjund.

Kasutamiseviisi järgi võib maavarad jagada kolme rühma:

- A. Metallilised (metallurgia toore, maagid)
- B. Mittemetallilised (ehitusmaterjalid, keemiatööstuse toore)
- C. Põlevad (energeetiline toore).

Rõhutada tuleb veelkord, et vaatamata oma objektiivsetele geoloogilistele paiknemiseaduspärasustele maakoos (tegemist on ju reaalse geoloogilise kehaga), on maavaral eelkõige ikkagi majanduslik sisu - ta kas on majanduses rakendatav või mitte, tulus toota kas täna või alles kaugemas tulevikus. Niisiis tuleb valmis olla ka leitud toorainelasundite puhul mõistest "maavara" mõnikord lahti ütlemata (Tapa põlevkivimaardla, Rakvere fosforiidid jne.).

Siin me puutume kokku ühe olulise mõistega maavarade käsitlemisel - nende konditsioonilisusega. Konditsioon - see on maavarale käesoleva või planeeritava tootmise seisukohast esitatavad nõuded, mis otseselt määravad ära leiukoha mõõtmed, maavarade mahud ja üldse selle, kas tegemist on maavaraga või mitte. Lihtsaimaks näiteks võib tuua põlevkivi - et ta oleks tarbitav elektrijaamade küttekolletes, on nõutav minimaalne kütteväärtus 2000-2400 kcal/kg (keemiatööstuses 3200-3600 kcal/kg). Kui see näitaja on väiksem, tuleb kaevandamine lõpetada või kütteväärtust tõsta rikastamise või selektiivse väljamise teel. Kui tarbijal õnnestuks üle minna uuele tehnoloogiale ja konditsiooni pisut vähendada, võiksime toota ka lahjemaid põlevkivikihte ning sellega olemasolevaid varusid mitmekordistadagi.

Seegi, nagu näete, teeb maavara mõiste mõneti laialivalguvaks.

Fosforiidide ja paljude teiste maavarade puhul on oluline kasuliku komponendi sisaldus, Eestis konkreetselt 5% P₂O₅. Seda aga ainult juhul, kui sobib ka teine kaevandamist määrav parameeter - tootsa kihindi paksus vähemalt 1 m. Väiksema paksuse puhul ei aita rikkamastki toormest, suuremate paksuste korral võib aga P₂O₅ sisaldus olla mõnikord ka väiksem. Lihtsamate maavarade, näiteks kohalike ehitusmaterjalide puhul, on oluliseks konditsiooni näitajaks katendi paksus, mis reeglina ei tohiks ületada poolt lasundi enese paksusest. Siit siis ka varude dünaamilisus - neid arvutades peame alati silmas pidama maavaradele esitatavaid nõudeid - konditsioone. Viimaste muutudes peame tegema ümberarvutusi ja mõnikord, kui lähteandmete hulk uuritud leiukohas seda ei võimalda, võtma ette koguni täiendavaid väliuuringuid.

Eelnevast on ilmekalt näha, et majanduse vajadusi toorainega rahuldada pole sugugi lihtne ülesanne. Tuleb teha pidevalt majanduslikke arvestusi, pidada silmas tarbija nõudeid. Hea, kui leiukoht on juba olemas ja temast on palju teada. Geoloogi ees seisab enamasti aga märksa raskem ülesanne - maavara otsida ja avastada, leiukoht piiritleda, tema iseärasused selgitada ja kasutuselevõtuks põhjendatud soovitused anda. Seda saab aga teha geoloogilisi protsesse hästi mõistes ja maapõues valitsevaid seaduspärasusi tundes. On ju looduses kõik üsna keerukas - pole olemas kaht ühesugust maavaraleiukohtagi. Seepärast tuleb sel teel liikuda üksnes üldiselt üksikule, vaid nii saadab tegevust edu. Üldistele seaduspärasustele maavarade tekkeloos ja sellest tulenevale leiukohtade paigutusele juhivadki raamatu järgnevad leheküljed.

1.2. Maa keemiline koostis ja elementide seos kivimitega

Maavarade paiknemise maakoos määrab keemiliste elementide käitumine geoloogilistes protsessides. Seetõttu fikseeruvad ühtede elementide kõrgemad kontsentratsioonid ühtedes kivimites, teiste omad teistsugustes. Elementide jaotumist ja migratsiooniviise maakoos uurib teadusharu geokeemia, mille järeldestele tugineb paljuski ka maavaraõpetus.

Maakoos leidub kõiki teadaolevaid ja seetõttu perioodilisuse süsteemis fikseeritud keemilisi elemente, kuid nad on jaotunud äärmiselt ebaühtlaselt. Esikohal on hapnik (46,8%), mis energiliselt moodustab teiste elementidega maakoos väga püsivaid keemilisi ühendeid. Toodud arvnäitajat ei tule seostada õhuhapnikuga, mille kogus on kaduvväike, võrreldes maakoos tahketes mineraalides talletunud hapnikuhulgaga. Tõepoolest, hapniku aatomeid leiame peaaegu kõigi teadaolevate mineraalide keemilises valemis (kvarts - SiO₂, kaltsiit - CaCO₃, magnetiit - Fe₃O₄, päevakivid (Na, K)

Al, SiO₄ jne.). Teisel kohal on räni (27,3%), mis on maakoos valdava silikaatse aine lahutamatu koostisosa. Ta on element, mis annab tugeva sidemega ühendeid alumiiniumi, hapniku ja enamiku metallidega. Iseseisva ehk ehedana me seda elementi ei tunnegi, vaatamata sellele, et ta moodustab veerandiku meid looduses ümbritsevast ainemassist!

Järgnevad alumiinium (8,7%), raud (5,1%), kaltsium (3,5%), naatrium, kaalium ja magneesium - kõiki viimatimainitud ligikaudu 2,4% maakoorest. Ühtekokku moodustavad need 8 elementi umbes 98%. Ülejäänud 90 elementi, sealhulgas meile nii vajalikud süsinik (kütused, nafta, turvas, põlevkivid, kivisüsi) ja kõik metallid (vask, tsink, plii, kroom, mangaan jt.) moodustavad imeväikese osa kogu maakoore massist - ühtekokku umbes 2%, rääkimata väärismetallidest, kalliskividest, radioaktiivsest või keemiatoormest. Siit tuleneb esimene oluline järeldus maavarade geoloogia jaoks: meile nii vajalike elementide kõrgemad ja seetõttu tootmisväärased kontsentratsioonid on maakoos üliharvadeks eranditeks tavalise maavaradetühja kivimimassi taustal. Neid erandolukordi tuleb suure vaevaga otsida ja seejuures tingimata teada, kuidas ja kus seda teha.

Seda tööd hõlbustab elementide geokeemiliste jaotumisseaduspärasuste tundmine. Nende jälgimiseks on kasutusele võetud geokeemia põhimõiste klark - teisisõnu, elemendi keskmine protsentuaalne sisaldus maapöues. Nimetus on antud ameerika geokeemiku F. Clarke auks, kes tegi esimesena niisugused arvutused. Hiljem on arvutusi täpsustanud teisedki uurijad - A. Fersman, V.M. Goldschmidt, A. Vinogradov, P. Krauskopf jt., mistõttu tabelitesse ja käsiraamatutesse on ilmunud erinevaid arvandmeid, sõltuvalt erinevatest hinnangutest uuritava maakooreosa kivimilise koostise kohta. Põhimõtteliselt need arvud üksteisest ei erine, täpsustused on vajalikud eelkõige geokeemia valdkonnas töötajale. Nagu eespool märgitud, on kõrgeim klark hapnikul, järgnevad 7 elementi kuni magneesiumini, mille keskmised sisaldused maakoos ületavad 1%. Neid nimetatakse kõrgeklargilisteks, ülejäänuid - madalaklargilisteks (mikroelementideks). Enamiku elementide klargid mahuvad piiridesse 0,01-0,0001% maakoorest, on aga ka veel väiksema sisaldusega elemente (tabel 1).

Tabel 1 Maakoore keskmine koostis kaaluprotsentides

Keemilised elemendid	Graniitne ülakiht	Basaltne alakiht	Maakoor 16-25 km sügavuseni
O	47.59	44.24	46.8
Si	27.62	23.24	27.3
Al	8.13	8.46	8.7
Fe	5.01	8.56	5.1
Ca	3.03	6.51	3.5
Na	2.65	2.35	2.5
K	2.5	1.28	2.4
Mg	2.09	3.53	2.1
Ti	0.63	0.83	0.6
C	0.09	<0.01	0.02
S	0.05	0.1	0.05
P	0.08	0.2	0.09
Mn	0.04	0.25	0.1
Cu	<0.01	<0.01	0
Ni	<0.01	<0.01	0
Muud	0.49	0.45	0.73
Kokku	100	100	100

Praktilises geokeemias on tihtipeale tarvis võrrelda omavahel erineva keskmise sisaldusega elementide käitumist geoloogilistes protsessides. Selleks on mugav kasutada suhtarvu, mida nimetatakse kontsentratsiooniklargiks. See arv saadakse, jagades elemendi sisalduse mingis uuritavas objektis tema klargiga (keskmise sisaldusega maakoos). Saades tulemuse suurema kui 1, võime järeldada, et uuritava geoloogilise objekti kujunemise ajal oli elemendil kalduvus kontsentreeruda, väiksema suhtarvu puhul - hajuda. Loomulikult on sellel näitajal oluline koht maavarade otsingul - võime jälgida protsesse, mis juhivad meid kõrgete sisalduste suunas. Toome näite: madalakvaliteetsetes merelistes rauamaakides on raua sisaldus enamasti 20-25%, kontsentratsiooniklark seega 5-6 ümber, tavalistes kvartslivades rauasisaldusega 1-2% on see vaid 0,3-0,4. Kullasisaldusega võib samas objektis olla hoopis vastupidi, esimesel juhul tugevasti alla 1, kontsentreerumise tõttu liivades aga tõusta 10-20-ni, mis loomulikult äratav tähelepanu.

Elementide käitumisearasuste tõttu maakoos esinevad need jaotatud kaheks põhirühmaks - petrogeenseteks ja metallogeenseteks (H. Washingtoni järgi). Esimesed asuvad perioodilisuse süsteemi (Mendelejevi tabeli) ülemises, teised alumises pooles (tabel 2).

Tabel 2 Elementide jaotumine petrogeenseteks ja metallogeenseteks perioodilisuse süsteemi alusel

Read	R Ü H M A D																
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII								
I	INERT-GAASID																
II	2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	P E T R O G E E N S E D							
III	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe 27 Co 28 Ni
IV	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe 27 Co 28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
V										29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
VI	36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru 45 Rh 46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
VII										47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
VIII	54 Xe	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
IX										79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
X	M E T A L L O G E E N S E D																
X	86 Rn	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

Petrogeensed elemendid annavad maakoos peamiselt suuri ja maavaradevaeseid kivimimassiive - eelkõige kivimeid. Maasiseste - endogeensete - protsesside tegevusväljas annavad nad harva klgarist kõrgemaid kontsentratsioone, välisjõudude - eksogeensete protsesside jõu väljas aga tunduvalt sagedamini. Nende elementide arvel kuhjuvad siin soola, kipsi, lubjakivide, fosforiitide, boksitiitide ja kõigi põlevate maavarade lademed. Need elemendid (eelkõige O, Si, Al, C, Na, Mg, Ca, K, F, Cl jt.) fikseeruvad enamasti silikaatsete, karbonaatsete, sulfaatsete, fosfaatsete või oksiidsete ühenditena. Haruharva annavad nad sulfidseid ühendeid või esinevad ehedate lihtainetena. Kristallograafiliselt on neile iseloomulikud madalad sümmeetriaklassid (monokliinne, trikliinne, rombiline), kristallvõres aga tugevad sidemed. Nende keemilise käitumise põhjuseks on väikesed aatomimassid (tabeli ülaosa) ja sagedamini esinev 8-elektroniline väliskihit aatomi välispinnal.

Geoloogilises mõttes on petrogeensed elemendid nn. kivimoodustajad, mis enamasti takistavad paljude maavarade kontsentreerumist tootmisväärses hulkades. Ise moodustavad nad vaid mittemetallilisi maavarasid.

Metallogeensed elemendid, vastupidi, annavad kõrgendatud ja tootmisväärsed kontsentratsioone just endogeensetes protsessides. Maapinnalähedastes tingimustes nad enamasti hajuvad, välja arvatud mõned kergesti valentsimuutvad elemendid (Fe, Mn, V, U, Cu). Metallogeensed elemendid moodustavad peamiselt sulfidseid ühendeid (FeS₂, PbS, ZnS), ühendeid arseeni ja antimoniga või esinevad koguni ehedal kujul (väärismetallid). Sagedased on ka oksiidid. Kristallograafiliselt moodustavad nad tihti kõrgemaid sümmeetriarühmi (kuubilised), kuid kristallvõres annavad tooni vähempüsivamad sidemed, mistõttu nende ühendid lagunevad kergesti eksogeneesiprotsesside toimel. Erinevalt eelmisest rühmast on metallogeensed elemendid reeglina suure aatomimassiga ning nende aatomite väline elektronkiht koosneb 18 elementaarosakesest.

Geoloogilises mõttes on metallogeensed elemendid maakoos olulises vähemuses, kuid oma suure kontsentreerumisvõime tõttu moodustavad nad sageli tootmisväärsed maagikehi - metalliliste maavarade lasundeid.

Selle üldise jaotuspildi taustal on võimalik liigitada elemente veel mitmesugustesse rühmadesse - eelkõige nende lähedastele keemilistele omadustele toetudes. Rühmitatud elemendid käituvad geoloogilistes protsessides ühtmoodi - nad migreeruvad ja fikseeruvad kivimites sageli üheskoos. Niisuguseid elementide ja neid kandvate mineraalide looduslikke kooslusi võib kõige laiemas tähenduses nimetada assotsiatsioonideks. Arusaadavalt on õpetus assotsiatsioonidest üheks maavarade praktilise otsingu nurgakiviks. Laskumata lähemalt selle valdkonna üksikasjadesse, osutame vaid sellele, et kõigile maapõues esinevatele kivimitüüpidele on omased erinevad elemendikooslused, mida hästi tundes saab tulemusrikkalt suunata ka maavarade otsinguid. Esitame olulisemad neist alljärgneva loendina:

1. Ultraaluselised (ränihappevaeseimad) magmakivimid
Cr, Fe, Mn, Pt, Ir,
asbest, serpentiin
2. Aluselised magmakivimid
Fe, Ti, V, Ni, Co, Cu, Pt, Pd
3. Leelismagmakivimid
Ca, P, F, Ti, Nb,

- lantaniidid
4. Mõõdukalt hapud magmakivimid (granodioriidid)
Zn, Pb, Ag, Cu, Au, Cd, In, Ge,
Bi, Co, U, Sb, Hg, Ba, F, As,
vääriskivid
 5. Ultrahapud magmakivimid (graniidid, aljaskiidid)
W, Mo, Sn, Li, F, B, Be, Nb, Ta,
vääriskivid
 6. Magmakivimite murenemiskoorikud
Fe, Al, Mn, Ni, Co, Mg,
kaoliinsavi, klaasiliiv
 7. Normaalmereised ja soo- ning järvetekkelised settekivimid
Fe, Mn, P, Ca, V, U, Cu,
lubjakivid, põlevad maavarad, liiv, savi
 8. Laguunsed mereised ja järvetekkelised settekivimid
Na, K, Ca, Mg, Cl, S, B, N,
soolad, kips.

Loomulikult realiseeruvad loetletud elemendid geoloogilistes kehaes vastavale protsessile iseloomulike mineraalidena. Seetõttu võime eristada ka mineraalassotsiatsioone, millel on geoloogilistel otsingutel väga suur tähtsus. Nii näiteks saab harukordse teemandi otsimisel tugineda hoopis tema palju sagedasemale saatjasmineraalile püroobile, mille levikut on looduses märksa hõlpsam jälgida. Ka vaseleiuukohtade otsimisel on tema põhmineraalidest tunduvalt silmatorkavam murenemisproduktina tuntud erkroheline malahhiit. Samalaadseid näiteid võib tuua teisigi. Mineraalassotsiatsioonide kasutamisel eristatakse sageli ka mõistet paragenees, millega viidatakse eelkõige koosesinevate mineraalide üheaegsele tekkele. Vasesulfiid ja tema arvel hiljem tekkinud malahhiit ei moodusta niisiis parageneesi, küll aga assotsiatsiooni, sest esinevad seaduspäraselt üheskoos.

Mineraalparageneeside ja -assotsiatsioonide ning nende vastastikuste suhete analüüs võimaldab maavaramoodustumise protsessi sageli liigestada eri mineralisatsioonietappideks, seda eriti suhteliselt aeglase magmakivimite formeerumisprotsessi taustal (magmaline, pegmatiitne, pneumatolüütiline, hüdrotermaalne jt.). Etapid võidakse jaotada veel staadiumideks, mis omakorda hõlbustavad rikkaimate maagilasundite otsimist. Settekivimite puhul on protsesside õige ajaline järjestamine praktilisel maavaraotsingul ehk vähemoluline, kuigi ka siin on sageli tarvis eristada sedimentatsiooni (ladestumine), diageneesi (aine ümberjaotumine kujunenud settes), katageneesi (muutusi põhjavete toime) jt. Etapilisuse, stadiaalsuse ja maavarade kujunemise teooria on tänapäeval kujunenud keerukaks iseseisvaks uuringualaks, kus kõrvuti üldteoreetiliste lähtekohtadega kasutatakse ka palju eksperimente ja matemaatilist modelleerimist.

1.3. Maavarade lasumusvormid

Maavarad esinevad maakoos konkreetsete geoloogiliste kehadena, mis on vormilt väga mitmesugused, sõltuvalt kujunemistingimustest ja ala üldisest geoloogilisest ehitusest.

Maavara lasundeid võib jaotada rühmadesse mitmete tunnuste põhjal.

Tekkeaja järgi eristatakse:

1. süngeneetilised lasundid - lasundid, mille tekkeaeg ühtib või on väga lähedane maavara ümbriskivimi formeerumisajale. Siia kuuluvad näiteks magmakoldelised maavarailmingud, enamasti settelise tekkega maavarasid (põlevkivi, kivisüsi, soolalasadid jt.), ka rida moondeprotsessis tekkinud maavaratüüpe.
2. epigeneetilised lasundid - lasundid, mis kujunesid ümbriskivimeist märksa hiljem, lokaliseerudes nende tühimikesse, lõhedesse või asendades algsest kujunenud kivimeid. Siia kuuluvad kõik soonelised leiukohad. Suurem osa katte- ja koorikulaadseid vorme, valdav enamasti asendusreaktsioonidel (metasomatoosil) tekkinud maavarasid (näiteks skarnid) jt.

Loomulikult on eeltoodud jaotus väga tähtis maavarade tekkeloo selgitamisel ja tulemusliku otsimistöö suunamisel, seega eelkõige geoloogide töömail. Tarbija seisukohalt on olulisem lõppsaadus - lasundi konkreetne geomeetriline kuju. Siin eristatakse kolme põhitüüpi.

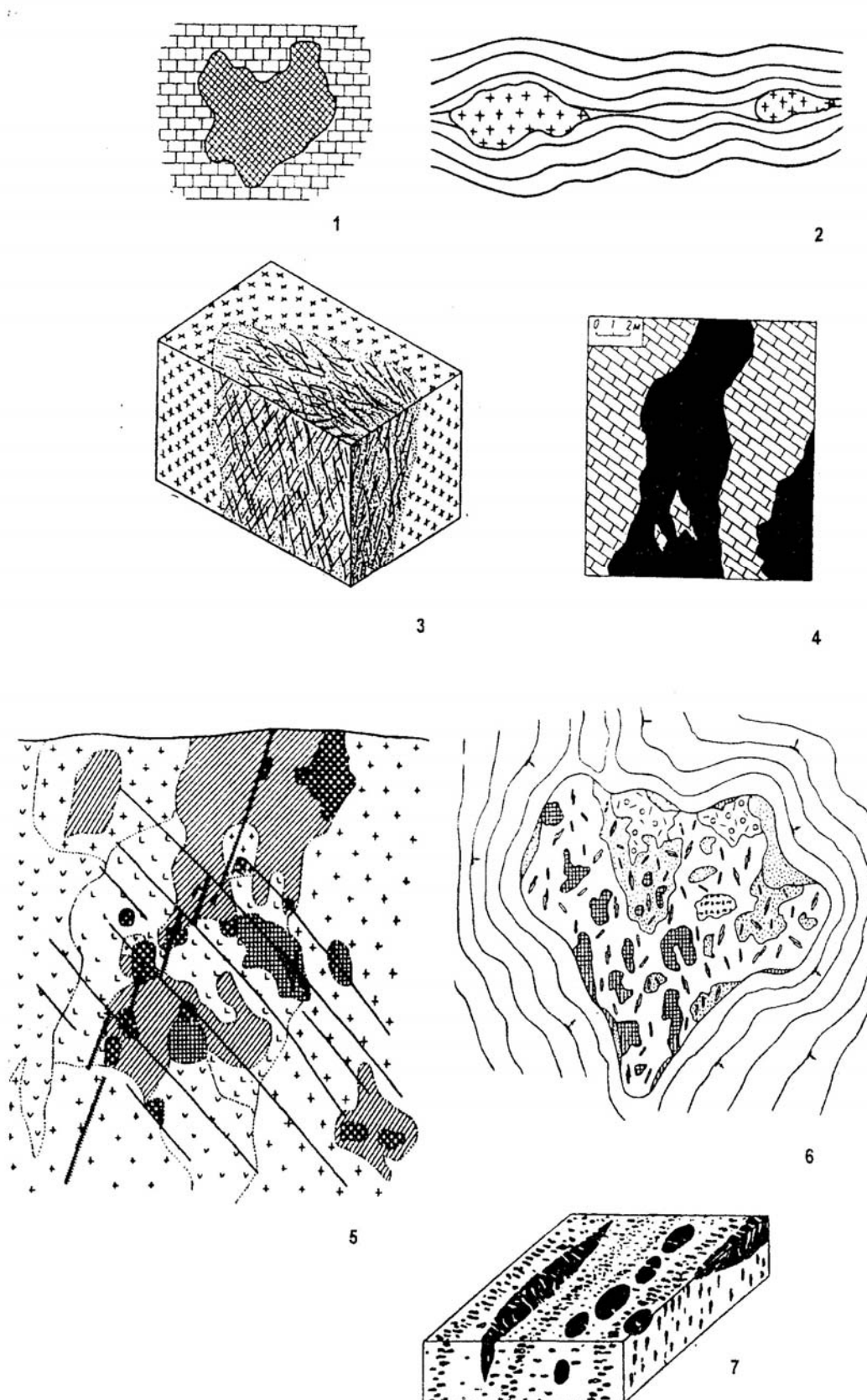
1. isomeetrilised lasundid, mille mõõtmed kõigis kolmes ristavas suunas on lähedased
2. tulpjad (sammajad) lasundid, mille üks mõõtmetest ületab tunduvalt ülejäänuid - s.t. pikliku, väljavenitatud kujuga kehad
3. plaatjad lasundid, mille mõõtmed kahes suunas ületavad tunduvalt kolmanda (paksuse).

Tuleb kohe märkida, et nii selget klassifitseerimist on looduses sageli raske rakendada. Esiteks seepärast, et esineb rohkesti sujuvaid üleminekuid nimetatud tüüpide vahel, teiseks sel põhjusel, et üks ja sama lasund võib eri osades omada erinevat kuju, ja kolmandaks loob loodus väga sageli hoopis keerukaid vorme, kus ülalnimetatud tunnused võivad omavahel kombineeruda. Sellepärast tuleb rääkida vaid lasundi kujust kõige üldisemas plaanis, lähendades nende tüpiseerimise maksimaalselt ideaalkujule.

Isomeetriliste lasundite puhul on sagedasem stokk (joonis 1). See on tavaliselt korrapärase kontuuridega iseseisev keha, mille läbimõõt igas suunas ületab 10 m. Samasugune väiksemate mõõtmetega lasund kannab nimetust pesa ja tuleb harva arvesse iseseisva maavaraleiukohana. Üleminekuliseks vormiks plaatjate kehade suunas on lääts (joonis 1), mida sõltuvalt tema horisontaal- ja vertikaalmõõtme vahelkorrast võib kanda kord kõnealusesse, kord plaatjate lasundite rühma. Mõnikord tuleb isomeetriliste lasundite hulka lugeda ka stokk (joonis 1). Ta kuulub olemuselt küll pigem plaatjate-sooneliste lasundite tüüpi. Kuid asjaolu, et teda moodustav peen soonestik kujundab kivimis sageli isomeetrilise kujuga ja monoliitselt kaevandatava ploki, milles on tihti ka soontevahelist peenhajusat maagikomponenti, tuleb seda lasunditüüpi käsitada sageli just kõnealuses rühmas.

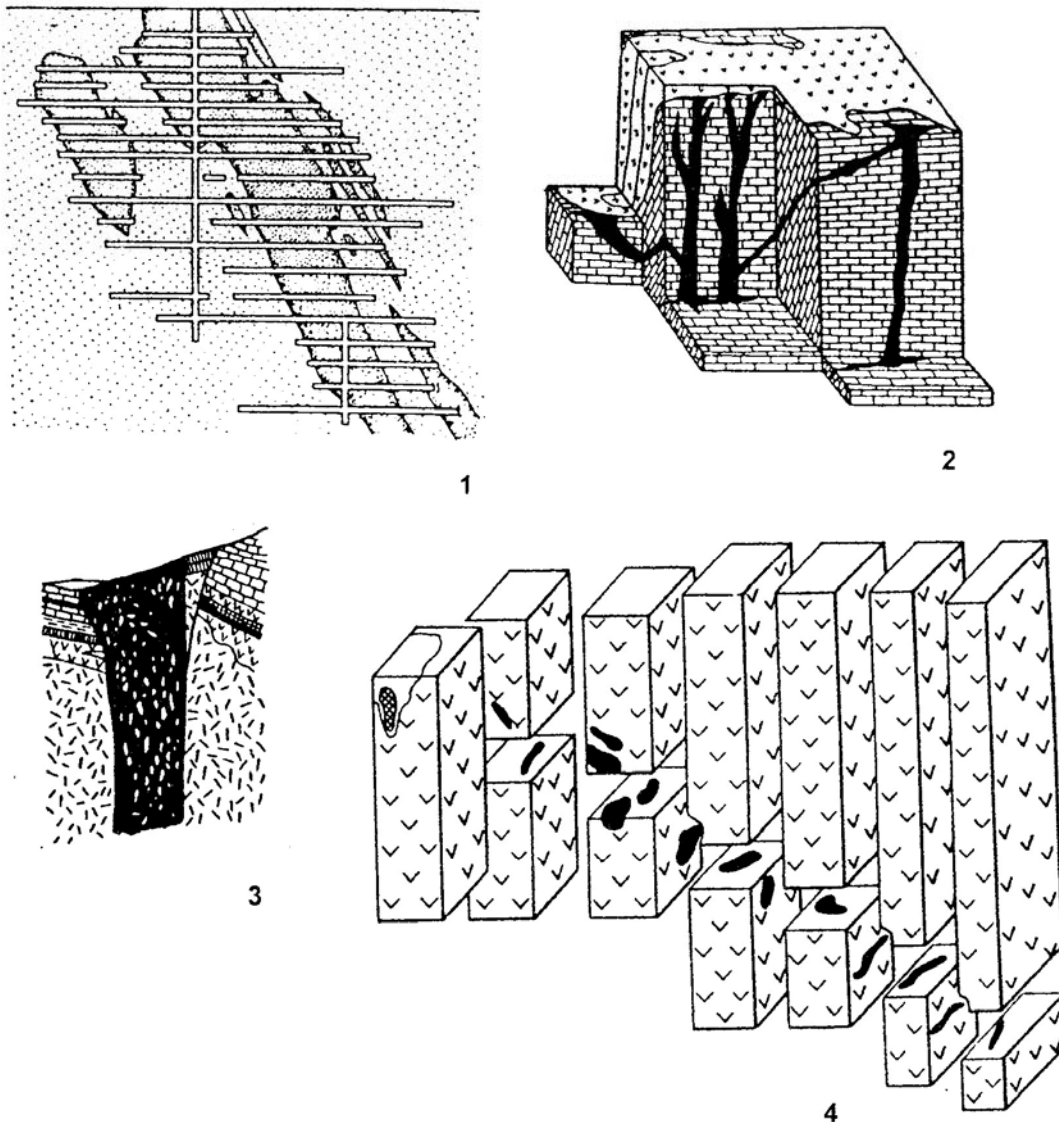
On veel üks erijuhtum, mil stokkilaadsed kehad paiknevad kivimassis ridadena (joonis 2). Sel juhul võidakse lasundit nimetada ka šliiriks.

Tulpjate lasundite olemus on lähedane eelnevale - neid võib isegi tinglikult nimetada ühes suunas väljavenitatud stokkideks (joonis 2). Looduses on nad tüüpikujul üsna harvad, eriti maavaralasaditena. Enamasti on tegemist vulkaanilõõride täidetega (näiteks teemantisaldavad kimberliidid), mõnede tektooniliste rikete lõikumiskohas tekkinud vertikaaltühikute või karstiõõnte täidetega, üsna harva ka kõrgemale tunginud magmaintrusiooniga (anortosiidid).



Joonis 1 . Isomeetriselised lasundid - iseloomulikud magmakivimitega seotud leiukohtadele.

1 - stokk (pealtvaates), 2 - lääts ja pesa, läbimõõduga alla 10 m (pealtvaates), 3 - võrkjast peensoonestikust - stokvergist - moodustuv stokk ümbriskivimis, 4 - korrapäratu kujuga maagilasund lubjakivides, 5-7 - stokjate maagilsundite paiknemisnäiteid reaalses leiukohtades.



Joonis 2 Tulpsjad (sammasjad) lasundid - harvaesinevad lasundivormid magmatekkelistes, eriti vulkaanilistes kivimites.

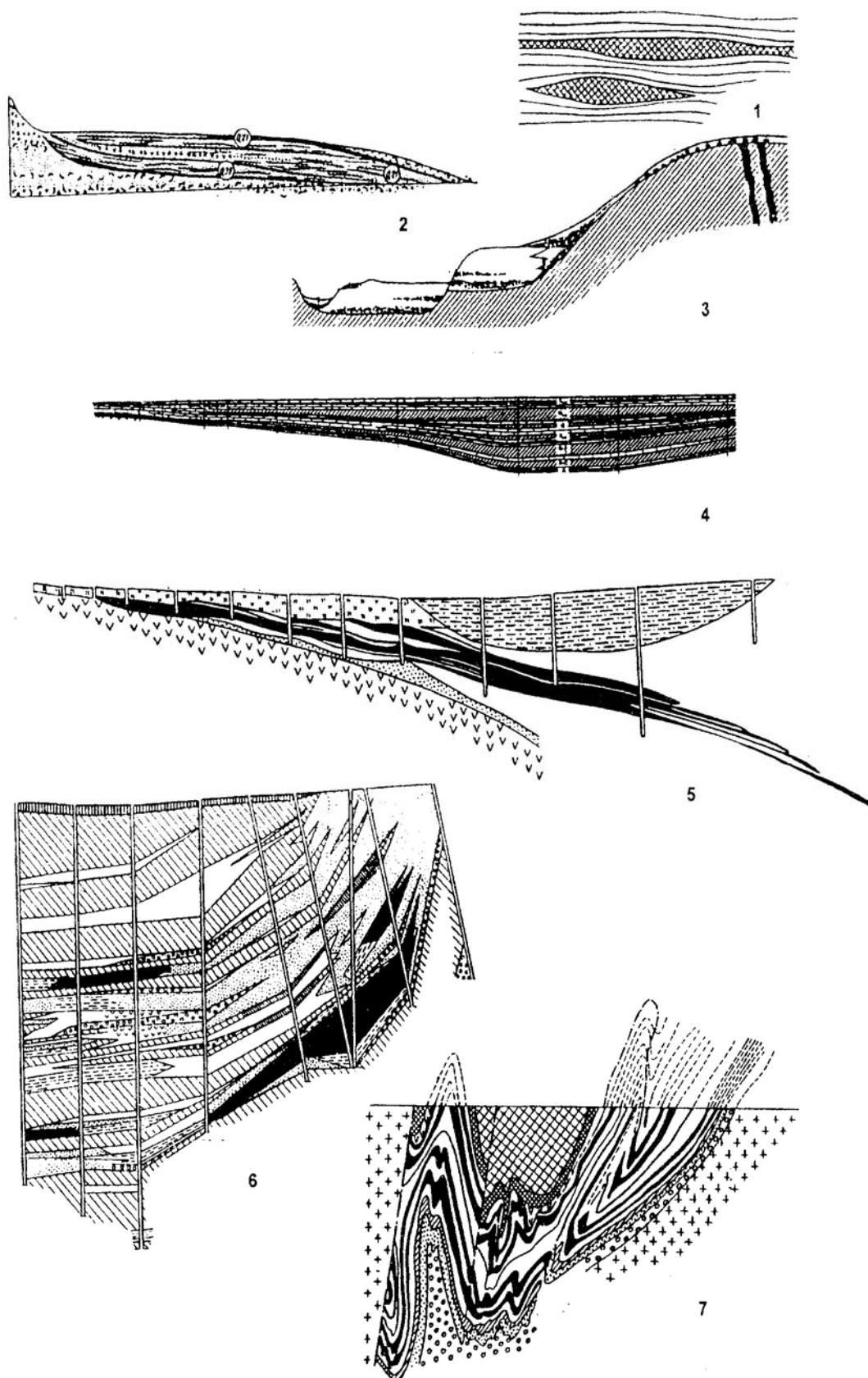
1 - kaevanduskäikudega läbitud keeruka tulpja maagilasundi skeem, 2 - skarnide välisvööndis paiknevad maagitulbad lubjakivides, 3 - teemantisisaldav vulkaanilõõr (kimberliittoru), 4 - isoleeritud kehadena (šliiridena) ridamisi paiknev tulpsjas kromiidimaagilasund duniidis.

Plaatjate maavaralasalundite rühm on tähtsaim ja suurim - seda tüüpi lasundid moodustavad vähemalt 95% kõigist kaevandatavatest maardlatest. Nad jagunevad põhimõtteliselt kahte alatüüpi, sõltuvalt plaatja pinnas orientatsioonist maapinna suhtes - horisontaalsuunale või vertikaalsuunale lähenevad. Mäetööstuses on see jaotus erakordselt tähtis, sest ta määrab otseselt kaevandamisviisi. Horisontaalsuunalised plaatjad lasundid moodustavad kihtmaardlaid, vertikaalsuunalised - soonmaardlaid.

Kihtmaardlate (ka kihindmaardlate) rühmas on lihtsaimaks lasunditüübiks kiht, enamasti aga siiski kihtide kompleks, milles maavarana kasutatav aine vaheldub maavaratühja ümbriskivimiga (näiteks - põlevkivi, kivisüsi, ehituslubjakivi jne.). Kihtmaardlad on tekkinud enamasti settimisprotsessi tulemusel, seetõttu on kihi alumine (lamav) ja ülemine (lasuv) pind sageli väga tasane. Lasundit katvat kivimassi nimetatakse lasumiks, lasundist allapoole jäävat kivimit lamamiks.

Kihi erijuhuks on eespoolnimetatud läät. Tegelikult on see mõiste geoloogilises mõttes eelmisest veelgi olulisem, sest ka kõik näivad kihid kiilduvad (suiduvad) looduses kusagil välja ja on seega õigupoolest väga lauged läätse. Lätse ja kihi eristamiskriteeriumiks on eelkõige nende avaldumine

teatud horisontaalõigul - lasuva ja lamava pinna väljapeetud paralleelsuse puhul räägime kihist (joonis 3).

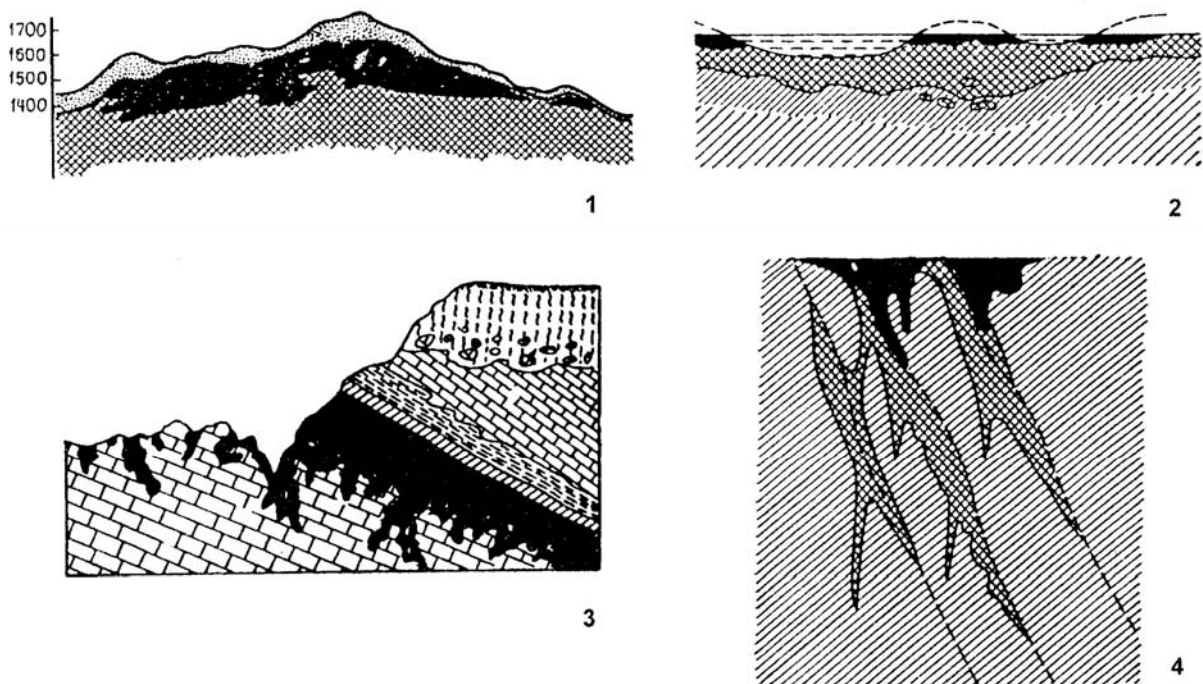


Joonis 3 Kihid ja läätsed (kihindmaardlad) - sette kivimites paiknevate maavarade tüüplasundid.

1 - ülal horisontaalsuunas väljapeetud kiht, all kiiresti suiduv lääts, 2 - madalmerevööndis kujunevad läätsjad kihid (puistmaardlad), 3 - jõeorus kujunevad puitmaardlaläätsed, 4 - merelise keskkonna

kihtmaardla (Eesti põlevkivi), 5 - nõrgalt kallutatud asendisse viidud algselt rõhtne mereline mangaanimaagilasund, 6 - isoleeritud läätsjate kihtidena esinev vaseliivakivi, 7 - moondeprotsessides keerukatesse kurdudesse muljutud algselt rõhtne mitmekihiline rauamaagilasund.

Keerukama lasundivormi samas rühmas moodustavad mitmesugused katted. Enamasti on selleks mingi kivimi murenenud osa, mis võib olla kasutusel iseseisva maavarana (kaoliinsavi, mõned Al ja Ni maagid, sekundaarsed rikastusvööndid vasemaakide puhul, murendite "raudkübarad" jne.). Katete puhul on lasundi piiripinnad tunduvalt ebaselgemad. Ülemine kattub küll reeglina kunagise maapinnaga, kuid võib olla reljeefi jälgendavalt üsna ebatasane. Alumine on aga enamasti väga ebamäärane - sujuvalt lamamiks üle minev või komplitseeritud korrapäratute taskulaadsete süvenditega (joonis 4). Katetele lähedaseks lasundivormiks tuleb lugeda infiltratsioonivööndeid, mis tekivad mõnede kergestilahustuvate metallide (Cu, U, V) ümberpaigutumisel põhjavete toimel poorsetesse kivimitesse. Tavaliselt jälgivad need lasundid poorse kivimi kihi kontuure, kuid võivad selles anda ka ähmasemapiirilisi laike ja rikastusvööndeid.

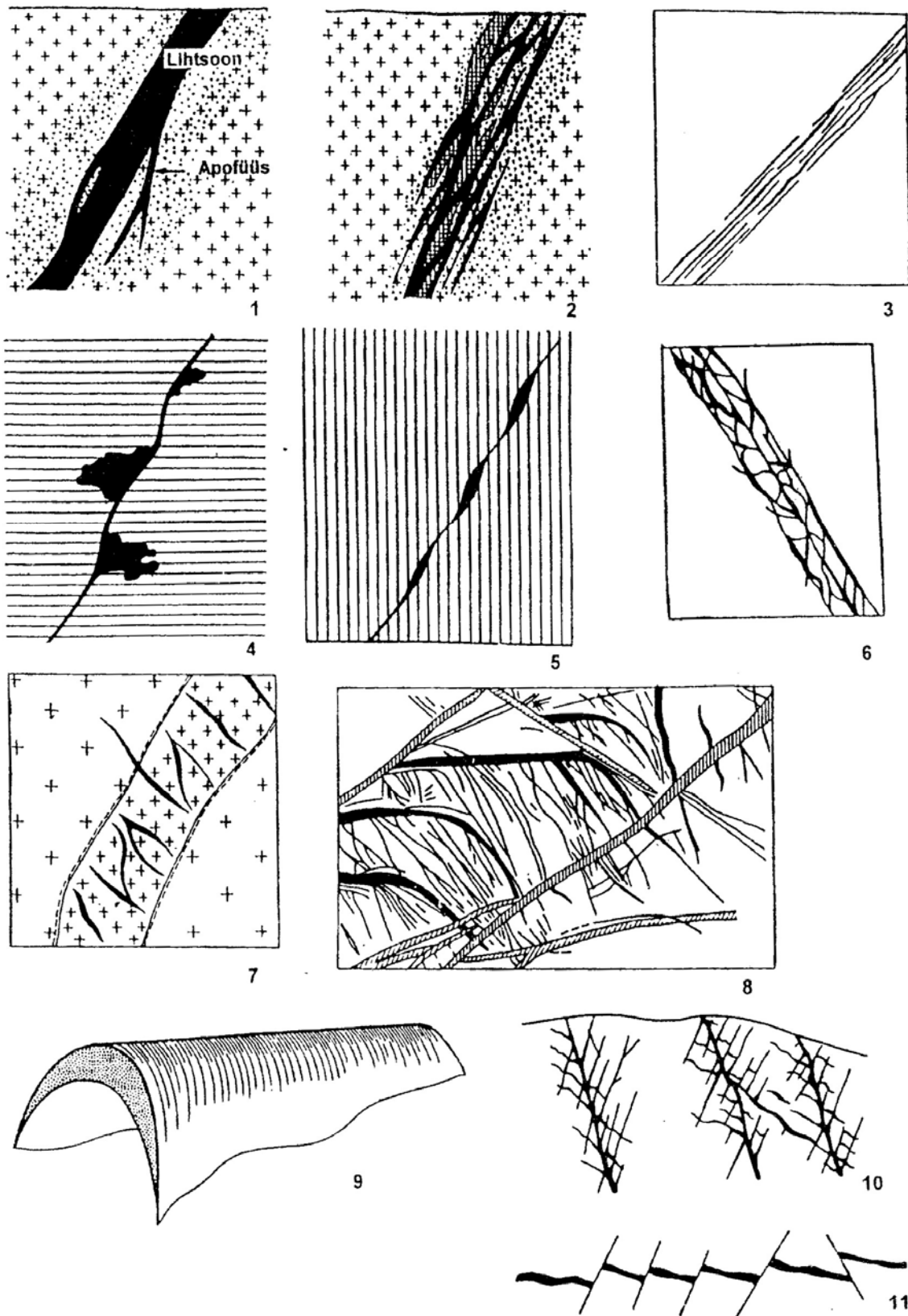


Joonis 4 Katted - peamiselt murenemisprotsessis kujunevad ebatasaste pindadega läätsjad kivimkehad.

1 - sulfiidirikas murenemiskoorik vulkaniitidel, 2 - laiguliselt säilinud Ni-rikas murenemiskoorik serpentiniitidel, 3 - tüüpiline boksiidilasund: ebatasase alumise pinnaga murenemiskoorik settekiivimitel, 4 - piki tektoonilisi lõhesid sügavusse tungiv nn. jooneline murenemiskoorik.

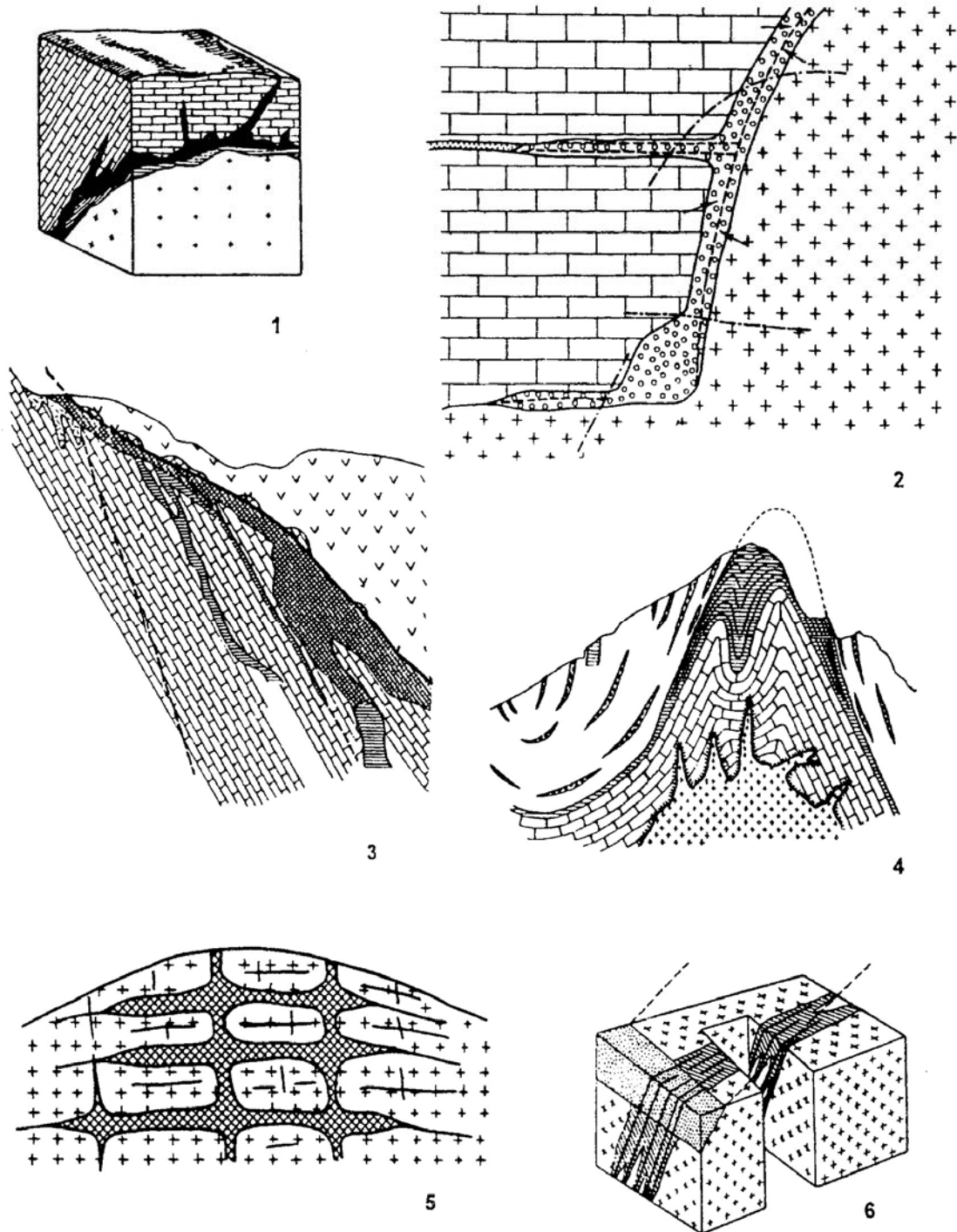
Kihiliste lasundivormide all on sageli käsitatavad mitmed kontaktmoonde- või metasomatoosi vööndid, harilikult suurte magmakollete läheduses. Siia rühma kuuluvad eelkõige skarnid (joonis 5, 1-4), mis on paljude metallide tööstuslikult rikkaimateks leiukohtadeks (magnetiidid jt.). Valides hoolikalt reaktsioonivõimelisi ja poorseid kivimeid magmakolde ümbruses, jälgivad skarnmoodustised enamasti nende kontuure ja omandavad seetõttu küll ebatasase välispinnaga, kuid üldjoontes siiski plaatja kuju. Erinevalt tüüpilistest kihtmaardlatest võivad skarnid olla tugevasti kallutatud asendis, isegi püstised, lähenedes seega mõnikord hoopiski soonmaardlatele. Ka võivad nad olla tektoonilistel liikumistel kurdudeks muljutud või koguni tükeldatud.

Umbes sama võib öelda ka teistegi kontakt-metasomaatiliste maavaraleiukohtade kohta, mille hulgas erivormina nimetatakse veel greiseneid - magmakolde sisemises äärealas kujunevaid haruldaste elementide kontsentreerumisvööndeid (joonis 5, 5-6). Metasomaatiliste asendusprotsesside toimel võib tekkida ka dolomiidilasundeid.



Joonis 5 Kontaktvööndid - magmakolde välispiirdel (skarnid) või sisemises äärevööndis (greisenid) formeeruvad keeruka ehitusega maagilasundid.

1 - tüüpiline skarnmoodustus graniidi ja lubjakivide kontaktil, 2 - mööda soodsaid kihitasemeid kaugelt ümbriskivimisse tungiv skarn, 3 - keeruka ehitusega vööndiline skarn lubjakivide kontaktil kvartsporfüüridega, 4 - keerukas skarniliste isoleeritud maagikehade kogum kurrutatud ja tektooniliselt nõrgestatud struktuuri piirkonnas, 5 - magmakolde äärevööndis tekkinud ristlõhedes moodustunud maakesisaldavad greisenid, 6 - piki ühesuunalist lõhevööndit kujunenud greisen.



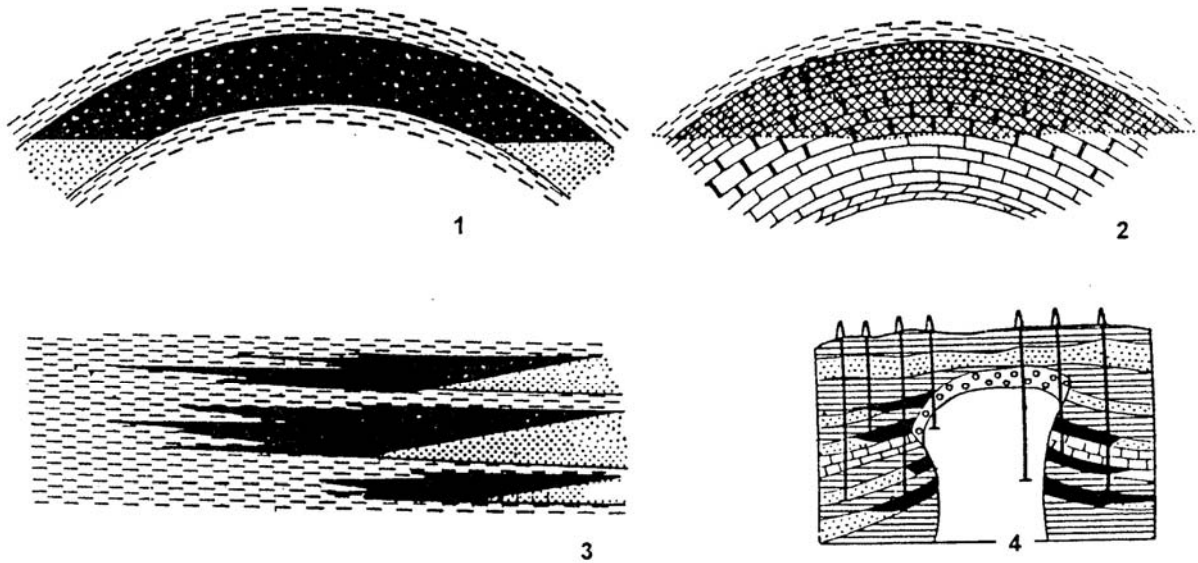
Joonis 6 Sooned - normaallasumusega kihte põikisuunas lõikavad kivimkehad.

1 - lihtsoon, 2 - keerukas e. põimsoon, 3 - lehtsoon, 4 - kambersoon, 5 - vorpssoon, 6 - võrksoon, 7 - redelsoon, 8 - nn. "hobusesaba-tüüpi" soon, 9 - sadulsoon, 10 - stokverk, 11 - tükeldatud soon.

Soonmaardlate puhul on plaatjad kehad maapinna suhtes tugevasti kaldu või koguni püstiasendis, mis tekitab nende leidmisel ja kaevandamisel palju probleeme. Üldiselt on nende puhul tegemist kivimitesse tekkinud lõhede täitumisega mujalt hiljem kohale toodud ainega - seega on soonmaardlad peaaegu alati epigeneetilised. Leiukohad on enamasti väikesemõdulised (pragude täited), kuid võivad olla hajutatud väga suurele alale. Lasunditüübi põhivormiks on soon, millele võib lisaõna abil anda olulisi täpsustusi. Eristatakse lihtsoont, paralleelsoonestikku e. lehtsoont, stokverki, kambersoont, redelsoont, "hobusesaba"-tüüpi soont jt. Kurdude harjade piirkonnas on sage nn. sadulsoon, intensiivsete tektooniliste liikumiste piirkonnas tükeldatud soon jt. Tüüpilisemad soonte tüübid on toodud joonisel 6. Soonte kirjeldamisel on kasutusel veel mitmeid lisamõisteid - apofüüsid

(tupikharu), salbandid (sisemised äärevööndid), rippuv (pealmine) ja lamav (alumine) pind. Ja nagu kõigi teiste geoloogiliste kehade puhul on tingimata vaja määrata soonte lasumuselemendid - rõhtsiht, kallakusuund ja kalle (kaldenurk), niisiis hädavajalikud parameetrid nende orienteerimiseks maakooses.

Lõpetades maavaralasundite ülevaadet tuleb märkida veel vedelate ja gaasiliste maavarade lasumusvormide eripära. Teatavasti on need komponendid maakooses liikuvad ja täidavad poorsete kivimite teradevahelise ruumi, kus nad sageli on suure rõhu all (joonis 7). Põhjavee toimel surutakse nafta ja gaas ülespoole, sageli võlvjatesse struktuuridesse või mitteläbilaskvate ekraankivimite sisemuses paiknevatesse poorsetesse kivimkehadesse - nn. "lõksudesse", kus nad enamasti moodustavad läätsja kontuuriga naftast läbiimbunud kivimeid. Harvem on need leiukohad nn. massiivset tüüpi, hajusalt lõhelistes või poorsetes lubjakivides laialdasel alal levivad nafta- või gaasikogused.



Joonis 7 Nafta ja gaasileiukohtade tüüplasundid.

1 - kurrulaadse võlvi alaosas paiknev kihilaadne lasund - nafta on täitnud liivaterade vahelise pooriruumi, 2 - massiivne lasund kurrulaadse võlviosa lubjakivides - nafta paikneb poolhajusalt kivimi lõhedes ja juhutühemikes, 3 - läätsjad lasundid savikivimitesse suletud liivakivikollektorites, 4 - läätsjad lasundid soolakupli poolt tekitatud lasumusriketes.

2. MAAVARALEIUKOHTADE GENEETILISED TÜÜBID

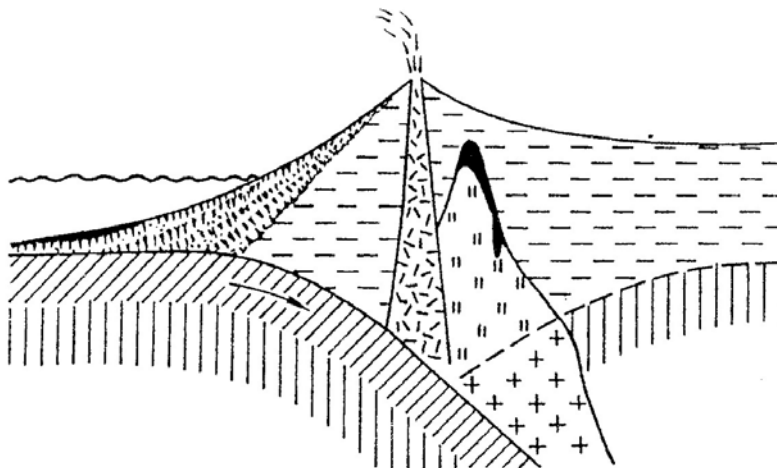
2.1. Endogeensed leiukohad

Maavarade kujunemine, nagu kõigi teistegi geoloogiliste protsesside kulg maakoores, toimub energiavoogude osavõtul. Põhilisi energiaallikaid on seejuures kaks - Maa siseenergia ja välis- ehk Päikeseenergia. Maa siseenergia baasil toimivad nn. endogeensed protsessid tekitavad kaht tüüpi maavarasid:

1. magmatogeenseid (magmaprotsesside osavõtul tekkivaid)
2. metamorfogeenseid (moondeprotsessidel tekkivaid).

2.1.1. Magmatogeensed leiukohad

Magmatekkelised maavarad kujunevad Maa sügavuses aeg-ajalt tekkiva sulavedela, gaasidest rikastatud silikaatse sulami - magma - aeglasel ja järk-järgulisel tardumisel, millele kaasneb rida füüsikalisi nähtusi nii magmakoldes endas kui ka kõrgete temperatuuride ja magmast eralduvate fluidumite toimel seda kollet ümbritsevas kivimimassiivides. Seetõttu on magmatekkeliste maavarade nomenklatuur ja nende esinemiskuju maakoores väga mitmekesine. Nagu nägime elementide geokeemilise käitumise iseärasustest, annavad selles protsessis tooni just metallogeensed elemendid, luues metallurgiale vajaliku toorainevaru. Kõrvuti metallimaakidega annab magmaprotsess ka vääris- ja mitmeid tehnikas väga vajalikke aineid - vilku, talki, asbesti, abrasiive, optikatooret, väävlit jt. Magmalise protsessi eripäraks on aine lisandumine sügavast maapõuest, sageli otse vahevööst, mis teeb selle nähtuse väga elementiderikkaks ja nii leiame siin märkimisväärtsetes kogustes peaaegu kõiki perioodilisuse süsteemi elemente.



Joonis 8. Maakoorde pääseb vahevööst maagirikkam aine suurte kontinentaalsete plaatide - laamade - lõhenemis- või kokkusurumisvööndites.

Siin tekkivates laavavooludes maagikomponent hajub, aeglaselt tarduvates süvakolletes aga diferentseerub mitmesugusteks maavaraleiukohtadeks.

Vaatamata magmaprotsessi elementiderikkusele ei moodustu siin eriti suuri ja rikkalike varudega leiukohti, mis on enamtüüpilised välisenergeetiliselt juhitavatele settelistele maavaradele (näiteks raua-, mangaani- ja alumiiniumimaagid, kivisööd jt.). Magmatekkelisi leiukohti iseloomustab seevastu just kasutatava komponendi kõrge sisaldusaste, mis teeb leiukohad tarbimise seisukohast eriti hinnatavaks.

Maavarade teke magmakollete mõjusfääris oleneb paljudest teguritest: magma alkoostisest, ümbriskivimite iseloomust, tardumiskiirusest ja paljustki muust. Ülevaate saamiseks sellest keerukast nähtusest kompleksist jagatakse magmakollete mõjupiirkonnas toimuv erinevateks etappideks, mis hästi kajastub ka kujunevate maavarade koostises ja iseloomus.

Magmakolde sisemuses toimuv on seotud peamiselt magma järk-järgulise jahtumise ja tardumisega. Selle kestel leiab aset ühendite astmeline väljakristallumine vedelast sulamist, aine diferentseerumine

sulamistäpi järgi, konvektsioonilised ümberpaigutused sulamimassiivis, gaaside ja vedelike eraldumine koldest või nende kogunemine massiivi ääres osas kujunevasse nn. jääkmagmasse. Niisuguseid protsesse algmagma nimetatakse puhtmagmaalisteks ehk magmakoldelisteks, magmakolde ääres osas kujuneva teistlaadse sulamiga seotud aga jääkmagmaalisteks. Ülekuumenenud gaasid, mis suure rõhu all tungivad ümbriskivimite lõhedesse ja tühikutesse, kannavad enesega kaasa ka rea liikuvamaid elemente. Need võivad ladestuda ümbriskivimite ülekuumenenud osas ja anda siin väärtuslikke maavarasid. Seda protsessi nimetatakse pneumatolüütiliseks. Gaaside kiiret lahkumist mööda lõhesid ja vulkaanilõõre maapinnale nimetatakse ekshalatsiooniprotsessiks, kuid maavarade kujunemise seisukohast on sel tähtsusetu osa.

Pneumatolüüsivööndi taga, s.t. magmakoldest veelgi kaugemal, hakkavad toimima magmakoldest eralduvad vesilahused, mille temperatuur on gaaside omast tunduvalt madalam. Seetõttu suudavad nad ümbriskivimitesse tungida üksnes seal varem kujunenud tühikuid ja lõhesid mööda, tekitades neis arvukalt mineralisatsioonisooni. Need lahused, mis moodustavad hüdrotermaalse protsessi, on maavarade seisukohast eriti tähtsad. Nimelt kontsentreeruvad nimetatud lahustesse paljud värvilised ja haruldased metallid, mis magmakoldes ei leidnud endale sobivat peremeesühendit. Nii algab nende väljasadestumine alles siin, magmakollet ümbritsevas lõhede vööndis, järk-järguliselt mahajahtuvatest vesilahustest. Tulemuseks on rikkalike maagisoonte teke. Oma suure maavarapotentsiaali tõttu jaotatakse hüdrotermaalne protsess veel kõrge-, keskmise- ja madalatemperatuuriliseks staadiumiks, millel igaühel on oma eripära.

Magmatekkelised maavaraleiukohad jaotuvad kujunemisviisi alusel järgmiselt.

1. magmakoldelised
2. jääkmagmalised
3. pneumatolüütilised
4. hüdrotermaalsed

Mõnikord nende tüüpide täpne piiritlemine ähmastub ja põhjustab vaidlusi geoloogilisel tõlgendamisel. Vaidlusalustel puhkudel kasutatakse kaksiknimetust, näiteks pneumatolüütilis-hüdrotermaalne jne. Terminoloogiliselt on oluline, et otseselt magmakoldes toimuv on loetletutest vaid esimene, mida võiksime nimetada ka puhtmagmaaliseks leiukohatüübiks, ülejäänud kolm on kas seotud ümbriskivimite toimuvaga või on kujunenud perioodil, mil algne magma on juba jõudnud aineliselt piisavalt diferentseeruda. Nende protsesside ja leiukohtade kohta võiksime kasutada ka üldnime postmagmalised.

Magmakoldelised leiukohad

Magmakoldes toimuv on keerukas füüsikalise-keemiline protsess, mille juhtivaks teguriks võib pidada algmagma gravitatsioonilist diferentseerumist pika aja ja jahtumiskristalliseerumisel väljalangevate komponentide toimel. Märkimisväärne, et suures sügavuses toimub magmakolde tardumine väga aeglaselt - see võib võtta miljarde aastaid.

Mõnede elementide (näiteks Pt ja Cr) ühendid omavad väga kõrge sulamistäpi, teisisõnu, nad hakkavad esimestena moodustama tahkeid kristalle. Suurema tiheduse tõttu vajuvad need kristallid läbi äärmiselt viskoosse sulami magmakolde sügavamasse ossa, kus nad tekitavad nende elementide kõrgendatud, sageli maavaradena tootmisväärseid kontsentratsioone. Neid leiukohti nimetatakse varamagmaalisteks. Reeglina on need nn. hajusmaagid, s.t. maagikeha peaaegu ei eristu ümbriskivimist ja ta eraldatakse sellest üksnes analüüsides või majandusnäitajate alusel. Tüüpiliseks tunnuseks on maagikomponendi sageli ideaalne idiomorfne kristallikuju. Maagid on enamasti lahjad. Näideteks Aafrika mõned kromiidimaardlad, mitmed plaatinaliukohad, mõned teemandileiukohad Lõuna-Aafrikas ja Jakuutias.

Vastupidisel viisil kujunevad hilismagmaalsed leiukohad. Kõrvuti sulamistäpiga on siin otsustavaks just gaasirežiim, mis hoiab mitmed ühendid väga kaua sulamis vedelana ja võimaldab neil tahkestuda alles pärast kivimi silikaatse peamassi tardumist. Selgi puhul kujunevad peamiselt hajusmaagid, kuid tänu pikka aega kestnud rikastumisilmingutele, võivad nad mõnikord olla väga suurte varudega. Tüüpiliseks on maagikomponendi terade vormitu - nn. ksenomorfne - tüüpkuju, mis näitab nende hilist teket varem kujunenud põhimassi teradevahelises ruumis. Sellisel viisil kujunevad mitmed Ti, Cr, Pt leiukohad ja samuti mõned nefeliin-apatiitsed või nefeliin-magnetiitsed maardlad. Tuntud on leiukohad USA-s, Uuralis, Rootsis ja Koola poolsaarel.

Kolmas magmakoldesisene maakekujundav mehhanism on likvatsiooniline (*liquid* = vedelik), milles osalevad magma eristumisel tekkinud eri raskusega vedelikud. Need leiukohad sarnanevad mõneti

varamagmalistele selles mõttes, et juba tahkestunud maagikomponent võib kolde allosas uuesti üles sulada ja vedelikuna liikuvaks osutada. Mõnikord võib see maagikomponendirikas vedelik juba väljakristallunud kivimmassi tungida ja seal stokjaid või sliirjaid kehi anda. Neil puhkudel on iseloomulik metallide sadestumine sulfiididena. Niisugused leiukohad kujunevad üksnes aluselistes kivimites, mille algmagma liikuvus on suurem. Sedalaadi leiukohti annavad Cu, Fe, Ni, Co, Pt, Pd. Tuntumad on Montšegorsk Koola poolsaarel, Norilsk Siberis ja Sudbury Kanadas.

Kokkuvõttes tõdegem, et magmakoldelised maavarad formeeruvad peamiselt aluselistes ja ultraaluselistes kivimimassiivides, s.t. juhtudel, kui on tegemist basaltse ehk ürgmagma. Hapudes kivimites on sellised leiukohad tundmata. Põhjuseks on algmagma raskete elementide rikkus ja magmasulami madalam viskoossus, mis neid mehhanisme soodustab. Teise asjaoluna tuleb märkida, et magmakoldelised leiukohad on eranditult seotud süvakivimitega. Sama koostisega purske kivimid maagileiukohti ei anna, sest kiirel tungimisel maapinnale ei jõua magma selleks piisavalt diferentseeruda.

Lisagem veel, et peale loetletud metallimaakide on formeeruvad magmakivimid ise sageli väärtuslikeks maavaradeks, andes ehitusmaterjaliks kauneid plaate, tugevaid plokkke või kõrgemargilist killustikku.

Jääkmagmalised (pegmatiised) leiukohad

Magma diferentseerumise lõppfaasis moodustub kolde ülaosas või äärevööndis raskematest elementidest - eelkõige rauast jt. metallidest vaesustunud ning kergetest elementidest, sealhulgas lenduvatest gaasidest (H₂O, CO₂, HCl, HF, CO, H₂S, SO₂, N₂, S, CH₄, H₃BO₃, H₃PO₄ jt.) rikastunud jääkmagma. Gaaside juuresolek hoiab selle jääkmagma vedelas olekus veel suhteliselt madalatel temperatuuridel. Ta tungib tardumisprotsessi käigus tekkivatesse lõhedesse nii juba kristalliseeruda jõudnud magmakivimites endis kui ka ümbriskivimites, tekitades arvukalt heledaid kergete elementide rikkaid soonkivimeid - pegmatiite. Tähtis on seejuures asjaolu, et need soonkivimid talletavad endas palju haruldasi elemente, mis oma madala klargi tõttu pole magmalises protsessis leidnud sobivat peremeesmineraali. Niisugused on näiteks Be, B, Li, Zr, Hf, Nb ja mõned teisedki, mis ainult pegmatiitides annavad tööstuslikult arvestatavaid kontsentratsioone või moodustavad harukordseid mineraale, sealhulgas vääriskive. Gaaside olemasolu annab jääkmagma komponentidele suure liikuvuse, mistõttu pegmatiidisoontes kujunevad kivimid on reeglina suurekristallilised ja pilkupüüdvad. Seetõttu nimetataksegi neid gaase sageli mineralisaatoriteks. Pegmatiitseid jääkmagmakivimeid on teada kõigist magmatüüpidest, kuid kõige esinduslikumal kujul levivad nad siiski vaid hapude kivimite (graniitide) äärevööndis. Nagu öeldud, moodustuvad pegmatiidid nii magmamassiivis eneses kui ka külgnevates kivimites, olles niisiis ühtaegu nii magmakoldelise kui postmagmalise protsessi esindajaks. Eeltoodust tuleneb ka pegmatiitide jaotumine nn. puhta ja ristuva liini pegmatiitideks. Esimesel juhul talletuvad soonkivimis magma enese diferentsiatsiooni lõpp-produktid, teisel juhul haaratakse tekkivasse soonde ka külgnevast kivimist osaliselt sulanud lisakomponente. Viimased on sagedasti just haruldaste mineraalide tekitajateks. Eristatakse veel nn. hübriidseid pegmatiite, mis kujunevad kahe eri tüüpi jääkmagma ristumisel.

Pegmatiidisoonte üheks iseärasuseks on nende tavapärane vööndiline ehitus. Välisvööndi moodustab harilikult kvartsi ja päevakivi eutektiline läbikasve kivim - nn. "kirigraniit" või "juudikivi", sellest seespool on suurekristalliline päevakivi-muskoviidi vöönd ning soone keskosas valdavalt kvartsist koosnev vöönd. Eksootilistest saatjasmineraalidest on kõige rikkam just suurekristalliline vöönd või selle kontaktiala kvartsiga.

Pegmatiitidest toodetakse kõige enam kvartsi ja päevakivi läbikasve kivimit, mis sobib suurepäraselt keraamikatooraineks (sulandilisandina portselanitööstuses). Hinnaline on ka vilk, peamiselt elektrotehnikas kasutatav muskoviit. Haruldastest metallidest saadakse Li, Be, Ta, Nb, lantaniide, harvem U, Th, Sn. Turmaliini ja topaasi erimeid toodetakse mitmesuguste vääriskividena. Tähelepanu väärib veel optikas kasutatav piesokvarts ja fluoriit. Ristuva liini pegmatiitides on sage abrasiivina kasutatav korund ja vääriskivi smaragd. Pooltingimisi võib pegmatiitide rühma lugeda ka hübriidseid karbonatiite, mis on pärilvud tähelepanu just viimastel aastakümnetel. Need on ultraaluselistel leeliskivimitega seotud omapärasel karbonaatidest koosnevad kivimid, mis kannavad neobiumi, lantaniidide, tsirkooniumi, tantaali ja strontsiumi maake, samuti apatiiti, fluoriiti, vermikuliiti jt. tänapäeva tööstuses vajalikke toormeliike. Karbonatiidid on sageli tulpja ehitusega maavaralasadid, geneetiliselt tihti seotud vulkaaniilmingutega.

Kokkuvõttes - pegmatiidid ei ole just metalliderikkad kivimid, kuid neis kontsentreeruvad tihti just perioodilisuse süsteemi kõige haruldasemad elemendid, mis teistes oludes tootmisväärseid kontsentratsioone ei anna.

Pneumatolüütilised leiukohad

Magmast eralduvad tulikuumad gaasid ja ülekuumenenud lahused kanduvad ümbriskivimi lõhedesse ja pooridesse, mõnel juhul neid lagundades ja ühtesid komponente teistega asendades. Mõistagi sobivad selleks keemiliselt aktiivsed või tugevasti poorsed kivimid - eeskätt lubjakivid ja mitmesugused vulkaanilised tufid. Keemiliselt inertsed ja läbilaskmatud kivimid tihenevad gaaside toimel veelgi ja muutuvad nähtava teralisuseta sarvkivideks. Reaktsioonivõimelistesse kivimitesse tungivad gaasid (H_2O , H_2S , SO_2 , CO_2 , CH_4 , Cl, F) kannavad endaga kaasa ka mõningaid metalle (Hg, Sb, As, Cu, Ag, Mn, Co, Ni jt.). Nad jahtuvad aegamööda ja kaotavad järk-järgult kivimitühikutesse oma kandami tekkivate mineraalide näol. Nii kujunevadki magmakollete läheduses korrapärase kontuuridega keerukad maagistumisvööndid, mida võime nimetada ka kontakt-metasomaatilisteks. Nii on ehk õigemgi, sest kirjeldatud protsessis ei osale üksnes magmakoldest saabuval gaasid, oma mõju avaldavad ka vesilahused, samuti ümbriskivimite iseeneslik lagunemine kõrge temperatuuri tõttu. Meenutagem, et lubjakivi laguneb 800-900 °C vahel CaO-ks ja CO_2 , mis loob kivimisse lisatühikuid ja lisab süsteemi keemiliselt aktiivseid aineid.

Keeruka ehitusega kontakt-metasomaatilis maagikehi nimetatakse skarnideks, nende tekke temperatuuridiapasoon on avar - 100-800 °C. Sagedamini kaasnevad skarnid keskmise koostisega kivimitele (dioriitidele, granodioriitidele), hapude puhul on nad vähemilmekad, aluseliste ja ultraaluseliste puhul hoopis harvad. Skarnidele on iseloomulik üsna selge vööndilisus. Sisemises, magmakolde poole suunatud vööndis on iseloomulikud oksiidsed ühendid - magnetiit, hematit, šeliit ($CaWO_4$), tsingi oksiidsed ühendid, mõnikord grafiit ja apatiit. Skarni välisvööndis, kus valitsevad hüdroksüülioniga silikaadid, kujunevad šтелиit, molübdeniit, kassiteriit ja paljud sulfiidid (Cu, Co, Bi, Zn, Pb, As jt.), mõnikord kuldki. Mittemaaketest ühenditest pälvivad tähelepanu talk, flogopiit, asbest, fluoriit. Keerukast mitmekesisusest on raske välja tuua peamist. Ehk vast seda, et skarnid on peaaegu ainukesed volframi leiukohtade moodustajad, väga sage on neis ka raud (Magnitnaja mägi Uuralis), samuti tina ja molübdeen. Geoloogid tunnevad skarni iseloomulike saatjasmineraalide hedenbergiidi (pürokseen) ja antradiidi (granaat) järgi.

Pneumatolüütilise protsessi teine haru, milles kuumad gaasid pääsevad kiiresti maapinnale, kannab nimetust ekshalatsioon. Siin langeb gaaside rõhk ja temperatuur kiiresti, kaasaskantavad elemendid hajuvad kivimitesse ning soliidsemate varudega maavaraleiukohti ei kujune. Vulkaanilistes tuffides ja laavatühikutes võib siiski mõnikord leida ehedat väävlit, realgaari (AsS), auripigmenti As_2S_3 või fluoriiti. Tuntumad leiukohad on teada Kamtšatkalt, Jaapanist, Itaaliast, Kaliforniast. Peamiseks maavaraks neis on väävel.

Hüdrotermaalsed leiukohad

Kuumade ja väga liikuvate gaaside järel tungivad magmakollet ümbritsevasse kivimitesse kuumad vesilahused. Nad kannavad endas lahustunud kujul mitmesuguseid metalle ja teisigi elemente, mis varasemates protsessides ei leidnud endale väljakristalliseerumiseks sobivat peremeesmineraali. Need lahused moodustavad alge magmakolde ümber väga ulatusliku, sageli kümnete kilomeetrite kaugusele ulatava vööndi, mille otsene seos tulivedela magmaga on mõnikord isegi raskesti tuvastatav. See ümbriskivimi lõhedesse tungiv lahustekogum diferentseerub ruumis peamiselt temperatuuri alanemise, aga ka lahustunud komponentide kontsentratsiooni jär^{gi}, mistõttu hüdrotermaalsed leiukohad jaotuvad oma iseloomult kolme põhiklassi - kõrgetemperatuurilised (500-300 °C), kesktemperatuurilised (300-200 °C) ja madalatemperatuurilised (200-50 oC). Arusaadavalt ladestuvad erineva kuumusastmega lahustest edasisel jahtumisel erinevad mineraalid, kontsentreeruvad erinevad elemendid, moodustuvad erinevad maagid. Enne nende üksikasjalikumat vaatlemist tuleb aga tingimata märkida, et just hüdrotermaalne protsess magmakollete ümber on põhiline metallimaakide tekitaaja, mistõttu tema tähtsus on maavarade seisukohast erakordne. Kui kõrvale jätta raua-, alumiiniumi- ja mangaanimaagid, mida ammutatakse peamiselt settelise tekkeviisiga leiukohtadest, võib vaieldamatult öelda, et ülejäänud meile nii tarvilike metallide varudest vähemasti 80% pärineb just hüdrotermaalse päritoluga leiukohtadest. Siit on ka arusaadav, miks õpetus hüdrotermaalsest maagitekkeprotsessist seisab maavarade geoloogia tundmaõppimisel erakordselt tähtsal kohal.

Kõrgetemperatuurilised leiukohad kujunevad temperatuuridel 500-300 °C ja nende tekkel osaleb suurel määral veel gaasiline faas. Kuigi saadava vesilahuse temperatuur on siin juba allpool vee

kriitilist temperatuuri (+630 °C), püsib vesigi väiksemate rõhkude korral süsteemis valdavalt auruna, mis tagab eralduvale fluidumile suure liikuvuse. Lisandub ka teisi gaase-mineralisaatoreid: CO₂, HCl, HF, H₂S, SO₂, N₂, CH₄, H₃BO₃ jt. Temperatuuri alanedes ladestuvad sellest süsteemist spetsiifilised mineraalid - turmaliin, topaas, berüll, liitiumvilgud (lepidoliit, tsinvaldiit), fluoriit, grafiit. Maakmineraalidest valdavad samuti kõrgematemperatuurilised ühendid: magnetiit, pürroitiin, kassiteriit, šeeeliit, volframiit, molübdeniit, arsenopüriit, korund, ehe kuld. Kõrgtemperatuurilistele lahustele on iseloomulik nende aktiivne toime ümbriskivimitele: täheldatavad on moondevööndid soonte kontaktidel. Ka leiukohtade tüüpidel on oma eripära: valdavad keeruka ehitusega sooned, sageli kambertüüpi paksenditega, "hobusesaba"-tüüpi sooned, stokvergid ja hajusmaagidki. Geneetiliselteel on kõrgetemperatuurilised leiukohad kõige tavalisemad hapude magmakivimassiivide (graniitide, granodioriitide) mõjuväljas. Vaid neis on piisaval hulgal gaasidena migreeruvaid aineid, mis tagavad metallide kõrgetemperatuurilistele ühenditele tarviliku liikuvuse.

Ühe kõrgetemperatuurilise hüdrotermaalse protsessi erijuhuna võib käsitleda nn. greiseneid - moodustisi, mis kujunevad tegelikult sama magmakolde äärevööndi kivimite töötlusel tulikuumade hüdrotermidega. Need on korrapärase kontuuriga kivimkehad, milles algne K-päevakivi asendub sageli Na-päevakivi - albiidiga (albitisatsioon), vabanenud K pääseb aga ümbriskivimisse, kus moodustub rohkesti muskoviiti ja liitiumvilkusid. Greisenid ei ole eriti maagirikkad, neis annavad kõrgemaid kontsentratsioone mõnikord Be, Li, Zr, Nb, Th.

Kõrgtemperatuurilised leiukohad magmakollete välisvööndis pälvivad aga tähelepanu eelkõige volframi ja inglistina leiukohtadena, tähtis on neis veel molübdeen ja tunnuslik eheda kulla assotsiatsioon arseeniühenditega. Mittemetallilistest maavaradest on olulised grafiidi (Tseilon), muskoviidi ja flogopiidi leiukohad (Siber, Kanada, Madagaskar). Sageli leidub neis leiukohtades ka vääriskive - turmaliini, topaasi ja berüllierimeid.

Kesktemperatuurilised leiukohad kujunevad temperatuuridel 300-200 °C. Nad seonduvad kõigi magmakivitüüpidega hapudest kuni ultraaluselisteni. Gaasiliste mineralisaatorite mõju on kahanenud - olulist rolli mängib vaid H₂S, vähemal määral ka CO₂, SO₂ ja F. Maakmineraalide kooslus on kirju, kuid neis valdavad ülekaalukalt sulfiidid ühendid: püriit, arsenopüriit, kalkopüriit, galeniit, sfaleriit, nikeliin, kobaltiin, stanniin. Rohkesti on sulfosooli - sulfoarseniite ja -antimoniite, esineb ehedat kulda, hõbedat ja vismutit, teistest maakmineraalidest sideriiti, hematiti, kassiteriiti. Mittemaakidest on tähtsaimad krüsotiil-asbest, talk, magnesiit, fluoriit, mäekristall. Sooni täitvateks põhimineraalideks on mitmesugused karbonaadid, barüüt, madalatemperatuuriline päevakivi - adulaar.

Ka kesktemperatuurilised hüdrotermid mõjutavad ümbriskivimeid, kuid see mõju on üheplaaneline - enamasti peenlehtjate hüdrosilikaatide moodustumine päevakivide arvel - nn. seritisatsioon. Harvem võib täheldada rauaühendite sekundaarset püriidistumist.

Leiukohad on valdavalt soonelist tüüpi, mis on seletatav nende lahuste madalama energianivooga, mistõttu nad saavad liikuda üksnes varem kujunenud kivimilõhedes. Mõnedes poorsemates kivimites (vulkaanilised tufid) võivad nad siiski anda ebamäärasemaid maagikehi või isegi hajusmaake.

Kesktemperatuurilised hüdrotermaalsed leiukohad on suure tööstusliku tähtsusega: neist ammutatakse põhiline hulk värvilisi metalle - Pb, Zn, Cu, Sn, Mo, palju hõbedat ja kulda (Berjzovi leiukoht Uuralis, mitmed leiukohad Kesk-Aasias, Kanadas, USA-s jm.). Mittemaaksetest maavaradest on olulisemad asbest, magnesiit ja mäekristall.

Madalatemperatuurilised leiukohad kujunevad temperatuuridel 200-50 °C. Nad lokaliseeruvad peamiselt settelistes või vulkaanilistes kivimites ja on tihti kaotanud nähtava seose neid tekitanud magmakoldega. Seetõttu nimetatakse neid mõnikord ka teletermaalseteks või seatakse lahuste magmakoldeline päritolu üldse kahtluse alla.

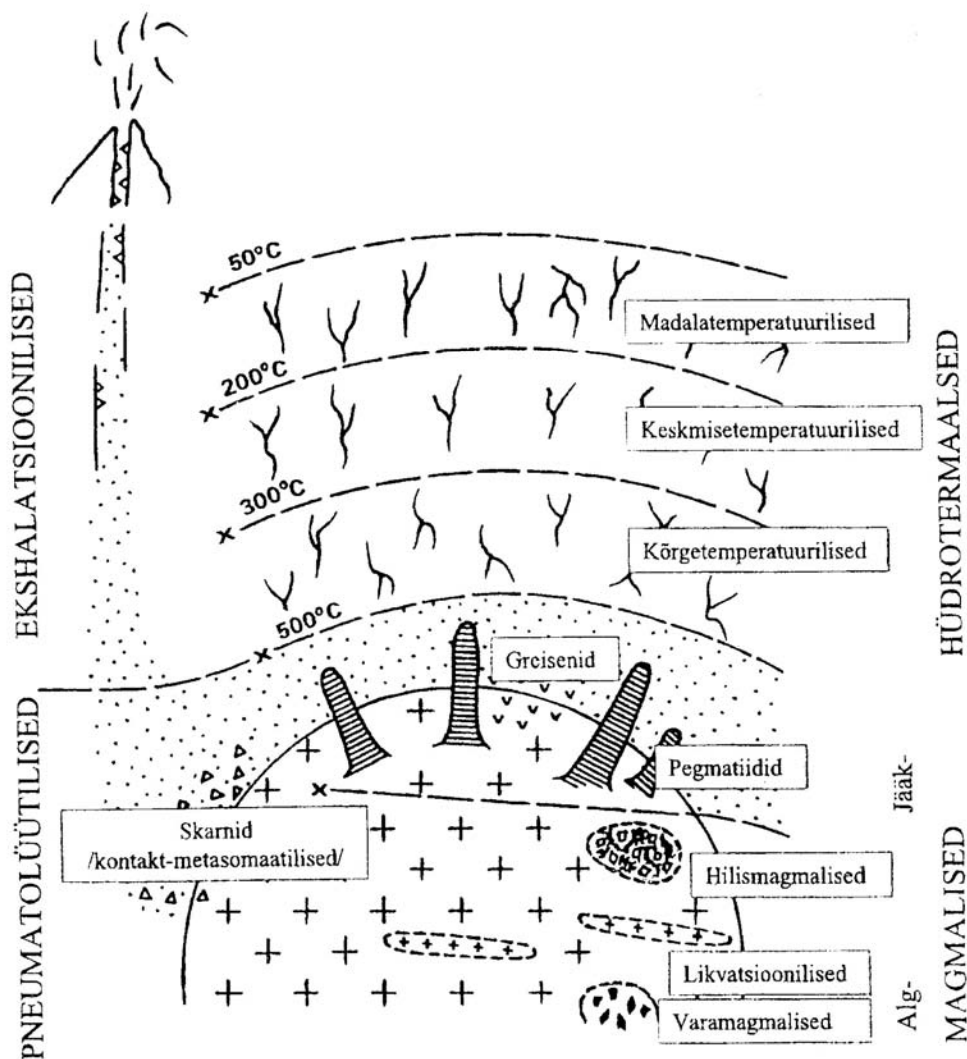
Leiukoha mineraalid on reeglina madalatemperatuurilised: kinnaver, antimoni- ja arseeniühendid, ehe kuld ja vask, sulfiidid - kalkopüriit, kalkosiin, galeniit, sfaleriit, keerukad sulfoantimoniidid ja -arseniidid, mõnikord ka markasiit. Saatjatest on iseloomulik optiline kaltsiit ("islandi pagu"), kvarts, kaltseon, opaal, barüüt, rodokrosiit, kaoliniit, aluniit, tseoliidid, adulaar. Mõjutused ümbriskivimitesse piirduvad dolomiidistumise, kaoliniidistumise või aluniidistumisega, vähemal määral toimub seritsiidistumine. Valdab sooneline leiukohatüüp, mis soodsaid kihte läbides annab ka kamberjaid paksendeid. Poorsetes kivimites moodustuvad madalatemperatuurilised lahused metasomaatilisi asendusvööndeid, mis on sageli kihilise või läätsja kujuga. Seda tüüpi leiukohad on tavaliselt laialdase leviku ja suurte varudega, kuid enamasti madalate sisaldustega. Seetõttu on mõnedki neist saanud elavate vaidluste objektiks ning mõnda seda tüüpi leiukohta on peetud koguni settelise, sekundaarset

infiltratsioonilise või vulkaanilise tekkeviisiga maagileiukohaks. See nn. "stratiformsete (kihikujuliste) leiukohtade" probleem pole tänaseni leidnud ühest lahendust ja diskussioonid sel teemal kerkivad konkreetsete leiukohtade puhul aeg-ajalt jälle päevakorda.

Süvenemata selle vaieldava valdkonna detailidesse märkigem siinkohal vaid, et madalatemperatuurilised leiukohad on esmatähtsad antimoni, elavhõbeda ja vase tootmisel, vähem plii, tsingi, hõbeda ja kulla saamisel. Nad annavad ka optikatööstusele väärtuslikku islandi pagu (kaltsiiti), fluoriiti, aluniiti ja barüüti.

Niisiis, kokkuvõttes moodustavad hüdrotermaalsed leiukohad väga rikkaliku maagibaasi peamiselt värvilisele metallurgiale. Leiukohtade iseloomus on valdavaks sooneline esinemisvorm, mis seab seda tüüpi leiukohtade otsimiseks ja edukaks kaevandamiseks eritingimused. Peale ülaltoodud seaduspärasuste tekketemperatuuride ja horisontaalsuunalise paiknemise valdkonnas ilmneb teatud tsonaalsus ka seda tüüpi leiukohtade vertikaalses paiknevuses - s.t. nende lasumissügavustes, mis tuleneb rõhufaktori otsesest mõjutusest nende tekkel. Seda otsingutööde jaoks küllalt tähtsat probleemideringi käesolevas lähemalt ei käsitleta.

Magmalise tekkeviisiga maavarade kujunemise üldistav skeem on esitatud joonis 9.



Joonis 9. Eritüübiliste magmatogeensete maavaraleiukohtade paiknemine magmakolde piirkonnas.

2.1.2. Metamorfoogensed leiukohad

Metamorfoogensed ehk moondeprotsessidel kujunenud leiukohad kajastavad samuti maa siseenergia põhinevaid ainemoodustumisprotsesse maapõues. Kuid erinevalt magmaprotsessidest, kus sulavedela silikaatse sulami sissetungiga maa sügavusest kaasneb ka väärtuslike elementide täiendav juurdevool maakoorde, on moondeprotsessidel täita hoopis tagasihoidlikum osa - eelkõige

juba kujunenud leiukohtade lõpliku ilme fikseerimine maapõues. Seetõttu on metamorfoogensete leiukohtade loetelu märksa ahtam ja maavara tootlikkuse seisukohast tagasihoidlikum.

Meenutagem, et metamorfismi ehk moonde all mõistame eelkõige maapõue kivimite ümberkujunemist maa sügavuses üha kõrgenevate rõhkude ja temperatuuride mõjualal, kuid seda tahkest faasist väljumata. Sellega seoses säilitavad kujunenud kivimid - olgu nad siis algselt settelise või magmalise tekkeviisiga - oma esialgse keemilise koostise, kujundades ümber vaid selle mineraloogilise vormi. Moonde peamised protsessid, mis kõige paremini peegeldavad algselt settekivimitena kujunenud kehadel, on algkivimi maksimaalne tihenemine ja pooriruumi kaotamine, vee väljatõrjumine pooridest ja vettsisaldavatest mineraalidest (dehüdratsioon) ning aine totaalne ümberkristalliseerumine, vastavalt toimivale vertikaalrõhufaktorile. Viimase protsessi mõjul omandavad plaatja kristallkujuga mineraalid rõhtsuunalise eelorientatsiooni (kiltuse, gneissja võõndilisuse, vöödilise tekstuuri). Arusaadavalt alluvad magmakivimid üksnes viimasele muutusele - s.t. omandavad ümberkristalliseerumisel vaid osakeste eelorientatsioone. Siit tuleneb, et maavaramoodustumise seisukohast moondeprotsessides aine koostise olulisi ümberkorraldusi ei toimu - muutused avalduvad peamiselt kivimite füüsikalistes omadustes. Nii kujunevad lubjakividest marmorid, liivakividest tugevad kvartsiidid, savidest katusekattena kasutatavad kildad jne. Tõsi küll, moondel settekivimitest dehüdratiseerimisprotsessis väljatõrjutud vesi käitub maapõues kuumenenud hüdrotermina, kuid kuna tema tekkel ei osale magmakivimist eralduvate hüdrotermidega võrreldes mingeid täiendavaid metalliallikaid, on nende kuumade lahuste mõju maavarade kujundamisel üsna tagasihoidlik.

Eelnevat silmas pidades võib metamorfoogensed maavarailmingud jaotada kaheks alarühmaks:

1. Metamorfised (e. moondel tekkinud)
2. Metamorfiseerunud (e. moondel ümberkujunenud).

Metamorfised leiukohad

Metamorfsete leiukohtade puhul olid juba eespool toodud mõned näited moondel tekkivatest kivimitest, millel on rakendusväärtus eeskätt ehitusmaterjalide tootmisel. Siia võib lisada veel mõned grafiidi, asbesti ja talgilasundid, mille formeerumiseks on moone vähemasti eeldusi loonud. Arusaadavalt on kõik nimetatud leiukohad säilitanud algkivimile iseloomuliku lasunditüübi - s.t. on enamasti kihilised või laugelt läätsjad lasundid, mõnikord küll ka tektooniliste protsesside poolt muljutud või üksikplökkideks hakitud. Iga niisugune leiukoht vajab konkreetset uuringut ja mingit üldisemat seaduspära on siin raske esile tuua.

Metamorfismil tekkinud spetsiifilise leiukoha näiteks võiksid olla nn. alpiinsed sooned, mis kujutavad endast kivimite moondel tekkinud tühikuid, kuhu vabanevate vete poolt kantakse ümbriskivimist lahustatud ühendeid, mis vaba ruumi tõttu siin aegamööda välja kristalliseeruvad ja sageli ideaalilähedasi kristallivorme moodustavad. Niisugused alpiinsed, tavaliselt läätsja kujuga ja teistest lõhedest isoleeritud tühikud võivad anda hinnalisi vääriskive, enamasti aga siiski vaid läbipaistvat mäekristalli (kvartsi), fluoriiti või krüsootiil-asbesti. Siingi ilmneb selgesti, et alpiinsed sooned sisaldavad eelkõige ümbriskivimi "kristallograafilisi puhastusprodukte", andmata olulist lisa väljastpoolt toodud komponentide baasil.

Metamorfiseerunud leiukohad

Metamorfiseerunud leiukohad annavad maavarakasutusse seevastu hoopis kaalukama panuse. Tõsi küll, siin on hädatarvilikuks eelduseks maavaraku hje algne olemasolu - selle sattumine mingi kivimimassiivi koostises moondeprotsesside mõjuvälja toimib üksnes rikastusvabrikuna. Siin on parimaks näiteks eelkambriumist pärinevad rauakvartsiitide formatsioonid, mis annavad tänapäeval põhiosa toodetavast rauamaagist (Krivoi Rog, Kurski magnetanomaalia, Ülemjärved USA-s, Hingan Hiinas ja paljud teised). Kunagistes proterosoikumil meredes kuhjunud, küll hiiglaslikud, kuid suhteliselt lahjad settelised rauamaagid, on moondeprotsessis tihenunud, muutunud kõrge sisaldusastmega ja hästi rikastatavateks maakideks, mille tööstuslik kaevandamine on hõlpus. Põhimõtteliselt samatekkeline rauamaag on olemas Eestiski Jõhvi magnetanomaalia näol. Ka jaspistega põimivate mangaanimaaikide puhul on täheldatud samalaadseid ümberkujunemisi, kuigi need on märksa harvemad. Mõnel juhul kujundab moone ümber koguni maavara kasutamist starbe - alumiiniumimaagina kasutatavast boksiidist võib kujuneda hoopiski abrasiivina rakendamist leidev korundilasund jne. Loomulikult on enamasti niisugustest leiukohtadest unikaalsed, s.t. peaaegu kordumatud, iga piirkonna geoloogilise ehituse eripärast sõltuvalt. Seetõttu ei saa ka metamorfiseerumisprotsessis kujunevate maavarade puhul erilisi üldistusi anda.

Kokkuvõtteks tuleb öelda, et moondeprotsesside osakaal maavaramoodustumisel on üsna tagasihoidlik ning seetõttu pole moondekivimite levialal erilist mäetööstuslikku potentsiaali oodata. Seda näitab kujukalt ka meie põhjanaabri Soome kogemus, kus, vaatamata paiknemisele eelkambriumi kilbil, on tootmisväärsed maavarasid üsna vähe. Seesama asjaolu on ka Põhja-Eesti aluskorra maavaradevaesuse peapõhjuseks.

2.2. Eksogeensed leiukohad

Eksogeenseid maavaraleiukohti kujundavad maapinnal või selle läheduses kulgevad geoloogilised protsessid. Nende nähtuste peamine energiaallikas on Päike, mis toimib nii otse kui ka kaudsete mehhanismide abil. Pinnalähedasi tingimusi iseloomustavad maapõuega võrreldes tunduvalt madalamad temperatuurid ja eriti rõhud, seetõttu on protsessid reeglina ka kiiremad, sageli inimtegevuses tajutavadki. Peamised keskkonnafaktorid on õhk (gaasiline), liikuv vesi, jää, orgaaniline aine ja muidugi ka kõikjal avalduv gravitatsioon, mis paneb lahtised aineosakesed liikuma alati kõrgemalt allapoole.

Ajaloolises järjestuses on eksogeneesiprotsessid vaadeldavad eelkõige varemkujunenud magma ja moondekivimite murendajana ja lõhkujana, nende lagundamisel tekkinud liikuva aine sorteerijana ja ümberpaigutajana ning laguproduktide ümberkuhjamise teel uute kivimimassiivide tekitajana. Loomulikult tekib selles tegevuses hulgaliselt inimesele vajalikke moodustisi - maavarasid. Maapinnalähedase paiknemise tõttu on nad majandustegevuseks hõlpsasti kättesaadavad ja seetõttu ehk endogeensetest maavaraleiukohtadest üldjoontes tähtsamadki.

Eksogeneesiprotsesside loogilises reas võime eraldada kaks põhilist etappi, millele vastab ka kaks maavaraleiukohatüüpi:

1. Murenemisel tekkivad leiukohad e. murendmaardlad
2. Settimisel tekkivad leiukohad e. settelised maardlad.

2.2.1. Murendmaardlad

Teatavasti toimub süvakivimite murenemine maapinnal kahel põhimõtteliselt erineval viisil - mehaanilisel lagunemisel (rabenemisel) ja keemiliste muutuste teel (porsumisel). Seejuures leiab aset murendi selekteerimine - püsivamad ja väheliikuvad komponendid jäävad kohale, lahustuvad ja liikuvad viiakse süsteemist välja või paigutatakse eemale. Murendmaardlatena vaadeldaksegi peamiselt paigalejäävaid ainemasse. Nende seas eristatakse kolme alatüüpi:

1. purdmaardlad
2. jääkmaardlad
3. infiltratsioonimaardlad.

Purdmaardlad

Purdmaardlad kujunevad peamiselt murenemisprotsessidele vastupidavatest komponentidest, mis vabanevad algsest kivimist nende füüsikalisel rabenemisel või osakesi liitvate vähempüsivate komponentide lagunemisel ja järk-järgulisel ärakandel. See maardlatüüp ei ole eriti sage ja ei anna tavaliselt suurte varudega maavaraleiukohti. Nii võib murend suhteliselt rikastuda raskete ja lahustumatute kulla- ja platinaterakestega (Uural), haruldasi elemente sisaldava monatsiidiga (USA), mõnikord harva ka kolumbiidi, kassiteriidi või mõne muu püsiva mineraaliga. Enamasti kujuneb niisugune maavaraleiukoht siiski vaid juhul, kui murenemine toimub kivimitel, mis on algsest juba rikastunud ülalnimetatud mineraalidega. Murenemisprotsess toimib siin vaid rikastajana. Mõnikord on sedasorti maavaraks puhas kvartslüügi, mida saab kasutada klaasi- või vormivaluliivana (Lazareti leiukoht Uuralis).

Purdmaardlad võivad kujuneda nii algse aine paigalejäämisel (eluviaalsed leiukohad) kui ka piki mäenõlvasid allavarisenud ja ajutiste veevoolude poolt veidi ümberpaigutatud kuhjetena (deluviaalsed leiukohad). Üldiselt on nende tööstuslik potentsiaal väike.

Jääkmaardlad

Jääkmaardlad mängivad murendmaardlate peres märksa tähtsamat rolli - mõnede metallide, näiteks Ni ja Al puhul, ehk isegi otsustavat. Nad moodustavad nn. murenemiskooriku - pudeda peenhajusa savimassi, mis sügavuse suunas läheb justkui sujuvalt üle murenemata lähtekivimiks. Erinevalt purdmaardlatest on selle saviaine kujunemisel otsustav osa olnud algineraalide keemilisel lagundamisel, millest sademeteveega on eemaldatud vaid kergesti lahustuvad leelis- ja

leelismuldmetallid, järelejäänud savimassis aga kuhjunud väheliikuvad elemendid ja nende ühendid - SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , HgO_2 jt. Sademetevee püsival juuresolekul tekivad vettsisaldavate molekulidega ühendid - eeskätt savimineraalid. Savises murendis moodustubki valge kaoliinsavi $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (portselanitoore), alumiiniumi hüdroksiidid bömiit, diaspoor või hüdrargillit (boksiitsed Al-maagid), iseloomulikud nn. "raudkübarad" või "klaaspead" - oksüdeerimisprotsessides tekkinud Fe ja Mn maagikuhjed. Ultraaluselistes kivimites haaratakse kujunevate savimineraalide koosseisu suured hulgad Ni ja Co, mida sealt on võimalik tööstuslikult toota. Loomulikult sõltub jääkmaardlate teke tugevasti nii lähtekivimite iseloomust kui ka murenemise kliimaatilistest tingimustest. Otsustavat osa mängivad siin hapendumine, hüdratatsioon ja hüdroolüüs ning leandumine ja lahustuvate komponentide ärakanne. Alahinnata ei tohi ka reljeefi osa - see peab olema suhteliselt tasane, et rikkalikud murenemist soodustavad vihmaveed ei kannaks jõgedesse ka tekkivaid peeni saviosakesi. Jääkmaardlate formeerumine toimub kõige intensiivsemalt troopikas - niisuguste leiukohtade olemasolu viitab vastavale olustikule ka geoloogilises minevikus.

Jääkmaardlate kuju on reeglina korrapäratult kihilaadne või läätsjas, sageli väga ebatasase alumise pinnaga, mille põhjuseks on harilikult emakivimis esinevad lõhesüsteemid. Võiksime nimetada neid kateteks.

Nagu öeldud, on jääkmaardlatel otsustav osa Al, Ni ja Co ning kaoliini tootmisel. Võimalikud on ka Fe-, Mn- ja isegi fosforimaagid, kuid need on vähemtähtsad ja mõnikord isegi segavad.

Infiltratsioonimaardlad

Infiltratsioonimaardlad on murendmaardlate erijuhtumiks, mis on kujunenud murenemisvööst eralduvate lahuste tungimisel lähikonna poorsetesse kivimitesse. Niisiis teeb aine siin läbi teatud transiidi, lähenedes seetõttu juba enam settelistele leiukohtadele. Siiski on see tee väga lühike ja, pealegi, neist lahustest väljasadestuv aine ei moodusta reeglina iseseisvaid kivimikihte, vaid täidab mõne teise tühikuterikka kivimi vaba ruumi. Nii rändavad ümbriskivimitesse Fe, Mn, Cu, V, U, P, mõnikord moodustuvad ka kipsi, boraatide, magnesiidi ja optilise kaltsiidi leiukohad. Metallidest on tegemist peamiselt valentsimuutvate elementidega, sest murenemisprotsesside keerukates oludes vahelduvad oksüdatsioonitingimused väga järsult, viies muutliku oksüdatsioonivõimega elemendi kord liikuvasse, kord väheliikuvasse vormi. Üldtuntud on see nähtus rauaühendite puhul, kuigi infiltratsioonimaardlad selle maakooses nii laialt leviva elemendi suhtes erilist tähtsust ei oma. Kõige olulisem on see maardlatüüp vase jaoks, mida suhteliselt hästilahustuva ühendina vabaneb vulkanogeensete kivimite murenemisel üsna suurel hulgal. Imbudes liivakividesse, milles on eelnevalt karbonaatset tsementi, toimub vase intensiivne väljasadestumine lahustest ja vaseliivakivi lasundite moodustumine. Oma osa mängib siin ka orgaaniline aine - kivimites leiduvate taimejäänuste või bituumsete ühendite olemasolu soodustab samuti vaseühendite väljalangemist. Vask sadestub välja enamasti hapnikkusisaldavate ühenditena (malahhiit, asuriit, kupriit). Maagid on tavaliselt hajusad tüüpi, kuid moodustavad ulatuslikke kihilisi või läätselisi vööndeid, mille piires esineb rikkamaid maagipesi, konkretsiione või iseseisvaid vahekihtegi. Tuntud on leiukohad New Mexico osariigis USA-s ja Boliivias.

Üsna analoogilisi leiukohti annab ka vanaadium, mida sageli saadavad uraan ja raadium. Nemadki migreeruvad peamiselt sulfaatidena ning redutseeritakse väheliikuvaks karbonaatide ja orgaanilise aine toimel. Iseloomulik on nende elementide seos tumedaid orgaanikarikkaid savivahekihte sisaldavate kivimitega.

Peale metallide võivad infiltratsioonilisel teel formeeruda mõned fosforiiditüübid (kontaktil lubjakividega), kipsi, boraadi või magnesiidilasundid. Kõik need ilmingud on aga äärmiselt individualiseeritud ning ühiseid tekkeolukordi on siin raske esile tuua.

Kõik nimetatud leiukohatüübid lähenevad oma vormilt katetele - nad on korrapäratult-kihilised, rõhtsuunas väljavenitatud, kuid allosas taskulaadsete süvenditega lasundid. Nende formeerumiseks peavad ümbriskivimites toimuma järsud muutused - enamasti ilmuma mingi uus reaktsioonivõimeline komponent, näiteks lubiaine, mis lahuste suhtes toimib sadestajana. Niisugust järsku keskkonna kemismi muutust nimetatakse üldjuhul geokeemiliseks barjääriks ja just infiltratsioonimaardlate puhul toimib see väga ilmekalt.

Infiltratsioonimaardlate eritüübiks võime nimetada ka sekundaarset rikastusvööndit mõnedel sulfiidsetel (hüdrotermaalsetel) maagimaardlatel. Eriti ilmekad on nad vaseleiukohtades, kus murenemisel lahustesse läinud oksüdeeritud vask uhutakse vihmavetega tagasi pinnasesse. Siin redutseeruvad tema ühendid uuesti ning setitavad oma lahustunud vasekogumi taas välja. Teatud

sügavuses võib algmaagi peale tekkida niiviisi algsest märksa rikkam teisene maagikiht, mida mõnikord ainsana leiukohas toodetaksegi. Sekundaarsete rikastusoreoolide teooria on tänaseks põhjalikult läbi töötatud ja keerukates maagileiukohtades on selle tundmine hädavajalik.

2.2.2. Settelised leiukohad

Erinevalt murendmaardlatest, mis kujunevad lähtekivimi lagunemiskohal või selle vahetus naabruses, kantakse suur osa peenestunud materjalist peamiselt vihma- või vooluvete poolt minema. See osa purustatud kivimist teeb läbi pika transiidi, koondudes alguses niredena ojakestesse, sealt jõgedesse-järvedesse, lõpuks meredesse-ookeanidesse ja seal, keemiliste protsesside toimel või vee elavjõu raugedes, veekogude põhjasetetesse. Loomulikult sorteerub murend sel pikal transporditeel, rikastub mõne väärtusliku komponendiga ja moodustab aeg-ajalt maavaradena arvessetulevaid settelasundeid. Transportki toimub mitmel viisil - mööda jõepõhja edasi veeretatava murendina, lahustunud ioonidena vee koostises, imepeene hõljumina jõevees, tuulest kantud osakestena või koguni organismide koostisosana. Selle materjalivoo peatamiseks on mitmeid viise, alates otsesest raskusjõust transportiva keskkonna energiataseme alanemisel, keskkonna kemismi järskudest muutumiskohtadest (geokeemilistest barjääridest) kuni organismide toitumisahelatesse sisenemiseni ja siit omakorda, nende surma järel näiteks, merepõhjale langemiseni. Kõik see moodustab settimisprotsessi keeruka süsteemi, mille piires maavarade kujunemist jälgides tuleb need nähtused jagada erinevateks allsüsteemideks. Eristataksegi järgmisi põhitekkeviise ja neile vastavaid leiukohatüüpe:

1. mehhanogeensed
2. kemogeensed
3. biogeensed

Mehhanogeensed settelised leiukohad e. puistmaardlad

Pudeda murendi esmaseks sorteerijaks on voolav vesi - eelkõige ajutised tugevad vihmahood ja nendele kaasnevad voolunired järskudel nõlvadel, mis edaspidi koonduvad kiireteks mäestikujõgedeks. Vooluvesi töötleb murendit kaalu järgi - suurem ja raskem jäetakse paigale, peenem ja jõukohasem kandub mööda vooluteed allapoole. Jõgede ülemjooksul moodustuvad veeristikulademed, voolukiiruse vähenedes laiemates voolusängides alul kruusakuhjed, hiljem väljapeetumad liivalasundid. Kõik need on ju ehitustegevuses kasutatavad maavarad, mõned eriti hinnalised, näiteks sobiva suurusega veeristik raudteetammide tarvis. Loodus on siinkohal inimese eest teinud olulise purustamise, ümardamise ja sõelumistöö. Peenem, suurte jõearterite poolt tasandikele kantav materjal on majandustegevuses vähemväärtuslik - üha alaneva sorteerimisastme tõttu leiame nende seast vaid saviseguseid ja vähevajalikke materjale.

Toodud näide demonstreeris materjali sorteerimist suuruse järgi. Sama toimub jõgedes ka osakeste erikaalu järgi. Tuntud on plaatina- ja kullaliivade teke kiirevoolulistes jõgedes, kus rasked plaatina- (21,5 Mg/ m³) ja kullaterad (19,3 Mg/ m³) järk-järgult puhastatakse kaasnevast kergemast kvartsi- või päevakivirikast (2,7 Mg/ m³) liivalisandist. Tõsi, see protsess ei kulge kusagil lõpuni, kuid niisugune looduslik rikastumismehhanism viib ikkagi väärismetallide kergemale kättesaadavusele, mille inimene ise oma masinatega lõpuni viib. Samal viisil kujunevad teistegi mineraalide - volframiidi, kassiteriidi, monatsiidi, tsirkooni, ilmeniidi, granaadi ja teemandi kuhjed. Niisuguseid maardlaid nimetatakse puistmaardlateks. Vormilt on nad enamasti kihilised või õigemini lamedad läätsjad kehad, mis on orienteeritud piki jõeorge. Nad ei ole eriti rikkalike varudega, kuid nende üksiklasundeid võib olla jõeorus ridamisi. Puistmaardlaid annavad ainult maapinnal keemiliselt väga püsivad mineraalid ja sedagi vaid neil juhtudel, kui ülemjooksu pool avanevad jõeoru kallastel nende mineraalide rikkad kivimid. Reeglina on puistmaardlad väga noored geoloogilised moodustised, sest vanemates setendites ei olnud kontinentaalse tekkeviisiga lasunditel hilisemate kulutusprotsesside tõttu erilisi šansse säilida. Mõned neist on siiski teada: Witwaterstrandi eelkambriumilised kuldasisaldavad konglomeraadid Lõuna-Aafrikas, permi-karboni vanuselised kullaliivad Austraalias, juuraaegsed Jakuutias jt.

Jõeorgude puistmaardlad on tööstuslikult tähtsad. Nad annavad tänapäevalgi umbes 25% maailma kullatoodangust, põhiosa plaatinast ja teemandidestki.

Peale jõeorgude kuhjuvad rasked mineraalid sageli ka mererandadel, kus nendega rikastumine toimub lainetuse toimel. Siingi on teada kulla puistmaardlaid (Alaska), teemandikuhjeid (Aafrika), monatsiid-ilmeniit-rutiiliseid puisteid (Brasiilia).

Kuid ülalvaadeldud maagileiukohtade kõrval annab materjali mehaaniline sorteerimine transporditeedel, ja eriti mererannal, ka rea igapäevasemaid maavarasid. Meenutagem kasvõi saviosakestest äärmuseni puhastatud ehitusliiva, mille mõned erimid sobivad isegi klaasi tootmiseks (Piusa Eestis). Mõnevõrra tinglikult tuleb mehhanogeensete maavarade hulka lugeda ka savilasundid, mis moodustuvad veekogudesse kantud peenest heljumist kaugemal aktiivse lainetuse või vooluvee mõjuvõõndist. Tinglikult tuleb savide puhul mehhanogeneesis rääkida seetõttu, et nende osakeste sadestumisel ei mängi rolli üksnes gravitatsioonilised ja hüdraulikalised nähtused, vaid sageli lisanduvad siia veel keerukad kolloidsed ja teised füüsikalise-keemilised protsessid.

Savidest rääkides tuleb rõhutada, et kõige väärtuslikum savierim on kahtlemata valge kaoliin, mis kujuneb üksnes murendmaardlates. Kuid osa tema hinnalisest komponendist - savimineraal kaoliinidist - kandub vooluvetega ka murenemisalast kaugemale. Meredes ei ole kaoliiniit püsiv ja seetõttu annab meri vaid kergsulavaid, lihtkeraamika tootmiseks sobivaid savierimeid, sageli küll hiiglaslike lasunditena (Eesti kambriumi savi). Paremaid savisid, märgatava kaoliinidisisaldusega nn. raskulavaid erimeid, võime leida vahepealsetes olukordades, kunagistes merelahtedes või koguni järvedes. Eesti oludes teame neid devoni liivakividega vahelduvates läätsedes.

Niisiis annab murendi mehaaniline sorteerimine küllalt mitmekesiseid maavarasid. Sel teel tekkinud leiukohtade ühiseks jooneks on nende esindatus tüüpiliste settekivimitena, millele teatavasti on omane rahulik rõhtsuunaline lasumusvorm. Enamasti on need horisontaalsuunas väljapeetud kihid, suhteliselt tagasihoidliku paksusega, kuid siiski suurte varudega. Vaid mõned puistmaardlad kiilduvad orutäidetes horisontaalsuunas üsna kiiresti, moodustades niiviisi pigem läätsjaid kehaskid.

Kemogeensed settelised leiukohad

Selle leiukohatüübi moodustab murenemisprotsessis tekkinud ja vees lahustunud aine, mis murenemispaigast veevooludega väga kaugele kantakse. Teel segunevad mitmest piirkonnast lähtuvad ainevoolud ning seetõttu ei saa me konkreetsete leiukohtade puhul tavaliselt rääkida ka konkreetsest lähtealast või emakivimist. Ühe või teise lahustunud komponendi sadestumine tahkesse settesse toimub enamasti rahuliku režiimiga veekogudes - järvedes, meredes, laguunides või siis kohtades, kus keskkonnatingimused vees järsult muutuvad - nn. geokeemilistel barjääridel. Niisuguste näidetena võib nimetada põhjavee väljumiskohti maapinnale, kus vette ilmub tugev hapendaja hapnik, üleminekut mageveest jõesuudmes merre, kus järsult suureneb soolsus, külmade süvahoovuste tõusmist mandrinõlvale, kus leiavad aset suured temperatuuri- ja gaasirežiimi muutused, merevee üleminekut madalatesse soojaveelistesse laguunidesse, kus reeglina tõuseb soolsus jne. Just need sõlmpunktid mõjutavad lahustena kantavate aineühendite püsivust vees, mistõttu leiabki teatud tingimustel aset aine väljasettimine veest suurel hulgal - seega ka mitmete maavaralasuundite tekkimine.

Mõistagi on eri ainete lahustuvus väga erinev - seetõttu toimub pikal veekandel ka ainetüüpide sorteerumine peamiselt just lahustumistingimuste toimele. Seda elementide sorteerumist settekivimite moodustumisprotsessis nimetatakse lähteaine keemiliseks diferentseerumiseks. Ent keemilised elemendid võivad vees eksisteerida mitmesuguste ühenditena, millel on erinev lahustuvus, näiteks Fe^{2+} ja Fe^{3+} , SO_4^{2-} ja S^{2-} , CO_3^{2-} ja HCO_3^{1-} , pealegi võivad nad vette sattudes moodustada nii lihtsaid ioone kui ka sageli keerukaid kolloidlahuseid, eriti orgaanilise aine osavõtul. See teeb ainete teekonna eksogeensetes protsessides üsna komplitseerituks, mistõttu väga lihtsaid ja üldarusaadavaid kujunemisskeeme realiseerub looduses harva.

Lahustuvuse järgi on peamiste kivimoodustajate elementide rida üsna selge. Kõige raskemini lahustuvad on Al-ühendid ja seetõttu see element ka peaaegu ei kandu murendist välja või paigutub ümber üksnes murenemisala vahetus läheduses (kaoliinsavid, boksiidid). Talle järgneb Fe, mis kolmevalentse oksüdeerunud ioonina on samuti väheliikuv ("raudkübarad" murendil). Mõnevõrra hõlpsamini lähevad lahustesse Mn, P ja isegi SiO_2 , mis soodsatel asjaoludel kanduvad algmurendist kaugemale, harva siiski suuremate merebasseinideni. Leelismuldmetallid Ca ja Mg on veelgi liikuvamad, rääkimata leelismetallidest Na-st ja K-st ning neid saatvatest Cl- ja sulfaationist. Just viimatimainitud ühendid kanduvad kaugemale maailmamerre, suurendades järk-järgult selle soolsust (praegu 3,5%) ja olles veel kaugel merevee nendega küllastamisest - s.t. loomulikust väljasadestumisbarjäärist.

Selle lihtsustatud üldskeemi taustal on aga olulisi kõrvalekaldeid. Nii omandavad kahevalentseks redutseeritud Fe ja Mn hapnikuvaestes vetes märksa suurema liikuvuse, Ca- ja Mg-ühendite puhul mängib nende karbonaatühendite lahustuvuses olulist rolli süsihappegaasi olemasolu vees, K puhul sorbeeritakse aga suur hulk elemendist teel moodustuvate savimineraalide koostisesse, mistõttu ookeanidesse jõuab kaaliumi liiga vähe. Siit näeme, et peale otsese lahustuvusnäitaja mängib aine

keemilisel jaotumisel maakooses olulist osa veel lahusti iseloom, selles sisalduvad gaasid ja nende olemasolu reguleeriv orgaaniline aine, muidugi ka temperatuur ja teataval määral isegi rõhk. Kõik need tegurid võivad eksogeneesivöös väga kiiresti ja drastiliselt muutuda, seetõttu on neid ka maavarade kujunemise seaduspärasuste mõistmiseks hädatarvilik tunda. Laskumata nende protsesside keerukusse, püüame siinkohal anda vaid äärmiselt üldistatud ettekujutuse olulisemate kemogeensete maavarade iseärasustest.

Väheliikuv Al ei anna reeglina keemiliselt sadestunud leiukohti - tema maardlad - boksiidid - on enamasti murendmaardlate jääkosa, mille kujundamisel osalesid keemilised protsessid eelkõige teiste komponentide eemaldajatena. Tõsi küll, mõne boksiidimaardla puhul (Uuralis, Kasahstanis) oletavad mitmed geoloogid ka keemilist Al-ühendite ümberpaigutumist maardla piires, kuid see ei anna veel alust rääkida leiukoha kemogeenselt tekkeviisist tervikuna.

Suuri kuhjeid eksogeneesivöös annab aga Fe. Ta muudetakse murenemiskoorikus osaleva orgaanika toimel sageli kahevalentseks, mistõttu suur hulk temast läheb lahustesse ja dreenitakse jõgedesse. Püsimine kahevalentsena on Fe puhul väga piiratud - soodsamad on need tingimused vaid hapnikuvaeses põhjavees, mille toimel mõnikord moodustub isegi maavarana arvestatav sideriidi (FeCO_3) tsement kivimis. Pinnalähedastes tingimustes oksüdeeritakse Fe kiiresti tagasi kolmevalentsesse vormi ja vees tekivad peened Fe-hüdroksiidi helbed. Peene heljumina võib see pihustunud tahke faas kanduda siiski võrdlemisi kaugele. Olulisem on aga ehk veel see, et nendele osakestele kleepuvad sageli orgaanilise aine (humiiinhappe) kolloidid, mis kaitsevad rauaoksiidi helbeid edasise liitumise (koagulatsiooni) eest ja tagavad neile pikaajalise veespüsümise. See toimub eriti hästidreenitavate soode piirkonnas - vesi on neis ju alati pruunikas ja hägune. Tänu niisugusele kaitseviisile võib vesi rikastuda rauaühenditega ja viia neid mereni. Muidugi võib see kaitsemehhanism teel ka nõrgeneda ja nii võib rauaühendite väljalangemine tulevaste maakidena leida aset jõeorudes, sagedamini järvedes ja mõnevõrra harvemini madalmeredes. Nii moodustuvadki jõelised, järvelised ja merelised läätsjad, sageli üksteisest lahutatud rauamaagilasundid. Nende ühiseks jooneks on esindatus vettsisaldava rauaoksiidi - hüdrogöiidiga ("pruunraua maak", ooker) ja maagiterade eristumine kolloidide vananemisel tekkinud ümarterade - ooliitide, ubajate moodustiste või korrapäratute mugulkonkretsioonidena. Need maagid on enamasti raskesti rikastatavad, madala rauasisaldusega (nn. "lahjad"), kuid siiski sagedasti esinevad ja ka märkimisväärsete varudega (Kertši rauamaagid Krimmis, Clintoni - USA-s, Lotringi - Prantsusmaal jt.).

Üsna analoogiliselt käituvad ka Mn-ühendid, mis annavad mangaanimaagilasundeid järvedes ja madalmeres. Maagid on siingi algselt oksiidid - psilomelaan, pürolusiit, manganiit, diogeneesil aga komplitseerudes rodokrosiidi ja manganokaltsiidiga. Erinevalt Fe-maakidest on ooliitne ja ubajas ehitus Mn puhul harvemini esinev, valdavalt on tegemist musta muldja või mugulja maagimassiga. Tuntumad leiukohad on Tsiaturi Kaukaasias ja Nikopoli Ukrainas.

Mõlema, analoogiliselt käitava elemendi puhul tuleb rõhutada ka üht olulist erinevust nende vahel. Nimelt on Fe kõrge klgiga element maakooses (~5%), seetõttu on tema leiukohad ka sagedasemad. Madala keskmise sisaldusega Mn annab tööstuslikke kontsentratsioone vaid erandlikes olukordades ja enamasti eeldusel, et lähikonnas avaneb rohkesti Mn-rikkaid lähtekivimeid (vulkaniite).

Vajab veel märkimist, et nii Fe- kui Mn-maakide kujunemise puhul arvatakse oluline osa olevat ka mitmesugustel mikroorganismidel, erilistel rauabakteritel, mistõttu nende keerukas formeerumismehhanism ei pruugi olla sugugi puhtalt keemiline.

Järgmine element Si on samuti piiratud liikuvusega, kuid läheb lahustesse, vastupidiselt paljudele teistele, just leeliselise reaktsiooni valdamisel. Taoline olukord tekib looduses harva, seetõttu kemogeense SiO_2 lasundid on vähelevinud ja tööstuslikult tähtsusetud. Protsessil on pigem teoreetiline tähendus - osa lahustunud ränist kandub siiski maailmamerre, kus ta annab lähteainet ränikodasid moodustavatele organismidele (diatomeevetikad, radiolaarid jt. - vaata biogeensed settelised leiukohad). Teisest küljest - varases geoloogilises minevikus olid keskonnatingimused ränikivimite keemiliseks tekkeks ilmselt soodsamad - sellest annab tunnistust omapäraste räni- ja rauaühendite - nn. rauakvartsiitide laiaulatuslik formeerumine proterosoikumis. Tänapäeva meresetetes esinevad kemogeensed räniühendid pigem isoleeritud üksikvormide - katete, konkretsioonide ja mugulatena, mis on tekkinud aine ümberjaotumise teel diogeneesil. Tähendust maavarana nad praegu ei oma, ürginimesele olid tugevate tööriistade valmistamiseks kiviajal aga hädatarvilikud.

Fosfor on samuti piiratud lahustusvõimega element ning olulisi tööstuslikke kontsentratsioone puhtkeemilisel teel ei kujunda. Pigem osaleb temagi diogeneetilistes protsessides, moodustades

õhukesti kilesid ja katteid katkestuspindadel, samuti konkretsioonilisi mugulaid või isegi vahekihte. Harukordsetel juhtudel võivad need tugevamini tsementeerunud setteosised ümbriskivimitest välja uhtuda ja uutesse lasunditesse ümber paigutada, moodustades teiseseid fosforiite (Podoolia). Siiski on siin pigem otsustavaks faktoriks protsessi lõpetav mehaaniline, mitte aga keemiline tegur.

Elusorganismidele vajaliku elemendina haaratakse lahustuv fosfor innukalt taimedesse, sealt satub ta loomadesse ning lõpuks märkimisväärsel hulgal ka meredesse. Seal hakkab ta osalema keerukates biogeokeemilistes protsessides, mis viib tõeliste fosforiidilasundite kujunemisele.

Keemilised protsessid mängivad kõige otsustavamalt osa just hästilahustuvate elementide puhul. Mahult tähtsamad on siin kahtlemata Ca ja Mg, mis moodustavad laialt levinud lubjakivide ja dolomiitide lasundeid. Mõistagi on nende seas maavaradena kasutatavaid väärtuslikke erimeid - eelkõige ehituskivina või killustikuna, vähem tehnoloogilise toormena tarbitavaid. Karbonaatkivimid kuhjuvad peamiselt madalates ja soojades šelfimeredes, kus mandrilt karbonaatidena saabuvad Ca- ja Mg-ühendid vee aurumise ja süsihappegaasi eemaldumise teel lubihelvestena merepõhja sadestatakse. Lubimuda kõvastubki lubjakiviks ning, sõltuvalt temasse lisanduvast savi- või liivahulgast, omandab vajalikud parameetrid maavarana kasutamiseks. Siinjuures on täheldatav oluline erinevus Ca ja Mg vahel. Mg otseselt mereveest ei sadene. Tema lahused hakkavad toimima alles settesiseselt, kutsudes esile lubjakivide dolomiidistumise - s.o. algse kaltsiitse (CaCO_3) lubjasette muutumise Ca-Mg kaksiksoolaks, mineraal dolomiidiks ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$). Kivimi ja mineraali nimetuse kattuvuse vältimiseks on tekkivat kivimit parem nimetada dolokiviks. Dolomiidistumise kulg ja intensiivsus sõltuvad mitmesugustest teguritest, üheks olulisemaks neist on merevee suurem soolsus, teisisõnu, lahustunud Mg üldhulk. Seetõttu formeeruvad dolomiidid sagedamini normaalsoolsusest kõrgema soolsusega basseinides ja põimuvad tihti laguunides tekkinud soolalasundiga. Erinev kujunemisviis ei too aga lahknevasi lubjakivide ja dolokivide lasumusvormidesse. Laialdase kujunemisala tõttu moodustavad mõlemad kiviümbid horisontaalsuunas väga väljapeetud lasundeid - enamasti kihte või väga laugjaid läätsi, mida on hõlpus kaevandada nii all- kui pealmaaviisil.

Lubja- ja dolokivi tööstusliku kasutamise näiteid pole tarvis kaugelt otsida - neid on Eestiski piisavalt.

Nimetatud maavaratüübi, eriti lubjakivide puhul, tuleb aga rõhutada, et puhtalt kemogeenseid tüüpe kohtame nende seas haruharva. Tavaliselt kombineerub nened kujunemine biogeense tekkeviisiga: samas basseinis elavad loomad, aga ka vetiktaimed, moodustavad endale lubiainest kodasid, siseskelette ja muid väliseritiisi, mis pärast nende surma merepõhja langevad, osalt säilides, osalt aga lahustudes ja pehme sette sees ümber paigutudes. Niisiis tuleb lubjakivide puhul enamasti rääkida nende bio-kemogeensest tekkeviisist. Mg organismid oma skelettides ei tarbi, niisiis on dolokivide kujunemine nn. pealepandud ehk settesisese diogeneesi protsess.

Tõelisteks keemilise tekkeviisiga maavaradeks on soolalasundid (evaporiidid). Neis osalevad kõige lahustumisvõimelisemad katioonid Na, K, Ca, Mg ja anioonid SO_4 , Cl. Soolade varud on maailmameres ammendamatud, tarvis on vaid temperatuurimehhanismi, mis viiks nende ühendite küllastumise ja väljasadestumiseni - seega veemassi tugevat aurustumist. Niisugused tingimused kujunevad soojade merede äärealadel, eriti viimastest mingi veealuse barjääriga eraldatud laguunides. Juurdepääs merelt on siin sageli piiratud ja ühesuunaline - merelt lisandub soolast vett, mis laguunis pidevalt aurustub ja tõstab soolade kontsentratsiooni. Järk-järgult hakkavad laguunipõhjale sadestuma vähemlahustuvad ühendid. Esimeste seas - üldsoolsuse suurenemisel 15%-ni - sadestuvad karbonaadid: kaltsiit ja dolomiit. Soolsuse vahemikus 15-27% lisandub neile kips (CaSO_4), kõrgema soolsuse puhul haliit (NaCl), millele kontsentratsiooni edasisel tõusul järgneb sülviiin (KCl). Protsessi jätkumisel võivad sadestuda aga üpris haruldased üksik- ja komplekssoolad, boraadid ning ekstraordinaalsetes tingimustes isegi barüüt ja nitraadidki. Muidugi ei realiseeru see järjestuskeem looduses peaaegu kunagi täielikult, sest laguunide areng ei toimu ühelgi juhul ideaalselt ja pöördumatult. Märksa sagedamini taastab laguun aeg-ajalt oma ühenduse avamerega, mistõttu konkreetsetes läbilõigetes põimuvad harilikult dolomiidi-, kipsi ja kivisoolalasundid mitmesugustes kombinatsioonides. Mida püsivam ja ühesuunalisem on laguuni areng, seda mitmekesisem on selles ladestunud soolalasundite nomenklatuur. Soolade ladestumisprotsessi on tänapäeval hästi tundma õpitud. Looduses saab seda parimini jälgida näiteks Kara-Bogaz-Goli lahes Kaspia mere idarannal.

Soolalasundite kuju on, analoogiliselt teistele sette kivimitele, väljapeetult kihiline. Erijooneks on vahest nende regulaarne kordumine ulatuslikus vertikaalläbilõikes, mistõttu sageli tuleb nende kaevandamiseks rakendada allmaamenetlust. Meile lähimad soolakaevandused asuvad Karpaatides ja Valgevenes.

Nagu eeltoodust järeldub, ei olegi nn. puhta liini kemogeenseid maavaraleiukohti eriti palju. Võiksime nende reast esinduslikematena nimetada ehk madalmeres kujunenud ooliitseid rauamaake ja äsjanimetatud soolalasuundeid. Teistel juhtudel põimub nende kuhjeprotsess ühelt poolt organismide elutegevuse, teiselt poolt aga mehaanilise ümberasetamisfaktoriga. Lõpuni on tänapäeval veel avamata mikroorganismide - eeskätt bakterite - tegevus seda tüüpi maavarade kujundamisel.

Biogeensed settelised leiukohad

See setteliste maavaraleiukohtade alatüüp on äärmiselt mitmekesine ja varieerub nii ajas kui ruumis.

Niisugune asjaolu on igati mõistetav, kui arvesse võtta kiiresti evolutsioneeruva taimestiku ja loomastiku osavõttu nende maavarade kujunemisloost. Biogeensed maavarad ilmusid maakoore alles alates varapaleosoikumist, mil elustik hõivas järk-järgult alul merede veemassi, hiljem ka maismaa. Nii sai kivasüsi kujunema hakata alles maismaataimestiku tekkimisel, riffclubjakivid alles korallide ilmumisel jne. Elustiku arengulugu tundmata võib maavaraotsingute suunamisel teha suuri mõõdalaskmisi. Süvenemata selle valdkonna üksikasjadesse peatume alljärgnevalt vaid olulistel pidepunktidel.

Biogeensed ränikivimid. Teatavasti valmistavad organismid endale elutegevuse kindlustamiseks mineraalainest tugevaid osiseid, mida nende vastava funktsiooniga elavad koed suudavad haarata ka äärmiselt madala kontsentratsiooniga vesilahustest. Valdavalt on selleks lubiaine - kaltsiit, vähemal määral fosfaadid või orgaanilise päritoluga kiit. Jahedama kliimaga piirkondades, kus lubiaine on süsihappe kõrge lahustuvuse tõttu vähempüsiv, ehitavad mõned planktoonsed mikroorganismid oma koja vettsisaldavast räniaainest opaalist või kaltsedonist. Organismide surses langevad nende kojad veekogu põhja, nende õrnad osakesed purunevad, mõned tükikesed lahustuvad ning räniaine võib paigutada keemiliselt ümber. Organismide massilise esinemise korral võib neist fragmentidest merepõhjale kuhjuda väga poorne ja seetõttu kerge setend, mida nimetatakse tavaliselt tekitanud organismi nime järgi (näiteks diatomiit, radiolariit jt.). Kuid enamasti pudenevad kojafragmendid laiali ja alluvad diageneetilistele muutustele, mistõttu nende algne kandja ei ole alati üheselt tuvastatav. Seepärast kasutatakse niisuguste kivimite puhul üldmõistet treepel. Saviainega segunemise korral nimetatakse kivimit opookaks.

Biogeenseid ränikivimeid leidub alates mesosoikumist. Tööstuses leiavad nad tagasihoidlikku kasutamist. Suure poorsuse tõttu on nad hinnatavaiks adsorbentideks keemiatööstuses, mõningaid ränikivimeid kasutatakse ka tsementi koostise reguleerimiseks. Vormilt on nad tüüpilised sette kivimid - levivad enamasti kihtidena.

Eestis on biogeense ränisetendi esindajaks helevahe poorne diatomiit, mida leidub üksikute lasunditena Narva jõe alamjooksu ümbruses (Leekova soos). Praegu teda ei kasutata.

Biogeensetest karbonaatidest oli eespool juba juttu. Et loomi, kes ehitavad oma koja lubiaainest, on väga mitmesuguseid, on tüüpiderohke ka nende poolt tekitatud maavarade nomenklatuur. Nende seast leiame saviaine puhtaid korallriffe, samuti karbifragmentidest koosnevaid karplubjakiviseid, enamjaolt siiski lainetuse poolt peenestatud kodadetükikestest koosnevaid detriitlubjakiviseid. Maavaradena ongi hinnatavamad just madalveevööndis, tugeva lainetuse mõjule allunud kodade- ja detriidikuuhjed, mis on savilisandita, seetõttu väga puhtad ja sobivad mitmesugusteks tehnoloogilisteks vajadusteks - lubja tootmiseks, klaasi- ja toiduainetetööstuses, tselluloositootmisel jne. Sellesse tüüpi kuuluvad ka Eesti parimad paesordid - nn. "Vasalemma marmor" (detriitlubjakivi), Jaagarahu rifid ja Juuru lademe "rõngaspaas". Lasundid on kihilised, kuid madalmeretingimustes horisontaalselt mõnikord vähese ulatusega, tihtipeale läätsjad. Eriti korrapäratud on läbilõikes riffclubjakivid, mille levikut tuleb igal konkreetsel juhul hoolikalt täpsustada.

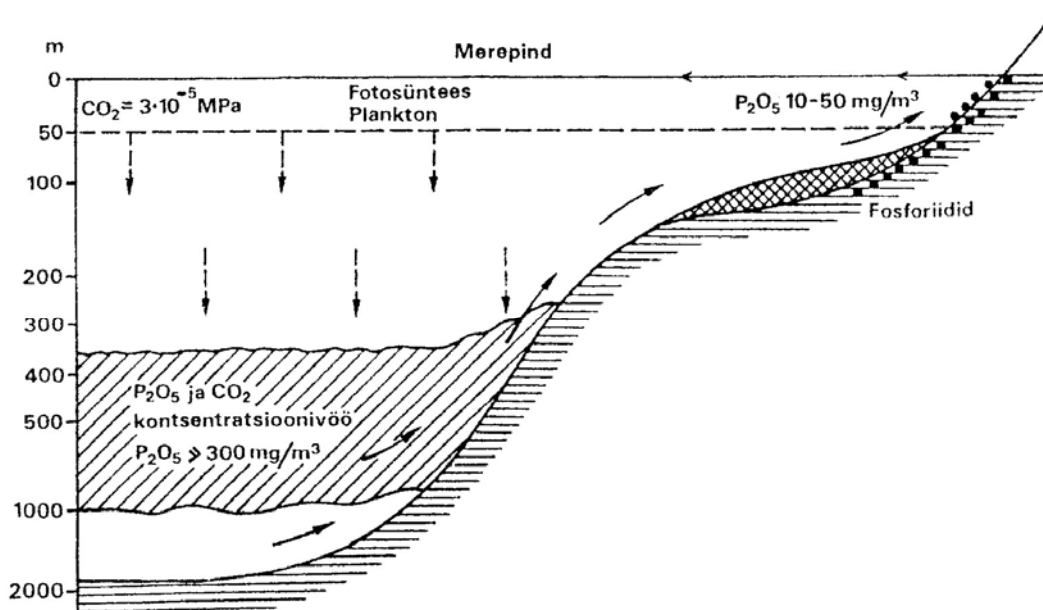
Eespool märkisime, et lubjakivid on sageli segatekkelised: peale organogeense detriidi võib neis osa lubiaainest sadestuda puhtkeemiliselt või diageneetilise ümberpaigutuse teel, samuti võib lubissetesse lisanduda märkimisväärset hulgal savi ja liiva, mandrilt mehaaniliselt kandunud murendit. Kõik see avaldab lubjakivide kasutusvaldkonnale omapoolst mõju.

Fosforiidid on valdavalt biogeense tekkeviisiga lasundid maakoores, seejuures ka hinnalised maavarad. Mõnel juhul on tekkimine organismide osavõtul ilmselge - näiteks Eesti karpfosforiidide puhul, mis moodustusid fosfaadist koda ehitanud karpide ja nende tükkide mehaanilistest kuhjetest. Kahjuks on seda tüüpi fosforiite leida üksnes kambriumi- ja ordoviitsiumiaegsetest kivimitest, sest hiljem muutus valdavaks kojaehitusmaterjaliks lubiaine. Põhimõtteliselt sama (nn. bioklastilist) tüüpi on

küll ka fosfaatsetest kalaluudest kuhjunud fosforiidi vahekihid maailma mitmetes läbilõigetes, kuid oma väheldaste paksuste tõttu ei paku need ilmingud tavaliselt tööstuslikku huvi.

Hoopis olulisema külje fosforiitide tekkeloos avab mikroorganismide tegevus. Fosfori kui elutegevuseks vajaliku elemendi haaramine elusaine koosseisu toimub suures koguses soojades meredes, eriti merevee hõljumi e. planktoni rikkaliku esinemise korral. Loomade sures ja kudede lagunedes elutegevuseks tarbitud fosfor vabaneb ja rikastab sügavamaid veekihte. Fosforirikaste veemasside tõusmisel piki mandrinõlva ülespoole võib toimuda mikroteraliste või konkretsiooniliste fosforiitide kujunemine meresetetes (joonis 10). Fosfori väljasetitamisel toimivad mitmesugused mehhanismid - uute mikroorganismide tegevus, süsihappegaasi olemasolu, temperatuurimuutused, diagenetilised ümberjaotumisprotsessid. Laskumata nende nähtuste üksikasjadesse, tuleb rõhutada, et kõige olulisem on siinjuures fosforirikaste süvamerehoovuste tõus mandrilavale, mida nimetatakse apvellinguks (upwelling). Fosforiitide lasundid on enamasti kihilised või läätsjad, harvem neist väljapestud konkretsiooniliste mugulate ebamäärased kuhjed.

Fosforiitide üheks erivormiks on linnulaatade väljaheidetest kujunenud nn. guaanofosforiidid mõnedel lõunameresaartel. Tekkeviis on siin erinev, kuid biogeenne moodustumine silmnähtav.



Joonis 10. Madalmereliste fosforiitide kujunemine P₂O₅ rikka tõusva hoovuse toimele

Biogeensete maavarade reas moodustavad tähtsaima lüli energeetikas kasutatavad põlevad maavarad e. kaustobioliidid. Siia kuuluvad turvas, pruunsüsi, kivisüsi, põlevkivi, nafta ja maagaas, ehk ka mäevaha ja merevaik. Kõiki neid maavarasid ühendab kujunemine organismide elusaine surmajärgse ümbermodifitseerumise teel ja eriti selles peituva süsiniku säilitamise näol. See protsess realiseerub looduses põhimõtteliselt kahel teel, andes erineva väärtuse ja iseloomugaprodukte. Need muutumise alatüübid on

1. sapropeelne
2. huumuseline.

Sapropeelne orgaanilise aine ümberkujunemine toimub tavaliselt veekogu põhjas - atmosfäärihapniku puudulikul osavõtul ja enamasti valgu- ning rasvarikka planktoonse vetikaflora baasil. Selles protsessis orgaaniline aine kujuneb ümber nii, et temas säilib palju süsivesikulisi ühendeid. Vaadeldavalt reall moodustuvad põlevkivid (orgaanilise aine segu mineraalainega), bituumsed moodustised, eritingimustes ka nafta ja maagaas.

Huumuseline ümbertõttus kulgeb reeglina maismaal, soodes ning viib süsiniku vabastamisele vesiniku ja hapniku molekulidest. Seda soodustab ka asjaolu, et huumuseline protsess kulgeb kõrgemate taimede jäänustel, mis sisaldavad vähe valgu- ja rasvaineid, rohkesti aga tselluloosi. Lõpuni arenev protsess viib siin peaaegu puhta süsiniku moodustumiseni. Huumuselise e. söestumise rida on olemuselt selge - sõltuvalt söestumisastmest eristatakse turvast - pruunsütt - kivisütt - antratsiiti. Viimane on allunud juba mõnele moondetegurile. Söelasundite kujunemise oluliseks eelduseks on orgaanika kiire mattumine soodes, õhuhapniku piiratud juuresoleku tingimustes.

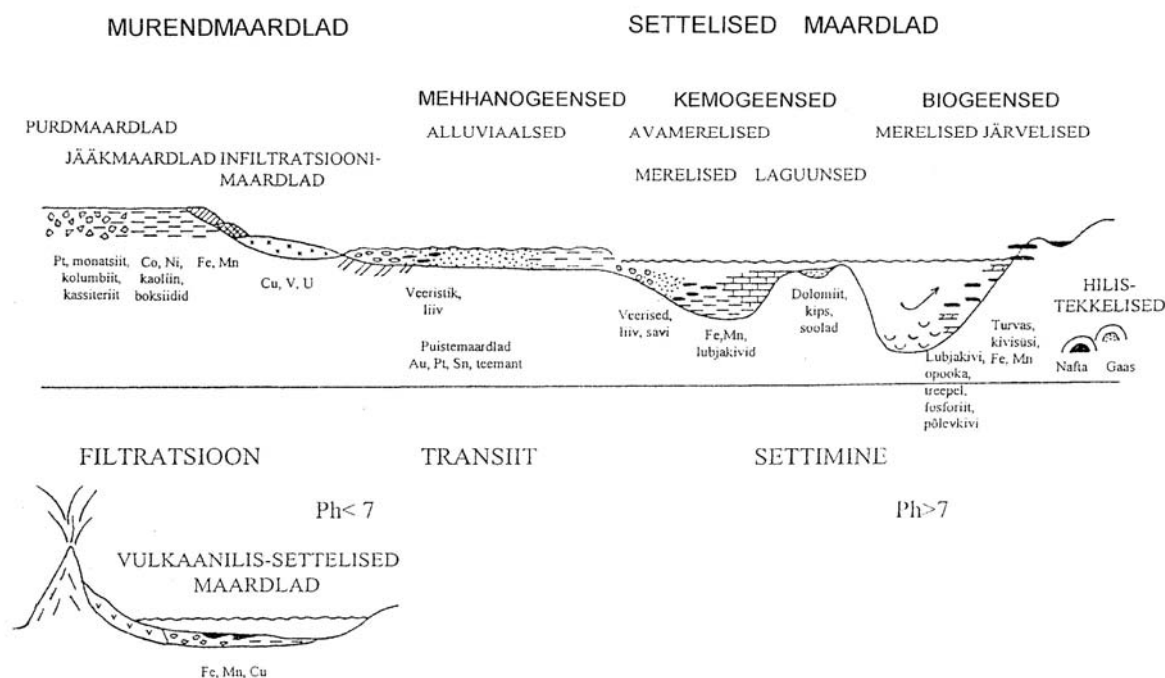
(Hapniku piiramatu juurdepääs viiks kogu orgaanilise aine lagunemiseni veeks ja süsihappegaasiks!) Turbasoid on Maa ajaloos olnud kahte tüüpi - nende järgi eristatakse söelasundite erimeid. Ühed on **limnilised** (järvelised), teised **paraalilised** (mererannasood). Põhimõttelisi erinevusi tekkinud kivisöes ei ole, esimesel juhul on lasundid terviklikumad, teisel juhul põimuvad mereliste sette kivimitega. Söelasundid on üldjuhul kihilised, kuid sageli paljukorruselised. Selle maavaratüübi erakordse tähtsuse tõttu käsitleb nendega seonduvaid probleeme iseseisev teadusharu - söegeoloogia.

Maavarade geoloogia iseseisva allharuna toimib ka naftageoloogia, mis käsitleb nii vedela nafta kui ka temaga sageli kaasneva maagaasi (ka gaaskondensaadi) paiknemist maakoos. Kuna nimetatud maavarad on maakoore poorsetes kivimites (nn. kollektorkivimites) väga liikuvad ja oma mahumassilt veest kergemad, siis koonduvad nad maakoos enamasti võlvjate struktuuride ülaossa, mitteläbilaskvate ekraankivimite alla. Sagedamini on nendeks kohtadeks kurdude harjad, tektooniliste riketega tekkinud "lõksud", harvem riffmoodustised lubjakivides või kiiresti kiilduvad liivakehad (vt. joonis 7). Seetõttu on naftaleiukohtade kuju enamasti läätsjas, maavara enda olekut võib pigem lugeda aga hajusaks või massiivseks, kuna ta täidab üsna ühtlaselt kivimis olevaid tühikuid. Erinevalt teistest maavaradest ei tõsteta naftat ega gaasi koos teda sisaldava kivimiga maapinnale, vaid püütakse ta kivimist "välja imeda", kasutades selleks mitmesuguseid tehnoloogilisi menetlusi.

Põlevkivid kui sapropeelse orgaanilise aine muutumise produktid on maakoos küll üsna laialt levinud, kuid leiavad harva kasutamist oma põlevaine madala sisalduse (15-20%) ja sellest tuleneva kõrge tuhasuse ning väikese kütteväärtuse tõttu. Erandiks on siin üksnes Eesti ja Gdovi leiukoha kukersiit, mille orgaanikasisaldus tõuseb kohati 60 %-ni, kuid mis oma tekkeviisilt polegi tüüpilised sapropeliidid, vaid omapärasel mereolustikus tekkinud kordumatud orgaanikakuuhjed.

Valdav osa maailmas tuntud põlevkividest on nn. mustad (ka pruunikad!) kildad, mis levivad ulatuslike lasunditena (Süüria, Hiina, USA jt.), sisaldavad arvutuslikus väljenduses tohutuid koguseid fossiliseerunud orgaanilist ainet, kuid mille madala kontsentratsioonist tõttu ei ole nad tänapäeval tootmisväärsed. Unustada neid aga ei tohiks, sest maailma naftavarude ammendumisel võivad just need orgaanikalisandiga hiiglaslikud savikivimilasundid saada tooraineks põlevate süsivesinike tootmisel. Käesoleval ajal pälvivad põlevkivid tähelepanu pigem teisest aspektist - neis kontsentreeruvad sageli mitmed haruldased ja tööstuses väga vajalikud elemendid - U, V, Th, Mo, Cu jt., mistõttu just need komponendid kivimis paeluvad mõnikord peamist huvi. Niisuguseks "põlevkiviks" on ka Eestis tuntud nn. "diktüoneemaargilliit".

Niisiis, eksogeense tekkeviisiga leiukohad moodustavad maakoos väga vormiderohke ja esialgsel pilgul näiliselt keeruka rea, mis aga allub põhimõtteliselt üsna lihtsale aine sorteerimise skeemile maakoore välissfääris (joonis 11). See algab maapõuest kerkivate algkivimite murenemisest, s.t. tahke aine lagunemisest liikuvamateks üksikomponentideks. Osa neist jääb paigale, teine osa teeb läbi pika transiiditee kontinentidelt ookeanidesse. Sellel teel kohatud keskkonnamuutuste toimel kontsentreerub küll üks, küll teine liikvele läinud komponentidest, ja moodustab transportiva teguri mõjusfäärist välja settides suuremaid lasundeid, mida kasutamegi maavaradena. Et see kõik toimub maapinna läheduses ja seega inimtegevusele hästi kättesaadavas sügavuses, on just eksogeensed maavareleiukohad majanduselus ehk kõige tähtsamad.



Joonis 11. Eksogeensete leiuohtade kujunemine maakoore ülasaosas.

2.2.3. Vulkaanilis-settelised leiukohad

Lõpetades ülevaadet eksogeense tekkeviisiga leiuohtadest ei saa mööda minna veel ühest maavarade erijuhust, mis kuulub siia küll üsna tinglikult. Pigem on tegemist segatekkelise leiuohtatüübiga: kasulik komponent pärineb endogeenselt allikast, tuuakse maapinnale vulkaanipurskel, sorteerub ja sadestub maismaal või veekogudes aga setteprotsessidele iseloomulike seaduspärade järgi, ja settematerjaliga koguni segatult. Murenemisprotsessi siinjuures justkui ei toimugi - aine pihustatakse liikuvasse vormi maa siseenergia (vulkaanipurske) toimele.

Peab aga ütleva, et inimtegevuse üldbilansis on seda tüüpi maavarade osakaal üsna tähtsusetu. Põhjuseks on asjaolu, et kiirel vulkaanipurskel maapinnale kantud aine ei jõua märkimisväärselt diferentseeruda (sorteeruda), seda ei jõua ta teha ka suhteliselt kiiresti toimivate laavavoolude või väljapaisatud tuha sattumisel veekogudesse. Seepärast võib vaid eriti soodsates oludes kuhjuda mõningaid tootmisväärseid maavaraleiuohti.

Nii seotakse vulkaanilis-settelise tekkega mõningaid hematitiseid rauamaake (Lan-Diel-Saksamaa), mangaani (Šveits, Kasahstan) ja boorileiuohti (Peruu, Tšiili, USA). Mõnikord on need tõlgendused ka vaieldavad. Olulisema tüübi vulkaanilise ja settelise tekkeviisi ühistoimest moodustavad ehk nn. bentoniitsavid, mis kujutavad endast suurtes kogustes vette kantud vulkaanilise tuha ümberkujunemisprodukti merevees. Niisuguseid punsuvaid saviseid kasutatakse keemiatööstuses, sorbentidena mitmesuguste tehnoloogiate puhul, püsivate suspensioonide valmistamisel jne.

Kõik vulkaanilis-settelised leiukohad on kihtmaardlate tüüpi, mis õigustab nende käsitlemist lähestikku setteliste maavaraleiuohtadega.

2.3. Maavarade moodustumise etapilisus ja ruumiline paigutus maakoore

Leiuohtade tekkeviisi erinevusest tuleneb tähtis järeldus maavarade otsingute jaoks. On täiesti arusaadav, et piirkondades, kus maapõue ülaosa moodustub tusedast settelivilasundist, saab kasutusele võtta eelkõige eksogeenseid maavarasid. Aladel, kus maapinnalähedases geoloogilises ruumis valdavad magma- ja moondekivimid, on tarbetu otsida näiteks põlevaid maavarasid. Siin tuleb, vastupidi, keskenduda metallimaakide otsingule - nii lähtekivimeis endis kui ka nende murendis. Üldgeoloogiliste uuringute tähtsus maavarade kasutuselevõtu eeldusena on seega ilmselge.

Kuid on ka teisi olulisi mõjureid, mis määravad maavaratüüpide paiknemise maakoore. Maakoore on oma arenguloos läbi teinud keerukaid muutusi. Kunagi oli ta tulikuum, maa sisejõud avaldusid sagedasti maapinnal, elutegevus puudus või levis väga piiratud meresoppides. Aegamööda maakoore

jahtus ja rahunes, kontinendid kattusid rõhtsate settekompleksidega. Siseenergial toimuvad protsessid küündisid harvem maapinnale. Muutus maa atmosfäär, suurenes selle läbipaistvus, hoogsalt laienes elustik, tema tegevus ja laguproduktid hakkasid mõjutama senisest enam geokeemilisi ja geoloogilisi protsesse. Ilmusid põhimõtteliselt uued maavaratüübid, näiteks põlevkivi, nafta, rifflubjakivid, settelised mangaanimaagid jt. Neile arengutrendidele tuginevalt võib maakoore arengu jaotada järgmisteks etappideks:

1. Eelkambrium (ürg- ja aquaegkond) oli pikim periood Maa ajaloos, kestes vähemalt 2900 miljonit aastat. Sellest perioodist jäänud kivimkompleksides valdavad arvukad magmavoolude sissetungil tekkinud kivimkehad ja neid saatvad magmatogeensed metallimaakide leiukohad, mida justkui "lahjendasid" tekkima hakanud settekivimite arvel kujunenud moondekivimite kompleksid. Viimaste seas on siiski ka hinnalisi maavarasid - eelkõige nn. rauakvartsiidid, mis tekkisid algselt setteliste või vulkaanilis-setteliste kihiliste lasundite moondel. Nad annavad praegu ligemale 80% maailmas kaevandavatest rauavarudest.

Eelkambriumist pärinevate maavarade nomenklatuur on väga rikkalik, varud sageli hiiglasuured. Lihtsam on loetleda, mida nende seas ei ole. Niisiis eelkambriumi kompleksides puuduvad fosforiidid, soolad, lubjakivid, väävel, kõik põlevad maavarad - nende kujunemiseks maakoore polnud sel ajal veel eeldusi.

2. Paleosoikum, mille sees võib eristada varapaleosoilist (170 mln. a.) ja hilispaleosoilist (175 mln. a.) alaetappi. Varapaleosoikum algas intensiivne fosforiitide kujunemine (Baltikum, Kasahstan), soolalasundite teke (Siber, Kanada), ilmus nafta, formeerusid grafiidid ja asbesti leiukohad. Energeetikaressurssidest olulisim oli põlevkivi. Hilispaleosoikumil ilmusid kivisööed (50-60% maailma varudest), suuremates kogustes nafta- ja soolalasundid, esimesed boksiidid, fosforiidid (USA), settelis-filtratsioonilised vasemaardlad - vaseliivakivid.

Mobiilsetes, mäetekkelistes piirkondades jätkasid kujunemist endogeensed maagileiukohad (Uural, Appalachiid, Kesk-Aasia, Kanada jt.), kuid nende osakaal eelkambriumi etapiga võrreldes oli juba märksa tagasihoidlikum.

3. Mesosoikum (155 mln. a.) oli suhteliselt maavaradevaene etapp maakoore arenguloos. Ometi andis see etapp maailmale tema suurimad naftavarud (Lähis-Ida, Siber jt.). Märkimisväärne on veel kivisüsi ja rohked ooliitsed rauamaagid. Endogeensete maavarade osa on tagasihoidlik.

4. Kainosoikum (70 mln. a.) kui lühim maavarade moodustumise etapp on siiski võrdlemisi rikas maavaradest. Eriti võiks märkida murenemisprotsessidega seonduvaid boksiite, Ni-Co murendmaardlaid, settelisi mangaanimaake, pruunsütti, turvast, naftat, ka keemiatööstuse toorainet väävliit, boori, soolasid. Enamik kulla, plaatina, teemandi jt. puistemaardlaid on samuti seotud kainosoilise settekompleksiga - arusaadavalt on seda tüüpi leiukohad neis parimini säilinud.

Maavarade vanuseliste komplekside varieeruvus määrab niisiis suuresti ka maavaratüüpide paigutuse maailmas. Selline vanuseline spetsialiseerumine avaldub ilmekalt just eksogeensete maavaratüüpide puhul, sest just Maa välitingimused - temperatuur, hüdrofääri ja atmosfääri keemiline koostis ning eelkõige elustik on Maa arengu kestel tugevasti muutunud. Endogeensete protsesside olemus on aja jooksul vähem evolutsioneerunud ja siin on olulisim kvantitatiivne tegur - nende järk-järgult piiratum jõudmine maapinnale. See kajastub eelkõige nähtuses, et vanadel suurtel kilpidel (Balti, Kanada, Lõuna-Aafrika), kus hilisem kulutatuse on ära kandnud suuri kivimasse, kohtame maapinnal sageli suurtes sügavustes formeerunud maake. Nooremate mäemassiivide keskmetes, kus erosioon on jõudnud vähem korda saata, kohtame sagedamini üksnes magmakolletest eemalseisvaid, näiteks hüdrotermaalseid, maagileiukohti. Sellega võiks ehk seletada ka elavhõbeda ja antimonileiukohtade täielikku puudumist vanadel kilpidel. Sedalaadi seaduspärasusi võib nimetada teisigi. Rõhutagem veelkord, et maavarade kujunemise taustsüsteemide tundmine on oluliseks eelduseks maavarade otsimisel ja seega ka riikide majanduspotentsiaali loomisel.

2.4. Maavarade geneetiline klassifikatsioon

Eeltoodud ülevaatest ilmneb maavarade suur tüüpiderohkus ning vajadus praktilises tegevuses neid kuidagi rühmitada. Viitasime juba rühmitamisvõimalusele kasutamiseärasuste järgi (metallilised, mittemetallilised ja energeetilised), äsja ka vanuselise kuuluvuse järgi (eelkambriumi, paleosoilne jne.). Need klassifikatsioonid kahtlemata abistavad maavaradega seonduvate probleemide lahendamist mitmetes eluvaldkondades, kuid geoloogilise tegevuse suunamisel on siiski asendamatu

leiukohtade tekkeviisile tuginev rühmitamine. Sellisel rühmitamisel rajaneb kogu eelnev maavaratüüpide käsitlus ja kordame seda alljärgnevalt üldistatud tabelskeemi kujul:

I Endogeensed leiukohad (maardlad)

A. Magmatogeensed

- a) magmakoldelised
- b) jääkmagmalised
- c) pneumatolüütilised
- d) hüdrotermaalsed

B. Metamorfogeensed

- a) metamorfsed
- b) metamorfiseerunud

II Eksogeensed leiukohad (maardlad)

A. Murendmaardlad

- a) purdmaardlad
- b) jääkmaardlad
- c) infiltratsioonimaardlad

B. Settelised

- a) mehhanogeensed (puist-)
- b) kemogeensed
- c) biogeensed

C. Vulkaanilis-settelised

3. MAAVARADE UURIMINE

Geoloogilised uurimistööd, mille käigus otsitakse maavarasid ja millele järgneb leitud maavaraleiukoha detailsem uurimine kasutuselevõtu korraldamiseks, on üsna mitmepalgelised. Nad sõltuvad maavara tüübist, piirkonna geoloogilisest ehitusest, varemtehtud uuringutest ja mitmest muustki tegurist.

Üldistatult võib öelda, et seda tehakse sihipäraselt ja etapiviisiliselt. Kogu tegevuses võib eristada järgmisi etappe:

1. geoloogiline kaardistamine
 2. otsing
 3. uuring
- a) eeluuring
 - b) detailuuring
 - c) järel- või eksploatatsiooniline uuring

Esimene neist töödest ei ole otseselt seotud mingi kindla maavara avastamise või uurimisega, kuid ta loob vajaliku teabebaasi nii otsingutööde tulemuslikuks suunamiseks kui ka paljude rakendusgeoloogiliste probleemide lahendamiseks. Selle staadiumi läbimisel osaleb mäeinsener harva - küll aga peab ta oskama kvalifitseeritult käsitleda kõnealuse töö tulemust - geoloogilist kaarti.

Ka teine etapp - otsingud - ei vaja mäendusspetsialisti olulist abi. Pigem vastupidi - just maavara sihikindel otsimine konkreetse geoloogilise ehituse taustal vajab eelkõige geoloogiaprotsesside süvatundmist, mistõttu neis töodes, vähemasti juhtpositsioonil, osalevad tavapäraselt suurte praktiliste kogemustega geoloogid.

Kolmas etapp - leiukoha uuring - on juba otseselt seotud maavara kaevandamiseks vajalike eeltöödega. Määratakse maardla kontuurid, arvutatakse maavara varu, selgitatakse kaevandamise mäetehnilised ja hüdrogeoloogilised tingimused, rikastamisvõimalused, tehakse esialgsed majandusarvestused, mõeldakse ammendatava kaevandusala rekultiveerimisvariantidele. Et mitmete nende küsimuste lahendamiseks ei piisa ainuüksi geoloogilistest puurimistest, tuleb sageli töö käigus teha ka mäetöid (näiteks suurte tehnoloogiaproovide võtmiseks), mis vajavad ka kvalifitseeritud mäeinseneri osalust.

3.1. Geoloogiline kaardistamine

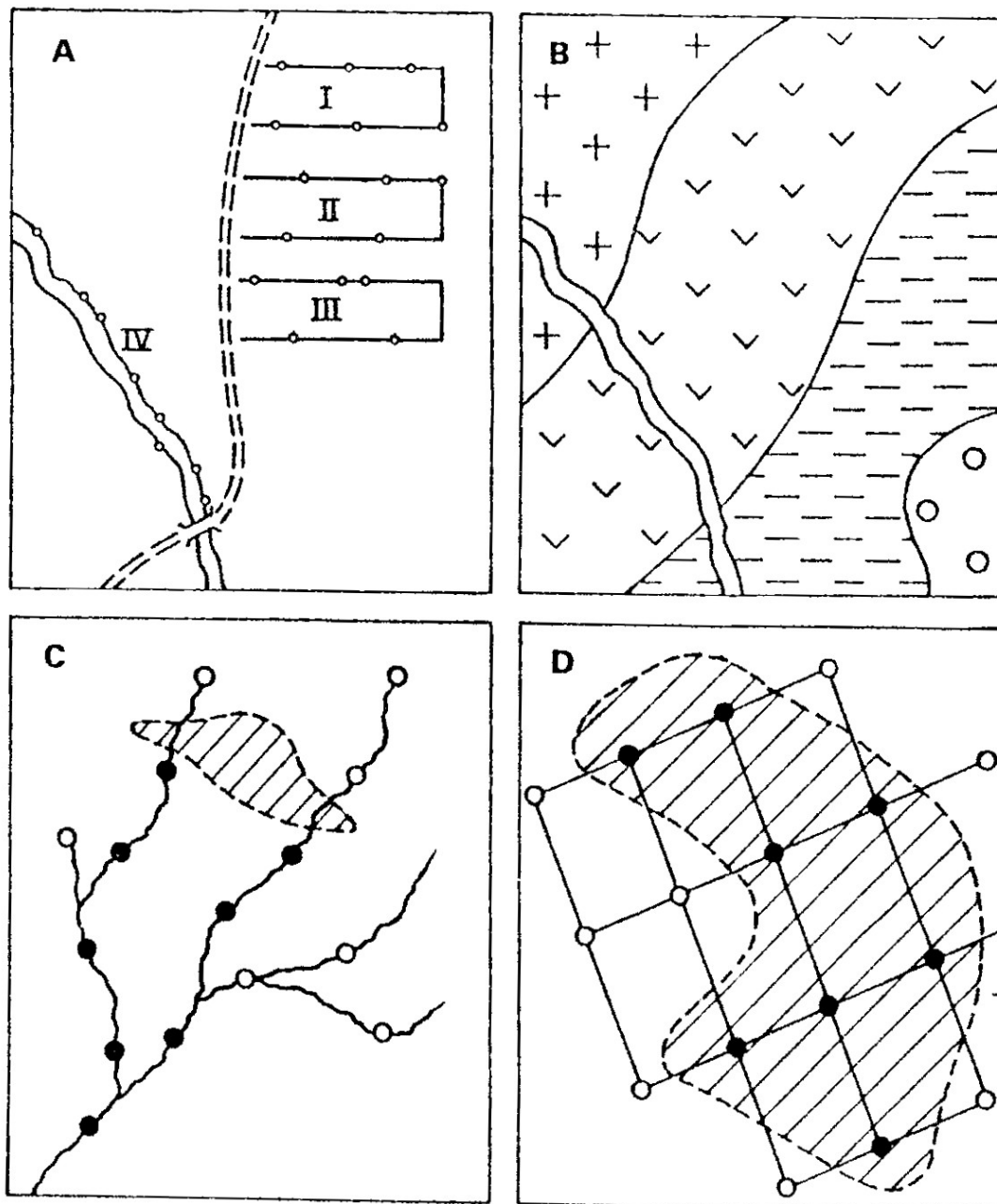
Selle tööloogi eesmärk on konkreetse ettekujutuse loomine antud piirkonna geoloogilisest ehitusest ja selle vormistamine ülevaatliku ja hõlpsasti kasutatava dokumendina - geoloogilise kaardina. Seepärast on mõisteta, et iga riik, vaene või rikas, korraldab oma ala geoloogilist kaardistamist, sest see on ju omamaiste maapõueressursside kasutuselevõtu hädavajalik eeldus. Seejuures võib öelda, et geoloogiline kaardistamine ei lõpe kunagi, sest ta viiakse läbi erinevates, aja jooksul üha

suurenevates mõõtkavades. Teisisõnu, geoloogilise andmestiku lisandudes muutuvad kaardid üha detailsemateks ning et kogu informatsioon mõistliku suurusega paberipoognale ära mahutada, tuleb territoorium järjest väiksemateks osadeks jaotada ja sobivam ning suurem mõõtkava valida. Nii piisab maailma geoloogilise kaardi koostamiseks mõõtkavast 1:10 000 000, enamuse riikide territooriumi jaoks 1:1000 000. Geoloogilise informatsiooni üldistamiseks maakonna lõikes on sobiv mõõt 1:200 000, valdade ja külade territooriumide jaoks 1:50 000 või 1:25 000, ehitusplatside ja kaevandusväljade jaoks koguni 1:1000 või 1:500. Viimaseid nimetatakse tavaliselt juba plaanideks.

Kuid peale sobiva suurusega kaardilehe valiku on geoloogilise kaardistamise mõõtkaval täita ka veel teine roll. Ta normeerib nimelt geoloogilise informatsiooni vajaliku hulga vastaval kaardialusel. Me võime küll võtta valge kaardilehe mingis meile sobivas mõõdus, kuid kui meil on sinna peale kanda vaid üks geoloogiline vaatluspunkt, siis kaarti ju ei sünni. Seepärast on geoloogide mõistes mõõtkaval ka informatsiooni hulka edastav sisu, teisisõnu - mingi kindla mõõduga kaardilehel peab olema kindel arv geoloogilisi vaatluspunkte, nad peavad olema piisava tiheduse ja usaldusväärsusega, ning kui neid punkte looduses pole, tuleb nad kaevandite ja puurimistöodega luua. Nii on see vähemalt riiklike (konditsiooniliste) kaartide puhul ning see võimaldab hinnata objektiivselt ala uurituse taset eri piirkondade ja ka eri riikide vahel. Eesti territoorium, näiteks, on terviklikult kaardistatud mõõtkavas 1:200 000, suuremad linnad ja tähtsamad tööstuspiirkonnad ka mõõdus 1:50 000 või koguni 1:25 000. Arusaadavalt võib suuremõõdulistelt kaartidelt ka kabinetist lahkumata minna üle väiksemamõõdulistele, neid üldistades ja detaile ära jättes, teistpidi toimida ei ole aga täiendavate geoloogiliste väliuuringuteta praktiliselt võimalik.

Kuidas siis sünnib geoloogiline kaart?

Geoloogide töörühm, kelle ette niisugune ülesanne seatakse, realiseerib selle peamiselt geoloogiliste marsruutide abil. Suvel sõidetakse uuritavale territooriumile, asutatakse baaslaager ja sellest sooritatakse süsteemikindlaid jalgisiretki maastikul. Tavapäraselt algab marsruut mingilt looduses tähistatud joonelt - teerajalt, metsasihilt, jõekaldalt. Maastikul liigutakse etteantud sihis, kompassi järgi. Alul ühes suunas teatud hulk kilomeetreid, seejärel tehakse lühike ristikäik mõnesaja meetri ulatuses ja suundutakse seejärel paralleelselt algsihile tagasisuunas (joonis 12A). Marsruudi pikkus valitakse arvestusega, et see oleks töövahetusele jõukohane, mõistagi sõltub see maastiku läbitavusest ja muudestki teguritest. Marsruudile minnakse vähemalt kahekesi - selle dikteerib ohutusnõue. Kogu marsruudi kestel loeb üks käijatest samme - nende ümberarvestamise kaudu meetriteks peab ta teekonna igas punktis täpselt teadma, kaugel ollakse marsruudi alg- või lõpp-punktist. Iga geoloogiline tähelepanek teekonnal fikseeritakse välipäevikus - määratakse koha asukoht kaasasoleval kaardil, antakse objekti kirjeldus, määratakse kivim. Kui viimasega ei saada kohapeal hakkama, võetakse proov laagrisse kaasa. Vaatluspunktideks on enamasti looduslikud paljandid - vertikaalsed jõekaldad, järsud varingunõlvad, kraavid, tehissüvendid, tuulest murtud puude juurtealune. Kui niisuguseid objekte teel ei ole, näiteks soos, jääb marsruudi selline lõik tühjaks. Mõnikord aitab ka puhastustöö väikelabidaga.



Joonis 12. Geoloogilise töö etapid maavarade avastamisel.

A - geoloogiline kaardistamine: kogu territoorium kaetakse marsruutidega maastikul ja piki jõeorgusid. B - eelneva etapi läbimisel valminud geoloogiline kaart: selgitatud eritüübiliste kivimite avamused. C - otsing: antud näitel maavaralasuandi otsimine proovimistöödega piki jõeorgusid. D - uuring: leitud maavaralasuandi piiritlemine ja uurimine kindla puuraukudevõrgu alusel.

Suve jooksul koguneb marsruutidelt hulgaliselt andmeid maapinnale avanevate kivimite kohta. Nende põhjal koostatakse geoloogiline kaart, mis kajastab eelkõige eri kivimite avamusi (joonis 12B). Kõrvuti kivimite levikupildiga, mis on loomulikult kaardi põhialus, püütakse selgitada nende omavahelised lasumussuhted. Määratakse kihtide kalle paljandeis, jälgitakse kontakte, võimaluse korral rajatakse uuritava territooriumile normikohane arv puurauke. Nende materjalide põhjal lisatakse geoloogilisele kaardile ka vertikaalne läbilõige kõige iseloomulikumaal territooriumiosa suunal. Nii on geoloogi käes hinnaline teabebaas antud ala geoloogiliste ehitiseärasuste kohta, millele ta rajab kogu oma edasise tegevuse, kaasa arvatud ka maavarade otsingu.

Mõistagi saime eelnevalt avada geoloogilise kaardistamise olemuse vaid väga skemaatiliselt. Sellel tegevusel on palju lisavarjundeid, nagu on palju ka kaardivariante, mille jaoks väliolukorras püütakse materjali hankida. Ülaltoodud näide iseloomustas eelkõige aluspõhjakaarti. Võidakse koostada veel pinnakatte (Eestis kvaternaarse setendite), hüdrogeoloogilise, geokeemilise, insener-geoloogilise,

struktuur-geoloogilise, teadaolevate maavarade paiknemise kaardi, jne., sõltuvalt püstitatud ülesannetest ja vajadustest. Enamasti koostatakse antud ala geoloogilised kaardid ühtse komplektina.

Ka ei piirdu kaardistamine sugugi üksnes kirjeldatud välitöödega. Loomulikult töötatakse eelnevalt läbi ka kogu varem teadaolev andmestik piirkonna kohta, peale välitööde lõppemist analüüsitakse kogutud proovimaterjal, täpsustatakse kivimite olemust mikroskoobi abil, määratakse leitud fossiilid jne. Seega on geoloogiline kaart väga tõsine, kuigi ühel lehel viimistletud uurimus, mis peab vastu pidama kestvale ajaproovile. Enamasti lisatakse kaardile ka tema kasutamist ja tõlgendamist hõlbustav tekstiline seletuskiri.

Kaarti võib hiljem trükivariandis paljundada ja kõigile kättesaadavaks teha, võib aga tellija korraldusel jätta ka üksnes konfidentsiaalseks kasutamiseks.

3.2. Otsing

Mingi maavaratüübi sihikindel otsing on töövaldkond, mille kohta on üldskeemi väga raske anda, sest igal toormeliigil on omad iseärasused, mistõttu ka probleemile lähenemine on igal juhul erinev.

Üldseaduspärasusena võib ehk märkida, et otsingute suunamisel lähtutakse ikka vaid geoloogilisest kaardist. Kaart näitab geoloogilise töö korraldajatele selgesti kätte, mida antud territooriumilt tasub otsida: kulda või naftat, marmorit või vääriskive, kivisütt või vasemaaki, turvast või ehitusliiva. Vastavaid eeldusi silmas pidades hakatakse alles siis arutlema detailide üle, hõlmates arutlusringi kogenud spetsialistid.

Teiseks tunnusjooneks on muidugi töö lõppeesmärk - kaevandamiseks kõlbuliku leiukoha avastamine. Mõistagi püütakse selleks teha kõik, kuid tulemus võib olla ikka kahene: ei või ja. Ent ka eitava tulemuse korral - kui otsingul ei õnnestunud leida tootmisväärset leiukohta -, pole töö olnud täiesti kasutu: saadud andmestik annab väärtusliku geoloogilise töö kogemuse ja selgitatud rohked väikesed maavarailmingud võivad edaspidi suunata suuremale leiukohale naaberlial.

Kolmanda erijoonena otsingute puhul tuleb märkida nende toimumist sageli väga ulatuslikul alal. Seetõttu ei kasutata otsingutööl eriti kulukaid ja töömahukaid ettevõtmisi, nagu puurimist ja kaevetöid. Püütakse läbi ajada odavamate, kaudsemate ja mobiilsemate võtetega, rakendades geokeemilisi, geofüüsikalisi, mineraloogilisi, hüdrokeemilisi, biogeokeemilisi jt. meetodeid. Hoolikas peab olema töö kirjandusallikate ja varemkogutud andmestikuga, samuti aitab mõnikord elanikkonna küsitlemine.

Klassikalise näite otsingutöödest annab väärismetallide (kulla, plaatina) otsing piki jõeorjusid. Siin kasutatakse vooluvee iseeneslikku geoloogilist tegevust: vee purustavat toimet jõesängis avanevatele kivimitele. Kohanud oma teel mõnda nimetatud metalli rikast soonkivimit, haarab vesi sellest teri kaasa ja paigutab neid ümber jõesetesse. Kuid ainult allavoolu. Et väärismetallid on jõeliiva tavamineraalidest 7-9 korda raskemad, on jõeliiva ettevaatlikult siinsamas läbi pestes võimalik nende kulla(plaatina)-sisaldust igas proovis määrata. Süstemaatilist jõeliiva pesemist nimetatakse rõmmimiseks (võõrkeeltes sageli šlihhimiseks). Niiviisi toimides liigutakse perspektiivseks osutunud jõesängi pidi ülesvoolu, haarates ka lisanduvaid ojakesi. Tühjadeks osutunud proovide piirkonnas jätkatakse otsinguid juba ümbruses - jõeoru veerudel või lähikonnas (joonis 12C). Meetod on efektiivne ja odav ning, vaatamata oma primitiivsusele, on kasutusel tänaseni. Põhimõtteliselt samalaadne on hüdrokeemiline meetod, mis seisneb selles, et keemilise analüüsiga määratakse otsitava, tavaliselt lahustena liikuva metalli sisaldus allikate või ojanirekete vees. Meetodil on veel teisigi variante - näiteks jälgitakse sel teel mõnikord just karaktersete saatjasmineraalide käitumist, kuna neid on sageli palju rohkem, kui otsivat põhikomponenti.

Mattunud, s.t. maapinnal ja ka jõepõhjas mitteavanevate leiukohtade otsimisel kasutatakse laialt metallomeetriat. See on tavaliselt spektraalanalüüsile kui kiirele ja odavale analüüsimeetodile tuginev mullaaluse kihi massiline proovimine. Kindla võrguga kaetud proovimisala näitab selgesti ära, millises osas otsitava elemendi sisaldus annab suurimaid kontsentratsioone - nn. hajumisoreole, millises tema esinemine on fooniline, s.t. tavapärase. See meetod põhineb elemendi lahustumisel maagikeha piirkonnas ja sattumisel sademe- või põhjavete ringlusse tavapärasest suuremal hulgal. Loomulikult on meetod efektiivsem paremini lahustuvate elementide otsingul, vähelahustuvate puhul, nagu kuld, plaatina jt., aga kasutamiskõlbmatu. Siiski haarab ta väga suurt maavaraderingi ja oma odavuse tõttu on meetod laialt kasutusel.

Meetodil on ka rida teisendeid. Huvitavaim neist on ehk biogeokeemiline meetod, kus samalaadse massanalüüsiga ei haarata mitte maapinda, vaid teatud taime (näiteks kase) lehti või võrseid.

Haaravad ju taimejuured toitaineid suuremast sügavusest, jõudes sagedamini kaetud leiukohtade kohal paiknevate hajumisoreoolideni. Muidugi tuleb taimeosad analüüsi eel tuhastada. Eesti oludes kasutati 1958.-1959. a. jõemudade spektraalanalüüsi, mis on samuti üks klassikalise metallomeetria variantidest. Viimasel ajal on rakendamist leidnud teatud tselluloosorventide kasutamine. Otsitava elemendi suhtes steriilsed vatitopsulaadsed sorbendipesad kaevatakse kindla võrgu alusel maasse, lastakse neil viibida seal järgmise suveni, kaevatakse siis välja ja analüüsitakse elemendi sisaldust neis. Nii fikseeritakse täpselt otsitava elemendi liikumisiseärasused pinnases. Meetodit kasutatakse peale maagiotsingute ka mitme muu rakendusgeokeemilise ülesande lahendamiseks.

Sõltuvalt otsitava elemendi või tema mineraalühendite omadustest kasutatakse otsingul teisi suhteliselt odavaid meetodeid: magnetomeetriat (magnetiitsed rauaühendid), elektromeetriat (elektrijuhtivust omavad sulfidmaagid, veega täituvad tektoonilised rikkevööndid), gravimeetriat (ümbriskivimitest raskemad massiivsed metalimaagid), seismomeetriat ehk tehismaavärinaid (naftastruktuuride selgitamiseks) jne. Settekomplekside puhul annab sageli häid tulemusi stratigraafiline menetlus - samavanuselise kihi leviku ruumiline jälgimine ja kujunemistingimuste analüüs. Niisuguse töövõttega leiti, näiteks, Eestis Tapa põlevkivileiukoht. Võib loendada veel palju teisi otsingumeetodeid.

Ühiseks neile kõigile on aga tunnusjoon, et loetletud töövõtted määravad eelkõige piirkonna, kus otsitava maavara leiukoht on kõige reaalsem. Lõppsammuks on ikkagi leiukoha enese avamine otseste geoloogiliste vahenditega - kaevandite või puurimistöödega. On ju vaja proove maavarast endast, hinnata leiukoha suurust ja ressursi, maha märkida ta maastikul ja kaardialusel. Alles siis saavad leiukohale tulla järgmise etapi elluviijad.

Olemuselt on otsingutöö väga huvitav ja hasartnegi: ja või ei? Põhiprintsiip on siin selge - jõuda võimalikult väheste kulutustega võimalikult parema tulemuseni. Mõistagi vajab see ka pisut õnnelikumat kätt, kuid eelkõige ikkagi sügavaid geoloogilisi teadmisi.

3.3. Uuring

Leiukoht on otsingutel leitud. Saabuvad uued inimesed, enamasti koos võimsa puurimistehnikaga. Eesmärk on selge: valmistada leiukoht kasutuselevõtuks. See töö jaotub selgepiirilisel kaheks alataipiks - eel- ja detailuuringuks. Peale selle võib ka kaevandamise käigus tekkida uurimist vajavaid probleeme ja siis rakendatakse kolmandatki - järeluuringut. Viimane on aga alati väga konkreetne ja vähestandardiseeritav, vaatleme seda seepärast vaid põgusalt.

3.3.1. Eeluuring

Eeluuringu põhiülesanneteks on

1. Leiukoha kontuurimine
2. Leiukoha tööstuslikult kasutuselevõetava osa piiritlemine ja tema mäendusliku potentsiaali hindamine
3. Leiukoha maavaravaru määramine
4. Järgneva detailuuringu sobivaima piirkonna selgitamine.

Nende tööde tulemusel peab saama langetada otsuse leiukoha edasise saatuse kohta: on ta tootmisväärne, õigustab ta edasisi uuringutöid, loob ta aluse investorite otsimiseks? Just eeluuring annab aluse õigeteks otsusteks ja väldib mõttetuid kulutusi leiukoha edasisel kasutuselevõtul. Leiukohast saab juriidilis-majanduslik üksus maardla.

Kuidas need eesmärgid saavutatakse? Universaalseid lahendusi siin kahjuks pole. Iga leiukoht on oma olemuselt kordumatu, oma iseärasuste ja üleminekutega ümbritsevasse geoloogilisse ruumi. Peale selle määravad leiukoha kasutuselevõtu suuresti ka kaevandamistehnoloogia iseärasused ning planeeritava toodangu iseloom. Uuringu teostajad peavad alati lähtuma tellija konditsiooninõuetest maavarale - tema poolt ette antud parameetritest: maavaralasundi minimaalpaksusest, kasuliku komponendi väikseimast lubatud sisaldusest, katendi maksimaalpaksusest, suurimast kaevandamissügavusest ja veel mõnest teisestki konkreetset leiukohta puudutavast näitajast.

Vastata nendele küsimustele saab aga siiski vaid ühel viisil - maavaralasund tuleb uurimiseks avada paljudes valitud punktides täielikus paksuses ja täielikus horisontaalulatuses. Maavara kvaliteet tuleb kõikjal määrata proovimise teel.

Enamasti kasutatakse selleks puurimistööid - maavaralasundist puursüdamiku väljamist. Tänapäevane puurimistehnika on täiuslikkuseni välja arendatud - see on kiire, sõidukitele paigutatult ka piisavalt

mobiilne, kuid kahjuks ka kulukas ettevõtmine. Rõhtsalt paiknevate maavaralasundite puhul on puurimine aga praktiliselt asendamatu - ta võimaldab tulemuslikult lahendada kõik uuringu ette seatud ülesanded. Puurimistööd on raskendatud vaid halvasti ligipääsetavates maastikuoludes - soodes, mäestikes, teedeta piirkondades. Geoloogiliselt on tõkendiks maavaralasundite sooneline või vertikaalasendisse muljutud settekomplekside esinemisvorm: vertikaalselt rajatav puurauk ei anna siit usaldusväärset informatsiooni. Neil puhkudel tuleb puuraukudevõrku täiendada või hoopiski asendada kaevanditega: puhastuste, uurimiskraavide, šurfide, stollide, strekkide, kveeršlaagide või gesenkidega. Mõistagi teeb see kõik uuringu väga mahukaks, aeganõudvaks ja kulukaks. Seepärast püütakse neil juhtudel, kus see on hädavajalik, rajada kaevandid niisuguse arvestusega, et neid oleks leiukoha kaevandamisel võimalik kasutada ka eksploatatsioonikaevanditena, näiteks juurdepääsutrassena, elektri kaabli paigaldamistrassina, ventilatsioonilõõridena, veekõrvalduskanalina vms. Eriti aktuaalseks muutub see probleem detailuuringu etapis.

Pöördudes tagasi enamkasutatava puurimismenetluse juurde tekib kahtlemata küsimus, millise tihedusega peab olema puuraukudevõrk, et tagada eeluuringul leiukoha kohta usaldusväärne andmestik. Rangelt ühtlustatud norme ei ole siingi, palju sõltub alati konkreetsest lasunditüübist. Orienteerivalt võib öelda, et rõhtsalt lasuvate mereliste settekivimitega lavamaadel (Eesti) piisab üksikpuuraukude vahekauguse valikul 1000 meetrist, igal juhul 400-500 meetrist (näiteks kivisööd). Läätsjate lasundite puhul (boksiidid) tuleb vahet vähendada 150-200 meetrini, keerukate maardlate ja soonte puhul aga veelgi enam. Märkimisväärne, et kohalike ehitusmaterjalide - kruusa-, liiva- ja savimaardlate puhul, kus eel- ja detailuuringuid reeglina eraldi ei tehta, loetakse puuraukude optimaalseks vahekauguseks leiukoha uuringul 100-200 meetrit.

Kuid veelgi olulisem puuraukude vahekaugusest uuritava objektiga on nende paigutus leiukoha piires. See peab olema ühtlase tihedusega, võimaldama koostada mitmesuunalisi geoloogilisi läbilõikeid ja tagama arvutuste maksimaalse lihtsuse. Seepärast on optimaalne rajada puuraukude täisnurkse - s.o. riskikujulise või ruudukujulise võrgustiku sõlmpunktidesse (joonis 12 D). Harvem kasutatakse nn. rombikujulist, s.o. puuraukude malelaua-motiivilist paigutust, mis on märksa ebamugavam. Täisnurkse võrgustiku kasutamine on erakordselt tulus veel seetõttu, et järgneva detailuuringu teostamisel annab mõnes leiukoha osas eeluuringul rajatud puuraukude tihendamise uutega märgatava majandusliku kokkuhoiu.

Paraku ei ole kirjeldatud ideaalskeem maastikul alati rakendatav veekogude, hoonestuse, raske ligipääsetavuse, kommunikatsioonide ja mitme teise asjaolu tõttu, mistõttu tuleb teha siin-seal ka kõrvalekaldeid. Püüda selles suunas aga tuleb. Seepärast valitakse puuraukude profiilid sageli piki maastikul paiknevaid sirgjooni - teetrasse, metsasihte, kuivenduskraave jne. Mõnikord tuleb aga valitud võrku korrigeerida geoloogilistel asjaoludel. Näiteks selgub puurimisel, et leiukoha ühes osas on kahe puuraugu omavaheline rööbistamine väga raske, ülejäänud osas aga üsna lihtne ja monotoonne. Siis võib geoloog temale antud mahtude raames ära jätta mõne normaalsel planeeritud puuraugu ja kasutada vabanenud puurimisvõimsuse keerukas kohas, näiteks kahe ülalnimetatud puuraugu vahelisel joonel. Seepärast ongi eeluuringul käigus reegel, et puurimine toimiks läbimõeldult. Pole eriti otstarbekas puurimisi teha samm-sammult, kindlat profiili mööda: hoopis mõistlikum on rajada alul hõredam tugipuuraukudevõrk, mille andmete põhjal seda siis edaspidi tihendada või puuraukude paigutussüsteemis äsjamainitud hädavajalikke korrektsioone teha. Niisugune juurdeminek annab sageli suure majandusliku kokkuhoiu ja suurendab ka leiukoha uurituse kvaliteeti.

On veel üks kirjutamata seadus - alustada tuleb leiukoha uurimist selle keskmest, s.o. perspektiivseimast osast, kus paksused on suurimad ja sisaldused kõrgemad. See reegel on kasulik eelkõige karmi turumajanduse tingimustes: tuleb uuring mingil põhjusel katkestada (majanduskriis, pankrot), on saadud andmestikul oluline kaal edasiste otsustuste tegemiseks. Leiukoha perifeeriast pärinev andmestik ei oma selleks sama kaalu.

Kui tööd kulgevad normaalselt ja jõutakse leiukoha füüsilise piirini, kus maavara kaotab oma konditsioonilisuse, püütakse rajada veel mõned puuraukude sellest väljapoole jääval alal. See on vajalik geoloogilisteks järeldusteks, eelkõige aga leiukoha võimalikult täpseks kontuurimiseks (vt. allpool), aga ka selleks, et konditsioonide mõningal alandamisel oleks võimalik kasutusele võtta täiendavat maavara leiukohaga vahetult piirnevatelt aladelt (reservvaru).

Niisiis, omades vastava puuraukudevõrgu, saab eeluuring täita kõik oma põhiülesanded: määrata leiukoha üld- ja tööstuslikud piirid, maavara kvaliteedi (massilise proovimisega puursüdamikese), maavara varu (koguse), eraldada perspektiivseima osa detailuuringute tarvis, määrata lasumussügavuse, katendi paksuse, hüdrogeoloogilise olustiku, ala geoloogilised iseärasused. Kõik

see annab aluse õigete majandusotsuste tegemiseks ja optimaalsete kaevandamistehnoloogiate valikuks. Loomulikult ei ole selle teabe aluseks ainuüksi puuraukude rajamine. Igaüks neist tuleb hoolikalt dokumenteerida, vajalikul viisil proovida, analüüsida laboritesse toimetada, nende tulemused töödelda, suuremahulised arvutused sooritada, hüdroteoloogilised proovipumpamised korraldada, vajalikud kaardid ja geoloogilised läbilõiked koostada. Kõik see materjal koondatakse eeluuringu aruandesse, mis antakse üle tellijale, riiklikule maavarade komisjonile ja lõpuks, kui ta tunnistatakse üldkasutatavaks, ka riiklikku geoloogia fondi. Aruannete vormid ja graafilised materjalid võivad olla erinevatel aegadel ja erinevates maades väga erinevad, kuid reeglina peavad nad sisaldama:

1. maavara leviku kaardi koos andmetega tema struktuurinäitajate (paksuse, lasumuse, läbilõigete muutlikkuse) kohta
2. maavara kvaliteeti iseloomustava andmestiku (analüüsides tabelid, kasuliku komponendi jaotumispildi, tehnoloogiliste katsetuste tulemused)
3. maavara koguse arvutuse (varuarvutuse)
4. leiukoha hüdroteoloogilist olukorda iseloomustava andmestiku.

Nende parameetrite põhjal annab eeluuringu teostaja ka maardla tööstuslik-majandusliku üldhinnangu, mis ongi eeluuringu põhiülesandeks.

3.3.2. Detailuuring

Detailuuring viiakse harilikult läbi eeluuringuga kaetud suurema leiukoha mingil, enamasti kõige tootmisväärsel osal. Harvemini, seda üksnes väiksemate leiukohtade puhul, haarab detailuuring leiukoha tervikuna. Detailuuringu põhieesmärgiks on andmete saamine maavara kasutuselevõtuks vajaliku mäetööstusliku ettevõtte projekteerimiseks. Seetõttu erineb detailuuring eeluuringust eelkõige oma suurema üksikasjalisuse poolest. Tihendatakse puuraukudevõrku, suurendatakse proovide arvuga analüüsandmete usaldusväärsust, tehakse varude ümberarvutused maavara sortide kaupa, koostatakse maardla suuremõdulised kaardid-plaanid. Tavapäraselt kuulub detailuuringu juurde nn. tehnoloogilise proovi võtmine ja selle saatmine analoogilisel toormel töötavasse ettevõttesse pooltööstuslike katsetuste läbiviimiseks. Tehnoloogiline proov on koguseliselt suur - tihti peale kümneid tonne kaaluv - ja tema kättesaamiseks rajatakse sageli nn. katsekarjäär.

Graafilised uuringumaterjalid koostatakse detailuuringul tavaliselt mõõtkavades 1:5000; 1:2000; 1:1000 (kuni 1:500 eriti keerukatel juhtudel). Maavaralasundist eristatakse eri kvaliteediga sordid ning tehakse nende lähteparameetrite alusel varude arvutus ka sortide kaupa. Eeluuringust suuremal määral uuritakse maardla eksploateerimise hüdroteoloogilisi ja mäetehnilisi tingimusi. Sageli töötatakse väga tihedas kontaktis uuringu tellijaga ja täidetakse tema esitatud lisatingimusi maardla mäetööstusettevõttele ettevalmistamiseks.

Uuringupuuraukude vahekaugus maardlal tihendatakse lihtsa ehitusega kihtmaardlate puhul 100-200 meetrini, läätsjate kehade puhul 30-50 meetrini, looklevate ja hargnevate maagisoonte korral 10-20 meetrini. Viimaste puhul on sageli möödapääsematud ka kaevetööd, mis planeeritakse maardlal juba nii, et neid saaks hiljem kasutada ka eksploatatsioonikaevanditena.

Detailuuringu puhul võidakse planeerida ka rida lisatöid - näiteks insener-geoloogilisi uuringuid nõlvade püsivuse kindlustamiseks, väljaveoteede rajamiseks, veeärastusabinõude rakendamiseks jne. Üldjuhiseid nende läbiviimiseks on siinkohal raske anda.

Rõhutagem üksnes, et detailuuringute käigus täpsustub oluliselt pilt maardla tähtsamast näitajast - maavara tegelikust hulgast ja tema varudest eri sortide kaupa. Arusaadavalt on see olulisim tegur maardla kasutuselevõtu algatamiseks.

3.3.3. Järeluuring (eksploatatsiooniline uuring)

Praktilises kaevandamistegevuses võib sageli ette tulla probleeme, mille lahendamiseks ei piisa geoloogiliste detailuuringute käigus saadud andmetest. Enamasti on need seotud põhjavee ootamatu tungimisega kaevanduskäikudesse, tektoonilise rikkevõõndi lähedusest tingitud lagede püsivuse vähenemisega, prognoosimatute karsttühikute avastamisega, maavara kvaliteedi ootamatu muutumise või millegi muuga. Väiksemad küsimused lahendab kaevandav organisatsioon oma geoloogiateenistuse jõududega, selle ebapiisavuse korral sõlmib ühekordsed konsultatsioonilepingud olemasolevate geoloogiaasutustega, harukordsematel juhtumitel tellib neilt ka mahukama uurimistöö - järeluuringu. Selle töö eesmärk on enamasti väga konkreetne, töö maht ja sisu määratakse tavaliselt kohapeal ja üldiseid juhiseid selle kohta on eelnevalt raske anda.

Üheks järeluuringu tavalisemaks liigiks on kaevandamistöö nihkumine leiukoha senisele perspektiivalale või maardla sellele osale, mis mingitel tehnoloogilistel põhjustel on seni tootmissfäärist välja jäetud (näiteks passiivse varu ala). Ka võib järeluuringute vajadus tekkida uute kaevandamistehnoloogiate rakendamisel või tellijapoolsel maavarale esitatud nõuete muutmisel. Põhimõtteliselt kulgeb järeluuring sel juhul sarnaselt detailuuringule, kuid püstitatud konkreetsetest ülesannetest lähtuvalt võib omada ka olulisi kõrvalekaldeid. Nende töömahtude ja -meetodite suhtes lepivad tellija ja täitja kokku juba kõiki vajalikke asjaolusid arvestades.

3.4. Varude arvutus

See tööloik on maardlate uurimisel tähtsaim, seega tehakse seda väga hoolikalt, sageli üheaegselt mitmes paralleelvariandis, eri meetodikaid kasutades. Sellele vaatamata võivad lõpptulemustes ette tulla tõsised vead - eriti juhul, kui geoloogiline andmestik ei ole piisavalt usaldusväärne. Eelnevalt vihjasime raskustele maavaralasuundi kui konkreetse geomeetrilise keha kuju määramisel, eriti soonmaardlate puhul, kus geoloogiline puurimine ei pruugi anda lasundist õiget pilti. Samalaadsed raskused võivad ette tulla ka pudedate maavarade puhul, kui puurimine ei võimalda piisavalt esinduslikku puursüdamikku saada (näiteks Eesti fosforiidid). Ka on viimasel ajal süvenemas suund asendada kulukaid puurimistöid odavamate geofüüsikaliste uuringutega, mis aga lõppkokkuvõttes siiski kahandab algandmete usaldusväärust. Siinkohal ei räägi me vedelate ja gaasiliste maavarade (nafta, gaas, mineraalvesi jt.) varude määramisest, mis nõuab hoopiski erilaadseid juurdeminekuid ja jääb lõppkokkuvõttes ikkagi väga hüpoteetiliseks.

Maardla varu arvutamisel peab geoloog neid asjaolusid hoolikalt silmas pidama.

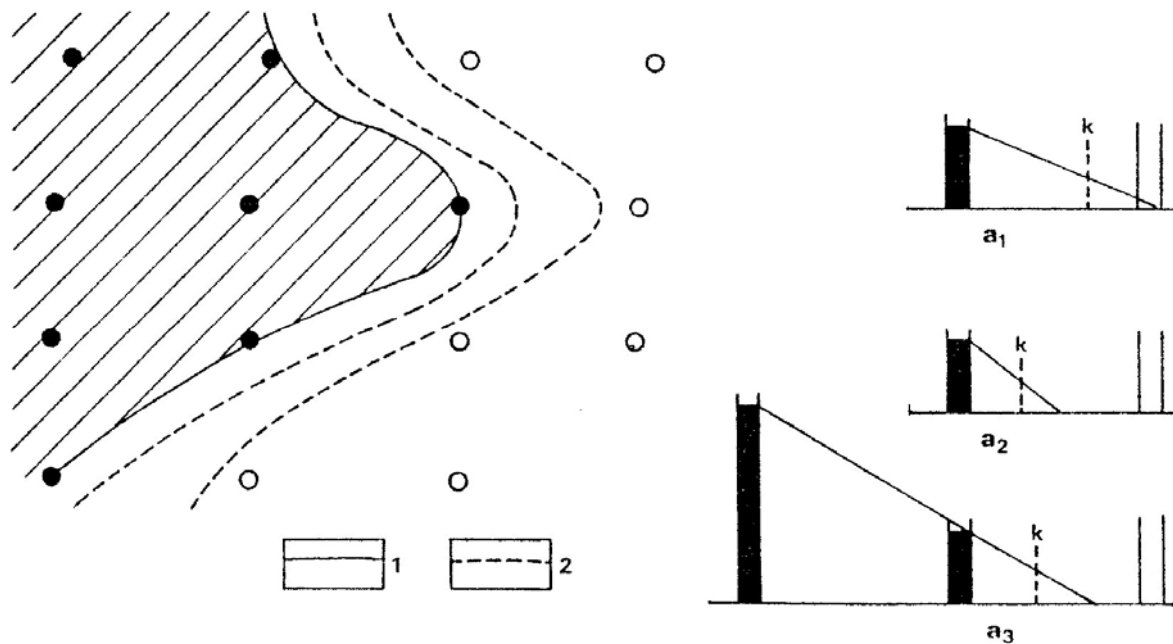
Üldjuhul lähtutakse kõigi maavarade ressursi arvutamisel lihtsast valemist

$$P = S \times m \times \gamma \times c$$

kus P on kasuliku komponendi (näiteks metalli) hulk tonnides, S - maavara leviku pindala (m^2), m - maavaralasuundi paksus (m), γ - maavara tihedus (Mg/t) ja c - maavara metallisisaldus (%), arvutustel osahikuna). Põhimõtteliselt on see arvutus lihtne, sest vastavaid lähteandmeid saadaksegi geoloogilisel uuringul - nii otseselt välitööil kui ka laboratoorsesel määrangutel. Praktikas on see protseduur aga siiski keerukam.

Pindala. Maavara leviku pindala määramiseks on hädavajalik leiukoht piiritleda. See aga polegi nii lihtne. Ühendades omavahel joonega kõik maardla oletatava välispiiri lähedal paiknevad puuraugud, milles maavara esineb veel konditsioonilisena, saame maardla sisemise kontuuri. Ühendades samasuguse joonega lähimad puuraugud, milles maavara puudub (või on mittekontsiooniline), saame teistsuguse kontuuri, mis piirab hoopis teise suurusega pindala. On selge, et tõeline maardla piir kulgeb kusagil nende kahe vahel. Selle arvestamatajätmine või toetumine üksnes maardla sisekontuurile viiks meid põhjendamatult osa tegeliku varu mitteamistamisele. Seepärast leitakse ekstrapoleerimise teel tõenäoline maardla tegelik välispiir, milleks kasutatakse mitmeid meetodeid (joonis 13). Neist kolm tavapärasemat:

a) ekstrapoleerimine täisintervallile, b) ekstrapoleerimine poolintervallile, c) graafiline ekstrapoleerimine maardla piires asuva lähima puuraugu abil. Vastava maavara konditsiooninõue määrab neil meetodil maavara tegeliku levikupiiri palju täpsemalt, kuid, nagu jooniselt näha, siiski erinevalt. Kõige ettevaatlikuma meetodina tuleks eelistada ekstrapoleerimist poolintervalli meetodil.



Joonis 13. Maardla kontuurimine puuraukude andmeil.

1 - sisekontuur, 2 - võimalikud väliskontuurivariandid. Paremäl näidatud väliskontuuri määramine eri meetoditel: ülal - lihtekstrapoleerimine, keskel - ekstrapoleerimine poolintervallile, all - graafiline ekstrapoleerimine.

Praktikas tuleb eristada veel maardla tegelikku e. geoloogilist piiri ja reaalselt e. majanduslik-administratiivset piiri, mille määrab reaalne mäevaldus leiukohal.

Kui maardla on piiritletud, tuleb määrata piiratud ala pindala planimeetri, läbipaistva mõõteruudustiku või mõne matemaatilise arvutusmeetodi abil. Saadaksegi põhivalemis kasutamiseks vajalik arvutuslik parameeter S .

Lasundi paksus saadakse enamasti otse geoloogilise uuringu aruandest. Rõhtsalt lasuvate kihtide puhul võetakse vajalik arv vastava puursüdamiku kirjeldusest. Tugevasti kallutatud kihtide puhul tuleks viia sisse parandus, sest puursüdamikus määratav näiline paksus (l) võib tegelikust (m) oluliselt erineda:

$$m = l \times \cos \alpha,$$

kus α on kihtide kaldenurk. Samas tuleb aga arvestada, et kallaku kihi puhul on meil tegemist ka kaardipildis tegelikust erineva näilise pindalaga, mis on kihi enese pindalast mõnevõrra suurem,. Siin on suhe

$$S = S_1 / \cos \alpha,$$

mis samasse põhivalemisse viiduna kompenseerib parandusvajaduse paksuste järgi. Seetõttu kihikallete puhul, mis ei ületa 45° horisondi suhtes, neid parandusi varude arvutustesse tavaliselt ei viida. Suuremate kallakuste puhul on meil tegelikult tegemist juba soonmaardlaga, kus varude arvutus on nagoonii tunduvalt keerukam ja nõuab märkšneiderlikke erimenetlusi, sest puurimistega saadud andmestik on siin õigeaks varuarvutuseks sageli ebapiisav.

Maavara tihedus (mahumass) määratakse selleks, et maavaralasundi eeltoodud mõõtmetest saaks üle minna raskusühikutele, tonnidele. Mõne maavaraaliigi (ehitusmaterjalid, turvas jt.) jaoks, mida kasutatakse täismahus, seda polegi alati tarvis määrata, eriti juhul, kui varudearvestust peetaksegi m^3 -s. Kuid harilikult on seda näitajat siiski tarvis teada, kasvõi transpordivahendite kasutuse planeerimiseks.

Tavaliselt määratakse mahumass vaid üksikutes proovides - enamasti katsekaevandis, kus kindla ruumimahuga kaevandist väljatud maavarakogus kaalutakse tervikuna - saadaksegi näitaja γ .

Kasuliku komponendi sisaldus (kontsentratsioon) on vajalik maavarade puhul, millest kasutatakse vaid üht osa - enamasti maakidest eraldatavat metalli. Leiukoha ressursi hindamisel ei huvita ju tootjat sel puhul mitte niivõrd väljatava kivimi kogus, kuivõrd just tööstuses kasutatava komponendi hulk. See saadakse süsteemikindlaks laboratoorseks uuringuks võetavate proovide analüüside alusel. Sisaldusnäitaja võib olla väga muutlik, seetõttu viiakse näitaja c valemisse alati mingi analüüsidekogumi keskmisena. Kasutatakse kas aritmeetilist keskmist

või, veelgi sagedamini, kui üksikproovid iseloomustavad eri paksusega intervale, kaalutud keskmist

$$(c_1 a_1 + c_2 a_2 + \dots + c_n a_n) / (a_1 + a_2 + \dots + a_n),$$

kus a on konkreetse proovimissektsiooni pikkus meetrites.

Varude arvutamisel kasutatakse mitmesuguseid arvutusmeetodeid, sõltuvalt vajalikust täpsusest, leiukoha iseärasustest ja üldisest otstarbekusest.

3.4.1. Aritmeetilise keskmise meetod

Arvutuslikult lihtsaim. Ülaltoodud põhivalemisse sisendatakse näitajad aritmeetiliste keskmistena. Määratud pindala S korrutatakse maavaralasundi keskmise paksusega kõigis leiukoha punktides. Nii saadakse ruumala

$$V = S (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / n, \text{ (m}^3\text{)}.$$

Siit minnakse raskusühikule

$$Q = V \gamma \quad (\text{t})$$

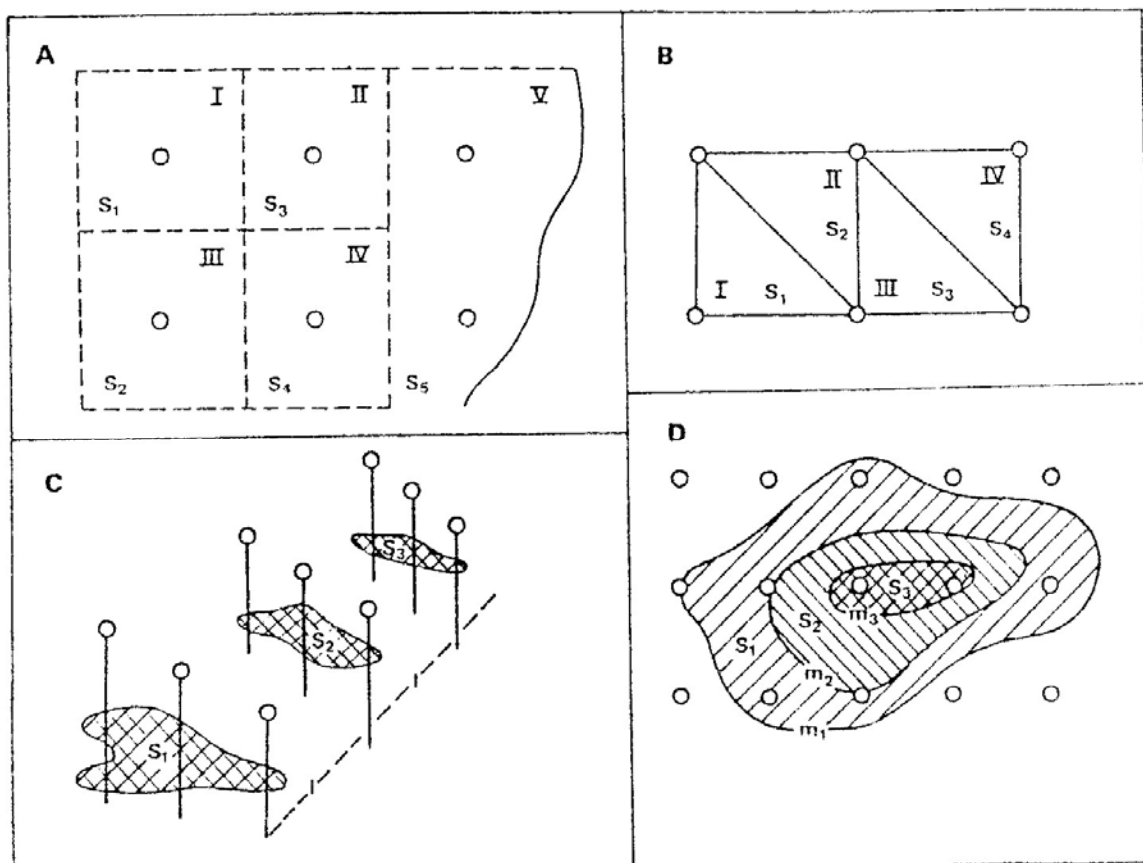
ja sealt omakorda keskmisi sisaldusi arvestavalt kasuliku komponendi üldhulgale

$$P = Q ((c_1 + c_2 + \dots + c_n) / n) \quad (\text{t}).$$

Meetod on kiire, kuid äärmiselt ligikaudne ja hinnanguline ning ei võimalda iseloomustada leiukohta selle üksikosade kaupa. Meetodit kasutatakse peamiselt esialgsetel arvutustel.

3.4.2. Geoloogiliste plokkide meetod

Klassikalisel kujul meetodit kasutades jagatakse maardla iga puuraugu või kaevandi ümber nelinurkseteks väljadeks, mille pindala on püsiv või arvutuslikult lihtne määrata (joonis 14A). Lasundi paksus võetakse keskmiselt asuva puuraugu kirjeldusest, kontsentratsioon samast analüüsitud proovide keskmisena. Nii arvutatakse iga ploki varu eraldi, leiukoha varu tervikuna saadakse üksikplokkide andmete summeerimisel. Meetod on täpne, peegeldab piisavalt objektiivselt maavara jaotuseärasusi leiukoha piires, võimaldab töödelda andmeid erinevate kaevandamisperioodide ja territooriumiosade lõikes, teha alati vajalikke ümberjaotusi jne. Meetodi puuduseks on suur arvutuslik töömaht.



Joonis 14. Varu arutamise meetodeid.

A - geoloogiliste plokkide meetod, B - kolmnurkade meetod, C - paralleelsete vertikaalläbilõigete meetod, D - samapaksusjoonte meetod.

Kõnealune meetod ongi varude arvutusel kõige laialdasemalt kasutusel, kuid üksnes selle vahega, et kirjeldatud klassikaliste plokkide asemel eraldatakse neid mitmes variatsioonis, silmas pidades maardla erinevaid looduslikke või majanduslik-administratiivseid osi. Teisisõnu, maardlat ei jagata üksikplokkideks rangete väljadena puuraukude ümber, vaid mingi teise, antud juhul otstarbekaks osutuva liigestuse alusel. Niiviisi võivad eraldatud plokkid saada iseloomustuse mitme, mõnikord isegi suure hulga ploki piires paiknevate puuraukude andmestikul. Arusaadavalt läheneb meetod sel juhul aritmeetilise keskmise meetodile, mida ei rakendata aga maardla jaoks tervikuna, vaid selle üksikosadele eraldi. Meetodi kasutamine on seetõttu väga paindlik, mistõttu teda praktikas ka eelistatakse. Vältida tuleks vaid subjektiivsust plokkide eristamisel.

3.4.3. Kolmnurkade meetod

Täpne, objektiivne ja piisavalt formaliseeritud meetod (joonis 14B). Leiukoht jagatakse kolmnurkseteks üksikväljadeks, mille pindala on puuraukude vahekauguste abil imelihtne määrata. Välja iseloomustamiseks kasutatakse kõigi kolme tipus asetseva puurauku andmestikku, keskmisena nii paksuste kui ka sisalduste kohta.

$$P = S_1 ((m_1 + m_2 + m_3) / 3) ((c_1 + c_2 + \dots + c_n) / 3) \gamma + S_2 + \dots + S_n$$

Seejuures kasutatakse kolmnurkade tippudes asuvate puuraukude andmestikku korduvalt - ka naaberväljade varu arvestamiseks. Meetod on konstruktsioonilt lihtne, arvutuslikult küll töömahukas, kuid sisaldab kõiki geoloogiliste plokkide meetodi häid külgi. Ka võib kolmnurkade meetodil tehtavaid arvutusi lihtsustada valitud kolmnurkade arvu hõrendamise (vähendamise) teel või, vastupidi, alul hõredale võrgule tuginevaid arvutusi hiljem tihendada. Ebameeldiv on meetodi rakendamine üksnes maardla äärealal, kus pindala ei ole võimalik katta rangete kolmnurksete väljadega.

3.4.4. Paralleelsete läbilõigete meetod

See meetod on kasutusel enamasti väga ebapüsivate paksustega läätsjate maavaralasundite puhul. Eesti alal võiks sellise näitena nimetada hinnalisest kruusliivast koosnevaid oosiseljandikke, mis maapinnal vallilaadseid maavarakuhjeid moodustavad. Ristisuunas läätse (valli) läbiva puuraukuderea baasil koostatakse maardlast paralleelsed geoloogilised läbilõiked, milles määratakse mõõteruudustiku abil maavara esinemispindala (S) vertikaaltasandil (joonis 14C). Läbilõigete vahekaugus maastikul on siin valemi jaoks paksuseks (m), mida antud juhul mõõdetakse horisontaaltasapinnal. Lihtkorrutisega saadakse ruumala

$$V = S_1 m_1 + S_2 m_2 + \dots + S_n m_n$$

ja mahumassi abil maavara kogus raskusühikutes. Kontsentratsiooniparameeter saadakse läbilõikel paiknevate puuraukude keskmisena, kuid kuna nimetatud meetodit kasutatakse sageli just ehitusmaterjali maardlate uurimisel, langeb vajadus selle näitaja järele tihti peale hoopiski ära. Meetodit rakendatakse praktikas üsna laialdaselt, tema põhiraskuseks on pindalamäärangu keerukus vertikaalläbilõigetel. Seejuures ei tohi unustada, et vertikaalläbilõiked koostatakse harilikult erinevates horisontaal- ja vertikaalmõõtkavades.

3.4.5. Samapaksusjoonte meetod

Harvemini kasutatav meetod läätsjate horisontaallasuvusega maavarade jaoks (joonis 14D). Maardla jaotatakse eri vöönditeks, mida piiravad lasundi samapaksusjooned. Iga vööndi jaoks tuleb määrata eraldi pindala mõõteruudustiku abil ($S_1, S_2 \dots S_n$) ning iga vööndi jaoks arvutatakse seda iseloomustav keskmine paksus

$$(m_1 + m_2) / 2,$$

mille korrutis pindalaga annab maavara ruumala antud vööndis. Mahumassi ja sisalduste sisseviimine valemisse toimub tavapärasel viisil, keskmise sisalduse saamiseks tuleb kasutada antud vööndi piiridesse jäävate puuraukude andmestikku.

Leiukoha üldvaru saadakse eri vööndite arvandmete summeerimisel. Erilist tähelepanu arvutustel vajab suurimate paksuste vöönd, kus lasundi tegelik paksus pole enam piisava täpsusega määratav.

Meetodil ei ole märkimisväärseid eeliseid ülalmärgitute ees. Mõnikord on ta siiski kasulik nende leiukohtade puhul, kus paksuste muutumine maardla piires on keerukas, mitmemaksimumiline ja kus teisedki meetodid ei taga piisavalt täpset tulemust.

Kokkuvõttes tuleb öelda, et maavarade ressursi arvutamiseks on mitmesuguseid võtteid, millele tuleb konkreetseid arvandmeid esitades ka viidata. Neid kõiki ühendab siiski üks juurdeminek - maardla samastatakse mingi geomeetriliselt mõistetava kehaga ja püütakse määrata tema ruumala, enamasti ta siiski mõtteliselt erinevateks osadeks tükeldades. Saadud ruumimaht teisendatakse raskusühikuteks, mis võimaldab laboratoorseid analüüsitulemusi arvutuslikult kasutada vastava maavarakomponendi absoluut hulga arvutamiseks. See ongi leiukoha varu, millele tugineb tema kasutuselevõtu majanduslik arvestus.

Millist arvutusviisi valida, see sõltub paljudest teguritest. Esikohal on siin sageli traditsioonid, administratiivsed ettekirjutused, tellija nõudmised. Kuid tähtsusetu pole ka geoloogiliste andmete täiuslikkus. Väheste ja ebamääraste lähteandmete puhul pole ju mõtet teha mitmevariandilisi keerukaid arvutusi, nagu pole mõtet rikkaliku andmematerjali korral piirduda ka üksnes hinnanguliste keskmiste arväärtustega. Otsuse ühe või teise arvutusviisi kasuks peab tegema spetsialist, toetudes erinevate arvutusviiside poolt pakutavatele võimalustele.

3.5. Varude klassifikatsioon

Leiukohas paikneva maavarakoguse - s.o. varu - arvuline määratlus võib olla väga erineva usaldusväärsusega. Esialgseid arvutusi võib teha juba kuulduste või väga ligikaudsete hinnangute põhjal. Otsingutööd, mis eesmärgikindlamalt piiritlevad maavara paiknemisala, saavad samuti anda vaid üsna ligikaudseid hinnanguid, sest süstemaatilist maavaralasundi läbimist kindla puurimistööde

võrguga siin veel ei toimu. Täpsemaid arvutusi võimaldavad üksnes uuringutööd. Ometi leidub ka maavarasid, mille lõpliku varu saab arvuliselt määrata üksnes pärast leiukoha täielikku ammendamist - näiteks nafta puhul on see enamasti nii. Siit on selge, et varu arvulise näitaja usaldusväärsus sõltub eelkõige leiukoha uurituse tasemest, mida tuleb alati arvestada. Uurimisastme järgi eristatakse järgmisi varutüüpe:

1. hüpoteetiline
2. prognoosne
3. perspektiivne ehk reservvaru
4. tööstuslik ehk tarbevaru

Hüpoteetilised varud arvutatakse tavaliselt üldgeoloogilisest olukorrast lähtuvalt, eelnevalt antud maavara kohta mingeid süstemaatilisi uuringuid läbi viimata. Näiteks tehakse geoloogilisel kaardistamisel kindlaks, et siin-seal on ala läbivate jõgede liivas kunagi kaevandatud kulda. Arvutatakse ligikaudne jõeliiva maht sellel alal, võetakse arvesse siin paikneva graniidimassiivi ääreala suurus, küsitletakse kohalikke elanikke ja arvutatakse ligikaudne, puhtalt oletuslik kullavaru vaadeldaval territooriumil.

Prognoosne varu saadakse tavapäraselt otsingutööde tulemusena. Niisiis on prognoosse varu aluseks juba konkreetne leiukoht. Enamasti on siin kasutada ka usaldusväärsed laboratooriumianalüüsid kasuliku komponendi sisalduse või maavara kasutamiskõlblikkuse kohta, loodud on ettekujutus maavaralasundi geometriast ja levikupiiridest. Need arvutused annavad varu, millele võib toetuda uuringute planeerimisel.

Perspektiivne varu e. **reservvaru** saadakse eeluuringu tulemusel. Eelkõige kontrollitakse otsingutel saadud tulemust, kuid korrapärase läbipuurimise ja maardla täpse kontuurimise teel tehakse juba igati korrektne arvutus maavara tegelikust kogusest. Sellele rajatakse tähtsad otsused maavara kasutuselevõtu otstarbekuse suhtes.

Tööstuslik varu e. **tarbevaru** määratakse detailuuringul. Suuremate leiukohtade puhul saadakse see vaid leiukoha ühe osa kohta, sest koheselt ei suudeta detailuuringuga katta kogu leiukoha territooriumi. Ülejäänud piirkond jääb nn. perspektiivalaks, mille varu kannab siis ka perspektiivse e. reservvaru nimetust. Detailuuringuga kaetud ala - s.o. tööstuslikuks kasutamiseks geoloogilises mõttes täielikult ette valmistatud leiukoha osa - nimetataksegi mõnikord maardlaks, mõnikord hõlmatakse maardla mõistesse ka perspektiivsete varudega ala (tervikuna või osaliselt).

Varasemal ajal kandsid nimetatud varutüübid ka tähtindeksid - A, B, C1, C2, mis aga päris täpselt ei vasta ülaltoodud varurühmadele. Enamasti võeti varu arvele valemi $A+B+C1$ alusel, mis tähendas seda, et kaevandamise aluseks pidi olema teatud hulk täpselt uuritud varu (A), teatud hulk vähemtäpselt määratud varu (B) ning ka leiukoha edasiseks laiendamiseks vajalik perspektiivne e. reservvaru (C1). Prognoosvaru (C2) tõsisemates otsustes arvesse ei võetud.

Kuid varude geoloogilise uurituse astmestik on varude kasutamise ja liigitamise juures vaid üheks vajalikuks parameetriks. Teise loob reaalne olukord maastikul. Maavara kandev geoloogiline keha võib olla terviklikult ja nõuetekohaselt uuritud, kuid selle praktiline evitamine on võimalik vaid osaliselt. Näiteks on leiukoha üks osa liiga suure katendiga või koguni hoonestatud, paikneb ohtliku veesissevoolu vööndi läheduses, ulatub looduskaitsealale või piiriäärsele sõjaväepolügoonile vms. Need puhtmajanduslikud või administratiivsed, mõnikord ka tehnoloogilised piirangud sunnivad maavara varu jaotama aktiivseks ja passiivseks varuks. Aktiivne varu on maavara hulk, mille saab koheselt, eriliste pingutusteta kasutusele võtta. Passiivse varu kohta kehtivad hetkel piirangud, mis hiljem võivad saada ka kõrvaldatud. Näiteks paranevad majanduslikud tingimused (saab kompenseerida katendi eemaldamise kulutused, kinni maksta põllumaa ja isegi hoonestuse, täiustada maavara kaevandamise ja töötlemise tehnoloogiat), kõrvaldatakse administratiivsed takistused (polügoon suletakse, kaitseala likvideeritakse jne.), lahendatakse keskkonnakaitseprobleemid (korraldatakse veevarustus, rajatakse puhastusseadmed) jne. Osa passiivsest varust muutub niiviisi aktiivseks ja leiukoha ressursipotentsiaal suureneb. Juhtuda võib aga ka vastupidi - mingi tähtsa rajatise alla võetakse osa leiukohast (Narva fosforiidileiukoht Eestis) ja tema aktiivvaru kustutatakse.

Niisiis, sõltumata leiukoha geoloogilise uurituse astmest, tuleb selle varu jaotada veel administratiiv-majandusliku kasutusvõimaluse seisukohast kaheks alamklassiks - nn. bilansiliseks ehk aktiivseks varuks ja bilansiväliseks ehk passiivseks varuks. Sõltumatute juurdeminekute tõttu mõlemale jaotusviisile on varude liigitus otstarbekas anda tabeli kujul (tabel 3).

Tabel 3. Maavara varu klassifikatsioon

Maavara varu klassifikatsioon				
UURITUSASTE				
	MÄÄRATUD	HINNATUD	EELHINNATUD	OLETUSLIK
AKTIIVNE	TARBEVARU (bilansiline)	RESERVVARU		
PASSIIVNE	TARBEVARU (bilansiväline)	RESERVVARU	PROGNOOS- VARU	HÜPOTEETILINE VARU

Töötavate mäetööstusettevõtete puhul on aktiivne varu pidevalt muutuv suurus - iga-aastase toodangu arvel selle hulk kahaneb, mistõttu riiklikes institutsioonides peetakse selle pidevat arvestust. Aasta lõpul teatud osa varust kustutatakse - peetakse varu jooksevarvestust e. bilanssi. Laieneva tootmise taustal võidakse perspektiivalal teha ka täiendavaid detailuuringuid ja maardla aktiivset tarbevaru suurendada, mida tehakse vastava riikliku komisjoni otsusel ja kantakse samuti üldbilanssi.

Märkigem veel, et geoloogiliselt uuritud varude hulka arvatakse kogu maapõues paikneva maavara hulk, sõltumata sellest, millist osa sellest kasutatakse. Teatavasti on maavara kaevandamisel kaod vältimatud, eriti allmaamenetlusel, kus kaevanduskäikude vahele tuleb jätta suured kaevandamata kaitsetervikud (mõnikord kuni 30% varust). Need kaod tuleb tootmisel maha kanda koos toodanguks kasutatud varudega. Geoloogiliste varude tabelites tootmiskadusid ei arvestata - siin antakse andmed maapõues olemasolevast ainekogusest.

Maavarade arvestust peetakse üldjuhul tonnides. Mõnel juhul - eriti ehitusmaterjali- ja energeetikatööstuses - kasutatakse ka ruumiühikut - m³. Seda tuleb arvandmete kasutamisel alati hoolikalt tähele panna.

3.6. Tehnilised uuringumeetodid

Põhiliseks maardlate geoloogilise uurimise meetodiks on tänapäeval muutunud puurimistööd, mis kulgevad suhteliselt kiiresti ja annavad enamasti piisavalt täpseid andmeid leiukoha ehituse ja kivimilise koostise kohta. Real juhtudel ei anna puurimine aga soovitud tulemusi, seda nii puhttehnilistel, kuid sagedamini siiski geoloogilistel põhjustel, näiteks püstisuunas orienteeritud soonmaardlate puhul.

Neil juhtudel tuleb rakendada mäetehnilisi läbindustöid, mis on märksa aeglasemad ja kulukamad ning mida seetõttu püütakse maksimaalselt ühitada eelseisvatel kaevandamistöödel vajaminevate mäetöödega. Kõrvuti nimetatutega kasutatakse maardlate uurimisel ka spetsiaalseid geofüüsikalisi meetodeid - geolokatsiooni, elektromeetriat, magnetomeetriat, gravimeetriat, seismomeetriat, puuraukude karotaazi jt. uurimisevõtteid. Kaudsete meetoditena on neil leiukoha kaevandamiseks ettevalmistamisel täita siiski vaid teisejärguline ja abistav roll - enam kasutatakse neid maavarade otsingutöödel.

Kõigist maardlate uurimisel kasutatavatest keerukatest tehnilistest töövõtetest saame alljärgnevalt anda vaid pögusa põhimõttelise ülevaate.

3.6.1. Puurimine

Puurimisel rajatakse maakoode vertikaalne silindriline tühimik, mille tegemisel püütakse temast välja tuua ka läbitud intervalli kivimmaterjal, selleks, et võtta analüüsideks proove ja kasutada seda ka geoloogilise läbilõike võimalikult täpseks dokumenteerimiseks. Puuraukude pikitelg on üldjuhul vertikaalne, puurimisprotsessis ta mõnikord ka mõnevõrra kõverdub. Põhimõtteliselt on võimalik ka kallak- ja horisontaalsuunaline puurimine, kuid need võimalused on üsna piiratud ja geoloogilises praktikas üliharva kasutatavad. Puuraukude diameeter on enamasti 30-250 mm piires, astmeliselt sügavuse suunas ahenev. Sügavus on mõnest meetrist mõnesaja meetrini, sügavpuuraukude puhul ulatub see 3-5 km-ni. Tänapäevaste maavarade (v.a. nafta ja maagaas) uuringul on optimaalseim puuraukude sügavus 50-100 m, seega otseselt ühilduv reaalse kaevandamissügavusega. Puurimist alustatakse maapinnalt suurema diameetriga, hõõrdeteguri vähendamiseks asendatakse see järkjärgult väiksemaga. Eesti oludes läbitakse aluspõhjakiivid enamasti diameetriga 135-85 mm, aluskorra moonde- ja magmakivid diameetriga 50-30 mm.

Oma kasutusotstarbelt jagunevad puuraugud

1. geoloogilis-uuringulisteks
2. eksploatatsioonilisteks (nafta, maagaasi, põhjavee väljamiseks)
3. tehnilisteks (ventilatsioon- ja kaablitrasside rajamiseks, varustuse edasitoimetamiseks jne.).

Meie ainevaldkonnas on olulisemaks geoloogilis-uuringulised puuraugud, mis oma kasutamiseesmärgilt jagunevad:

1. proovimispuuraukudeks
2. hüdroteoloogilisteks puuraukudeks
3. struktuur-geoloogilisteks (läbilõigete koostamiseks kasutatavateks) puuraukudeks
4. parameetrilisteks puuraukudeks (teatud füüsikaliste tehniliste näitajate hankimiseks).

Selline jaotus on üsna tinglik, sest puurimistöde kõrge maksumuse tõttu püütakse kaasajal puurauke, kus aga võimalik, kasutada kogu hinnalise informatsiooni kättesaamiseks. Pigem peegeldab toodud liigitus erinevat rõhuasetust puurimistöde algatamisel.

Tehniliselt teostuselt jaotub puurimine kaheks alaliigiks:

1. pöörlevpuurimine
2. löökpuurimine.

Esimesel juhul pannakse puurinstrument vertikaaltelje ümber pöörlema ning tema otsaääristele kinnitatud kõvasulamist lõiketerad (puurimiskroon) kulutavad aeglaselt kivimisse silindrikujulise süvendi. Löökpuurimisel kasutatakse peitelterasid, mida pidevalt üles tõstetakse ja seejärel löögiga järsult alla lastakse. Peitel purustab kivimi killustikuks, mis tugeva veejoa abil puuraugust pinnale tuuakse. Arusaadavalt eelistatakse geoloogilistel töödel pöörlevpuurimist, mille käigus läbikulutatud intervalli kivimist jääb puuraugu keskmesse lõhkumata kivimiosa. Lõhkumata kujul tungib see kivimimonoliit puurtoru silinderjasse sisemusse ning tõstetakse seejärel koos puurinstrumendiga maapinnale. See kivimiproov läbitud intervallist kannab nimetust puursüdamik ja on puurimistöde kõige hinnatavamaks tulemuseks. Seepärast kasutatakse väheinformatiivset löökpuurimist tänapäeval üksnes tehniliste ja eksploatatsiooniliste puuraukude rajamisel. Märkigem siiski, et ka pöörlevpuurimist tehakse paljudel juhtudel ilma puursüdamikku saamata - seda sel juhul, kui pöörlevana ei kasutata puurvarraste otsas puurimiskrooniga varustatud toru, vaid hoopis kolmest hammastatud rattast koosnevat näriksat. Seda menetlust rakendatakse laialdaselt naftapuuraugude rajamisel ja, analoogiliselt löökpuurimisega, saadakse sellelgi juhul puuraugust kätte vaid segipaisatud peen kivimipuru, mis geoloogilisteks uuringuteks on peaaegu väärtusetu.

Puurimistöde puhul võib veel eristada käsitsi- ja mehaanilist puurimist. Mõistagi on esimene neist pigem ajalugu. Tänapäeva puurimistehnika oma võimsa jõuajamiga on monteeritud autole või lintveokile, vaid sügavate ja vastutusrikaste puurimistöde puhul kasutatakse statsionaarselt paigaldatavat puurimisseadet. Ülisügava puuraugu rajamiseks monteeritakse puurimiskohale kogukas seadmetesõlm, mida võiks nimetada isegi väikeseks tehaseks.

Puurimistöde iseloomulikuks saatjaks on puurtorn (ka autodel). See on vajalik maapõuest väljatõstetavate puurvarraste ajutiseks vertikaalasendis hoidmiseks puurinstrumendi väljatõstmisel ja südamikukoormast vabastamisel. Puurvarraste horisontaalselt maapinnale asetamine nõuaks tohutult lisatööd. Mõistagi tuleb puurimistööd äikesehu korral katkestada - metallist puurtorn sellele toetuvate puurvarrastega on sel juhul ilmselge ohuallikas.

Puurimisel maapinnale toodud silindrikujulised kivimonoliidid (mis kihipindasid mööda lagunevad siiski sagedamini litriteks), paigutatakse järjestikku südamikukastidesse, kus geoloog nad hoolikalt dokumenteerib, südamiku pikisuunas poolitamise teel vajalikud proovid võtab ja kastid sügavusetähistega markeerib. Seejärel toimetatakse südamikukastid vastavatesse hoidlatesse, kus neid säilitatakse aastakümneid ja tehakse seega kättesaadavaks paljudele edasistele uurijatele.

3.6.2. Mäetööd

Selle maavara läbindamisviisi eeliseks on leiukohast väga täpse ettekujutuse loomine ja võimalus võtta töötlemisele suuremahulisi proove - eriti pooltööstuslikeks katsetusteks (nn. tehnoloogiline proov). Ka võimaldavad mäetööd määrata kivimi algseid füüsikalisi-mehaanilisi omadusi, näiteks kasvõi elementaarset mahumassi, mille määramine vibratsiooniga osaliselt killustatud puursüdamikus ei ole enamasti usaldusväärne. Vaatamata nendele eelistele on mäetööd oma suure töömahukuse ja kõrge maksumuse tõttu maavarade uurimisel rakendatavad siiski vaid väga piiratud ulatuses. Kõne alla tulevad nad üksnes mäestikualadel ja väga keerukate maavaralasundite (soonmaardlad, katted, skarnid) puhul. Erinevalt eksploatatsioonilistest kaevanditest on maardlate uuringul rajatud kaevandid ajutise iseloomuga - sageli tuleb nad pärast vajalikku dokumenteerimis- ja proovimistöid likvideerida (st. uuesti kinni ajada).

Seepärast kasutatakse maardla geoloogilise uurimise staadiumis eelkõige väiksemaid ja vähemkulukaid kaevanditüüpe.

1. **Uurimisaugud** - lihtsaimad labidaga kaevatavad kuni 1 m sügavused riskülikulise põhjaga kaevandid, mis võimaldavad eemaldada uuritava kivimi pealt tema murendi ning teha uurimise ja proovimise jaoks kättesaadavaks võimalikult värskelise kivimi.

2. **Puhastuseks** võime nimetada samalaadse sihiga ette võetavat murendi eemaldamist vertikaalselt paljandiseinalt, aga ka murenenud pinnase eemaldamist suuremalt horisontaalpinnaalt. Sagedasti kasutatakse ulatuslikuks pindalaliseks puhastuseks buldooseri, seda siiski vaid juhul, kui murendi paksus ei ületa 1 m.

3. **Uurimiskraav** on piklik, külgedelt kindlustamata süvend, mida kasutatakse sagedamini mäestikupiirkondades, kus on tegemist muljutud või koguni vertikaalasendisse surutud kihtide ja maagisoontega. Lasundi rõhtsihile risti rajatud uurimiskraav avab kihtide järjestuse ja on oma informatiivsusest võrreldav horisontaalsuunalise puurauguga. Seetõttu rajatakse uurimiskraavid mõnikord väga pikkadena (1 km ja enamgi!). Nende laius ülalt on enamasti 1, allosas 0,5 m, sügavus ei ületa reeglina 2,5-3 m. Kivimite rõhtsa lasumuse korral on uurimiskraavid väheinformatiivsed ja seetõttu kasutatakse neid setteliste maavarakomplekside puhul haruharva.

4. **Šurf** on põhiliseks kaevandiks maavaraleiukohtade uurimisel. See on tavaliselt kindlustamata seintega sügavam kaevand, mis peab täisväärtusliku proovi kättesaamiseks jõudma uuritava maavara murenemata osani. Tavapärased šurfid algavad maapinnalt riskülikulise plaaniga 1x2 m, eeldusega, et temas mahuks töötama labida ja kirkaga. Šurfi sügavus võib ulatuda 10 meetrini, mõnikord koguni 30-50 meetrini. Viimasel juhul rakendatakse juba kaevandiseina toetust, ventileerimist ja materjali väljamist mehaaniliste vahenditega. Ka tehakse sügavate šurfide ristlääbilõige ülaosas suurem.

Mõnikord asendab šurfi ka ajutine katsekarjäär, mis rajatakse detailuuringul vajaliku tehnoloogilise proovi võtmiseks. (Võib toimuda ka vastupidine - tehnoloogiline proov võetakse just esinduslikust šurfist.)

Šurfidest võivad lähtuda ka horisontaalsed lisakäigud - kveeršlaagid, millede rajamisel tuleb kasutada täiendavaid ohutusmeetmeid.

Need on tavapärased geoloogilises uurimistöös kasutatavad kaevandid, mis ei nõua tööde teostamisel veel mäeinseneri pidevat juuresolekut. Teised kaevetööd - šahtid, stollid, strekid, gesengid jt., mida võidakse samuti kasutusele võtta maardlate uurimisel keerukates mäestikutingimustes, vajavad juba mäendusspetsialisti vahetat osalemist ning väljuvad käesoleva ülevaate raamidest.

3.6.3. Geofüüsikalised uuringutööd

Et puurimis- ja mäetööd on väga kulukad, siis rakendatakse kaasajal maavarade uurimisel ikka enam kivimite füüsikalistele omadustele tuginevaid mitmesuguseid kaudsemaid meetodeid, mis võimaldaksid eelnimetatud tööde mahtu kokku hoida või vähemasti seda optimeerida. Selleks täiustatakse pidevalt geofüüsikalist aparatuuri ja meetodikat, võetakse kasutusele üha efektiivsemaid ja keerukamaid seadmeid, mis aga toob kaasa nendegi maksumuse tõusu. Igal juhul on vaja rõhutada, et geofüüsikalised meetodid, kui täiuslikud nad ka ei oleks, ei suuda kunagi asendada puhtgeoloogilisi uuringuid, kasvõi üksnes selle pärast, et maavara uurimisel on enamikul juhtumeist tarvis teada tema ainelist koostist ja selle muutlikkust ruumis, mida saab üheselt määrata üksnes konkreetse kivimiproovi omamisel. Seepärast tuleb geofüüsikalised uurimisevõtted lugeda nn. kaudsete meetodite hulka, mis võivad maavarade uurimistööd küll tublisti abistada, kuid ei suuda täiel määral asendada otseseid geoloogilisi uuringuid. Geofüüsikalistel uurimismeetoditel ongi suurem tähtsus just maavarade otsingul, vähemal määral eeluuringustaadiumis.

Geofüüsikalised uuringud on hinnatavad peamiselt kolme ülesande lahendamisel. Nad võimaldavad selgitada:

1. piirkonna üldist geoloogilist ehitust (struktuuri)
2. leiukoha siseehituse põhijooni
3. eri koostisega kivimite levikupiire, sealhulgas ka puuraukudes, kuhu sageli lastakse trossi otsas vajalik mõõtesond (teostatakse karotaaz).

Laskumata detailsemalt nende küllalt keerukate uurimismeetodite kirjeldamisse, märkigem neist vaid põhilisemad.

Gravimeetriline meetod

...põhineb raskusjõu täpsel mõõtmisel maapinnal. Teatavasti sõltub see näitaja eelkõige antud piirkonna asendist maa pooluste suhtes, kuid kohapeal mõjutavad seda ka siin paiknevate kivimite tihedusnäitajad. Suurimat tihedust omavad magmalise tekkega kivimid, veidi väiksemat moonde- ja kõige madalamat sette kivimid. Ka magmakivimite reas on suurem raskusjõuväli aluselisel, väiksem hapudel kivimitel. Eriti suure tihedusega on mõned maagid (raua, titaani, kroomi), kuid maagikehade väikesed mõõtmised ei luba tavaliselt gravimeetrilise meetodiga nende levikut kontrollida ka väga tiheda mõõtmisvõrgu kasutamisel. Meetodi efektiivsuse teiseks piirajaks on uuritava keha lasumissügavus, millest samuti oleneb vastava näitaja mõõtarv maapinnal.

Magnetomeetriline meetod

...on geoloogilistel töödel enamlevinud abivahendiks, eriti oma kerge ja vähenõudliku aparatuuri tõttu. See meetod võimaldab mõõdistada igas piirkonnas konkreetset magnetjõuvälja ja seda kujundavate kivimikehade kontuure. Erinevalt tavalisest kompassist, mille abil on samuti leitud mitmeid rauamaagileiukohti, kasutatakse tänapäevastes tundlikes magnetomeetrites just magnetilise vertikaalkomponendi (külgetõmbe- või tõukejõu) mõõtmist - s.t. kompassinõel ei liigu siin vertikaalteljel, vaid, piltlikult öeldes, ühest otsast kinnitatuna, justkui paindub horisontaalteljel.

Mõistagi on magnetomeetriline meetod kasutatav eelkõige rauarikaste kivimite ja maakide otsingul, niisuguste, mis sisaldavad magnetiiti, pürroitiini, titaanmagnetiiti jt. Siiski kasutatakse magnetomeetriat ka mitmesuguste üldgeoloogiliste probleemide lahendamisel, sest peaaegu kõigi kivimite magnetomadused on üksteisest mingil määral erinevad.

Elektrometria

... on terve kompleks meetodeid, mis baseerub Maa elektrivälja või kivimite eritakistuste määramisel. Enamikul juhtudel tekitatakse kahe elektroodi abil maapinda kunstlik elektriväli, mille potentsiaale soovitud punktides mõõdetakse iseseisva mõõteringi kahe elektroodiga. Kombineerida võib nii mõõteringi liikumisviise kui ka indutseeritava välja parameetreid, mistõttu saadakse erinevaid tulemusi - muutes kas töösügavust või jälgides võimalikult suuremaid kontraste pinnalähedases ruumis. Eristataksegi peamiselt kaht uuringuviisi - elektrilist profileerimist või sügavsondeerimist. Meetodit saab kasutada ka puuraukude karotaazil.

Elektrometria tugineb kivimite ja mineraalide erineval elektrijuhtivusel. Tõsi, enamus maakoore aineist käitub silikaatse dielektrikuna ja ei loo meetodi kasutamiseks eriti soodsaid olukordi. Erandiks on vaid sulfiidid maagid soonmaardlates, mis on üsna head elektrijuhid ja võivad porsumisprotsessides ka ise sekundaarseid elektrivälju tekitada (looduslik elektrolüüs). Niisuguste maavarade otsingul ongi

elektromeetria tähtis osa. Kuid kõige olulisema rakendusvaldkonna annab elektromeetria siiski maapinnas liikuv vesi. Lõheded, poorides ja maa-alustes tühemikes (karst) olemasolev vesi põhjustab maapõue nendes olukordades kontrastselt kõrgendatud elektrijuhtivuse, mistõttu karsti- ja lõhevõõndeid saab elektrilise meetodiga hõlpsasti leida ja kontuurida. Eriti tähtis on see allmaakaevandamisel, muuseas ka Eesti põlevkivibasseinis, kus veega rikastatud võõndite läbindamist saab elektromeetria andmetel eelnevalt vältida. Samas eelistab vesi liikuda just mööda suuremaid tektoonilisi murranguvõõndeid, neis aga on sageli ladestunud ka sügavusest kuumade lahustega toodud metallide maagid.

Seismomeetria

...on mõnevõrra komplitseeritud ja keerukamat aparatuuri nõudev geofüüsikaline meetod, mis sarnaneb elektromeetria selles mõttes, et siingi tekitatakse plahvatusega kunstlik sündmus - väike maavärin. Paljude anduritega mõõdetakse sellel plahvatusel tekkinud lööklaine levikuseärasusi (kiirust ja tugevust) mitmes ümbruskonna punktis ning keerukate arvutuste teel saadakse ettekujutus piirkonna geoloogilisest struktuurist. Enamasti kasutatakse seismomeetria naftamaardlate otsingul - ta võimaldab hästi kontuurida kuplilaadseid kurruharjasid maapõues, mis on tavapäraselt rikkaimateks nafta ja maagaasi koondumispaikadeks.

Radiomeetria

...ehk radioaktiivsete elementide geofüüsikaline otsingumeetod on oma suhteliselt lihtsa ja kergesti käsitatava aparatuuri tõttu geoloogias väga laialdaselt kasutusel. Kõrvaklappidega varustatud portatiivne aparaat marsruudile mineja rinnal annab igas punktis eksimatult teada mingi ioniseeriva allika (radioaktiivsust kiirgava elemendi) olemasolust pinnases, paljandis või kaevandis. Tõsi, tänapäeval ei kasutata radiomeetria niivõrd radioaktiivsete maakide otsingul, kuivõrd just erinevate kivimite kontuuride määramisel. Nii on hapude magmakivimite - graniitide - kiirgusfoon alati tunduvalt kõrgem teiste kivimite omast: koonduvad ju magma diferentseerumisel just siia haruldased radioaktiivsed elemendid. Eriti rikkad on nende poolest jääkmagmalised pegmatiidisooned - nende kontuurimine radiomeetria abil on üldlevinud. Ja siit tulenebki huvitav paradoks - just radiomeetria teel võidakse otsida pegmatiidides esinevaid vääriskive, vilku, keraamikatooret, millel otsest seost radioaktiivse kiirgusega ei olegi.

Radiomeetria aitab täpsustada ka kivimkomplekside piire puuraukudes. Trossi abil kindla kiirusega alla lastud sond registreerib isekirjutaja abil kivimite detailse kiirguskõvera, millel võib hõlpsasti eristada kõrgema kiirgusastmega savid madala kiirgusfooniga liiva- või lubjakividest, rääkimata graniitsest magmakivimist. Eesti oludes näiteks on tugevateks kiirgusmarkeriteks ordoviitsiumi glaukoniidi- või tumeda argilliidi vahekiht. Radiomeetria on efektiivne tänu kõrgele tundlikkusastmele ja suurele lahutusvõimele, tema piiranguks on vaid asjaolu, et mõõtesond peab olema üsna lähedases kontaktis uuritava objektiga. Puuraugus realiseerub see nõue ideaalselt.

Geolokatsioonimeetodid

...on saanud laiema leviku just viimastel aastakümnetel ja aparatuuri selles valdkonnas täiustatakse pidevalt.

Valdavaks võtteks on siin akustilise signaali väljasaatmine, mille tagasipöörduvat peegeldust kasutatakse häiriva keha olemasolu ja kauguse kindlakstegemiseks. Täiuslikkuseni on meetod arendatud navigatsioonis ja meregeoloogias, kus peegeldused merepõhjast ja erineva tihedusega settekivimite kihtidest annavad olulist informatsiooni muidu kättesaamatust sügavusest (kajalood). Geolokatsiooni on edukalt kasutatud ka ehitusaluste uurimisel - tuvastatakse kommunikatsioone, vanu vundamendijäänuseid, Eesti oludes ka suuri rändrahne. Teada on edukaid tulemusi meteoriidikraatrite uurimisel, pinnakattesavide lasundite kontuurimisel ja mujalgi. Maavarade uuringutel võib meetod lähitulevikus saada üheks enamrakendatavaks. Tema piiranguks on suhteliselt väike kasutussügavus, selle suurendamisel komplitseeruvad meetodi interpreteerimisvõimalused ja kahaneb usaldusväarsus.

3.6.4. Leiukohtade proovimine

Maavarade kasutuselevõtul on proovide võtmine laboratoorseteks ja ka tehnoloogilisteks uurimisteks enamasti vältimatu. Sellesse töösse tuleb suhtuda väga hoolikalt ja eeskirjade kohaselt, sest iga eksimus proovi esinduslikkuses võib viia suurte vigadeni ja tarbetutele kulutustele keeruka tööstuskompleksi rajamisel. Proovimistöö tulemusel määratakse maavara kvaliteet, eristatakse selle sordid, tehakse kindlaks maardla kontuurid ja lasundi paksus, arvutatakse varu. Sellest loendist on näha, et proovimine - s.o. proovide võtmine ja analüüs (nimetatakse ka proovitamiseks) - pole sugugi vähemtähtis, kui otsene geoloogiline uuring maastikul, on ehk sellest kaalukamgi.

Proovimist tehakse puursüdamikest, kaevanditest ja piisava paljanduvuse korral mõnikord ka looduslikest paljanditest (mäestikes, jõeorgudes). Proovimise tihedus ja üldmaht määratakse tavaliselt töö projektis, ootamatute asjaolude ilmnmisel tuleb mõnikord teha sellest olulisi kõrvalekaldeid.

Sõltuvalt eesmärgist jaotuvad proovid järgmiselt:

- keemilised
- mineraloogilised
- tehnilised
- tehnoloogilised
- spetsiaalsed.

Keemiline proovimine annab ettekujutuse maavara kasulikest ja kahjulikest komponentidest ja on sageli määrav maavara kasutuselevõtuks. Metallimaakide ja keemiatööstuse tooraine uuringul tehakse seda tüüpi proovimist harilikult massiliselt.

Mineraloogiline proovimine viiakse enamasti läbi väikestes mahtudes. Tema eesmärgiks on leiukoha tekkeviisi selgitamine, kivimite nimetuste täpsustamine, kasuliku komponendi esinemisvormi kindlakstegemine ja sellest tulenevate lähteandmete saamine maavarade rikastamis- ja töötlemistehnoloogia planeerimiseks.

Tehniline või füüsikalise-mehaaniline proovimine viiakse läbi nende maavarade puhul, mille kvaliteet sõltub just nimetatud omadustest. Näiteks on see esikohal ehitusmaterjalide puhul (terasuurus, survetugevus, külmakindlus jne.). Erinevaid maavaratüüpidele võidakse määrata erinevaid näitajaid - asbestil kiu pikkus ja paindumus, vilkudel - lehekeste suurus, liival-kruusal - osakeste ümardatus, savidel - plastsus ja tulekindlus jne. Enamikule maavaradest on vastavad nõuded kehtestatud käsiraamatutes või eeskirjades, erimääranguid võib alati nõuda ka tellija.

Tehnoloogiline proovimine peab andma vastuse maardla tööstuslikule evitamisevõimalusele. Sellest tulenevalt töötatakse välja ratsionaalne tehnoloogiline protsess. Selleks proovimisviisiks, mis tavaliselt teostatakse mingis juba töötavas ettevõttes, on tavaliselt tarvis suuremahulisi proovikoguseid, mille hankimiseks rajatakse sageli katsekarjäärid.

Spetsiaalne ehk eriproovimine nähakse ette erijuhtudel ja see võib olla väga mitmesuguse sihitusega. Näiteks võib proovimisel olla ökoloogiline sisu - radiomeetriline kiirgus kaevanduses või aherainekogumikes. Võib osutada vajalikuks määrata mingeid kahjulikke lisandeid või täpsustada leiukoha vanust (paleontoloogiliselt, isotoopdateeringuliselt) jne. Nende proovimistööde kohta ei kehti rangeid standardeid ja vajadus kaetakse harilikult üksiproovimistega.

Proovide võtmisel on kasutusel mitmesugused

Proovimisviisid,

millest valitakse vastavale proovimiseesmärgile ja olemasolevale võimalusele sobivaim.

1. Käsipalaline proovimine. Proov võetakse puursüdamikust või paljandist kindla võrgu või kindlate vahakauguste järgi iseseisvate kivimitükkidena või väljaraiatud paladena. Iga proov analüüsitakse laboratooriumis eraldi ja nad iseloomustavad maavara koostise muutlikkust tema eri tüüpide kaupa. Niisugust proovimisviisi kasutatakse maavara uuringul suhteliselt harva, küll aga otsingutöödel või mineraloogiliseks ja eriproovimiseks.

2. Punktproovimine. Proovimine viiakse läbi analoogiliselt eelnevale, kuid võetavad proovid on reeglina väikesed ja nad segatakse omavahel üheks esinduslikuks koondprooviks. Enamasti kasutatakse punktproovimist paljandiseintel ja kaevandites, seda võib rakendada ka liikudes kindla puurimisintervalliga piki puursüdamikku. Meetod on laialdaselt kasutusel, kuid väikeproovide võtmisel pole väljastatud teatud subjektiivsuseoht.

3. Vaomeetodil proovimine on maavarade otsingul enamlevinud ja annab kõige usaldusväärsemaid tulemusi. Selle proovimisviisiga haaratakse kogu läbilõige pideva proovimissektsiooniga, eraldades eelnevalt vajalikud proovimisintervallid need valitakse maavaratüüpide muutuste põhjal või - ühtlaseilmelise maavara korral - etteantud paksusintervallide kaupa. Prooviintervallide pikkus valitakse sagedamini 2-4 m piires. Paljandiseina raiutakse sellise vertikaalulatusega vagu, enamasti laiusuga 5 ja sügavusega 2 cm, millest kogu väljaraiatud killustik koondatakse võetavasse proovi. Seejärel jätkatakse tööd allapoole, järgmisesse intervalli. Puursüdamiku puhul eraldatakse proovi jaoks pool

või neljandik südamikust kogu proovitava intervalli ulatuses. Südamik poolitatakse, kasutades saagimist, erilist südamikupoolitajat või, pehmemate kivimite puhul, mingit muud lõikeriista. Proovi võtmisele kaasneb tavaliselt ka südamiku detailne dokumenteerimine (kirjeldamine).

Vaomeetodil proovimisel püütakse haarata vastav intervall tema suurima muutuse suunal - sette kivimite puhul niisiis vertikaalselt, s.o. risti kihipindadega. Kaevandites võib, sama silmas pidades, orienteerida vaod ka kallakutena, soonmaardlate puhul mõnikord isegi horisontaalsetena.

4. Lõhkamisproovimine. Kaevandavates ettevõtetes sageli kasutatav proovimisviis kontrollproovide võtmiseks. Proovi koondatakse kaevandamisseina lõhkamisel peenestatud materjal. Meetodit ei saa eriti soovitada mitmel põhjusel. Esiteks ei suudeta tagada proovi vajalikku puhtust ja esinduslikkust kaevandiseina keskmisena. Teiseks võib proovi lisanduda lõhkeainest tulenevaid segavaid komponente. Kolmandaks võib lõhkamisel tolmu hajuda ja proovi mitte sattuda mõni kergemini pihustuv kivimi komponentidest.

5. Koorimisproovimine on harvakasutatav proovimisvõtte kaevandites ja seda rakendatakse peamiselt vööndilise ehitusega soonmaardlates. Proov võetakse siin kaevandi põhjalt või seinast mingi sooneosa tervikulise kogumina - eelkõige selleks, et saada ettekujutus maagikomponendi vööndilisest jaotumisest soone eri osades. Proovimise tulemus on raskesti kasutatav varude hindamisel ja ka tehnoloogiate projekteerimisel.

6. Lausproovimine on kõige esinduslikum ja lihtsam, kuid samas ka kõige töömahukam proovimisviis. Prooviks võetakse kogu kaevandist väljatud kivimimass. Tehnoloogilise proovi jaoks on see sageli ainuvõimalik proovivõtuviis - nõutav kogus dikteerib selle. Teiste analüüside jaoks on see meetod ebamugav, sest nõuab proovide vähendamist, peenendamist, segamist jne., mis võib töömahukuse kõrval ka proovi esinduslikkust kahjustada.

Loetletud proovimisviisidega ei ammendu kaugeltki kõik võimalused praktilises töös. Mõndagi neist on võimalik ka omavahel kombineerida, näiteks paljandite ja puuraukude üheaegsel kasutamisel. On mõistetav, et puursüdamike kasutamine toob proovimismenetluse üldse täiendavaid korrektsioone, eriti olukordades, kus tuleb töötada ebapiisavalt väljatud puursüdamikuga.

Real juhtudel ei analüüsita võetud proovi tervikuna, vaid selle koostisosi eraldi. Nii toimitakse mõnikord kivisöe, fosforiitide, konkretsiooniliste raua- ja mangaanimaakide, harvemini ka kruusliiva puhul, kus väljatud kivimimassi eri suurusklassi tükid suunatakse analüüsimiseks eri proovidena. Loomulikult tingib see ka tulemuste erineva interpreteerimise, mistõttu proovimisskeemi kirjeldatakse vastavates aruannetes üsna hoolikalt.

3.6.5. Proovide töötlemine

Eri menetlustega saadakse proovimisel väga erinevaid ainekoguseid. Laboratoorseteks analüüsideks on sageli vaja vaid mõnegrammilist proovihulka, real juhtudel veelgi vähem. Selleks tuleb läbi viia algse proovikoguse vähendamine, kuid seda üksnes niiviisi, et säiliks proovi esinduslikkus (presentatiivsus) ja korduvkasutatavus (reprodutseeritavus). Viimase tagamiseks säilitab töid teostav geoloogiaorganisatsioon tavaliselt laboratooriumisse saadetud proovikogusest ühe osa tingimata oma fondides nn. dublikaatproovina.

Proovide vähendamine on töömahukas ja hoolikust nõudev operatsioonide kogum, mis koosneb:

- peenendamisest
- sõelumisest
- segamisest
- vähendamisest.

Nõuetele vastava proovikoguse saamiseks kehtib valem $Q = k d^2$, kus Q on proovi kogus kg-des, d - suurimate osakeste diameeter peenendatud proovis mm-tes, k - hinnanguline koefitsient, mis näitab uuritava komponendi jaotumist algkivimis. Väga ühtlaste (peeneteraliste) kivimite korral on see 0,1, äärmiselt heterogeensete puhul 3,6, teistel puhkudel nende arväärtuste vahepealne.

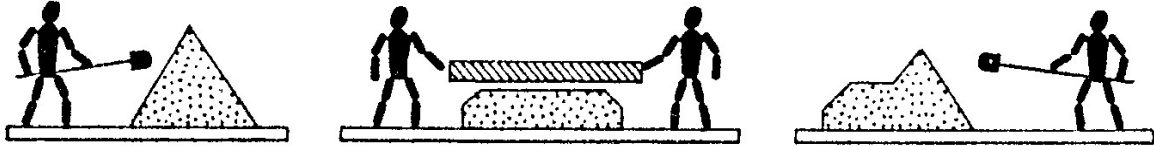
Peenendamine toimub kas käsitsi (suurte vasaratega metallplaadil) või mehaaniliselt - ettevõttel kasutada olevatel purustitel või veskites. Võib eristada jämepeenendust (suurimad tükid 30-100 mm), keskmist peenendust (5-12 mm) ja peenpeenendust (<0,7 mm).

Sõelumine on peenendamist saatev operatsioon, mida tehakse olemasolevatel sobivatel sõelatel. Sõelale jäänud tükid peenendatakse täiendavalt ja lisatakse varempeenendatud proovile. See on

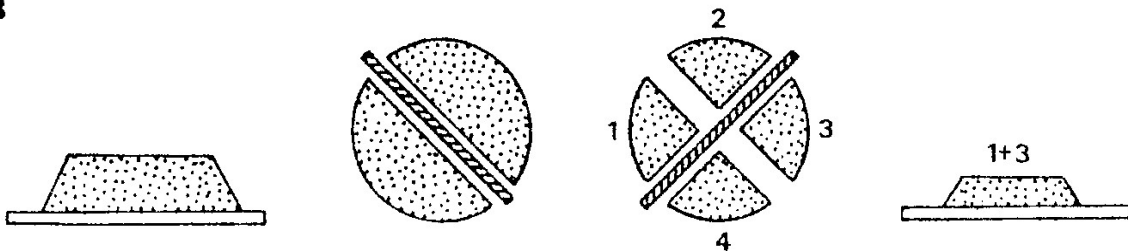
hädavajalik selleks, et võetud algproovist ei eemaldataks selektiivselt mingit komponenti, millel on kalduvus kivimit tugevasti tsementeerida.

Segamine toimub suurte proovikoguste korral samuti metallplaadil, kus proov labidatega alul koonusetaoliseks kuhilaks kuhjatakse, siis aga pika laua abil lamedaks kettaks tasandatakse. Seejärel kuhjatakse proov servadelt labida abil uuesti koonuseks (joonis 15A). Operatsiooni korratakse mitmeid kordi, kuni aine väliselt nähtava ühtlustumiseni.

A



B



Joonis 15. töötlemine. A - segamine, B - vähendamine kvarteerimise teel.

Vähendamine viiakse läbi kvarteerimise teel. Eelneva protsessi käigus tasandatud kettakujuline proovikuhik jaotatakse lauaga vertikaalselt 4 osaks (joonis 15B), mille kaks vastastikku paiknevat veerandikku säilitatakse proovina, kaks ülejäänut heidetakse kõrvale. Võetud neljandikud segatakse taas üheks koonuseks, tasandatakse kettaks ja kvarteeritakse (jagatakse neljaks) uuesti. Operatsiooni korratakse seni, kuni saadakse vajalik vähendatud proovikogus. Viimase proovivõtu neljandikest koondatakse 2 vajalikuks prooviks, 2 ülejäänud prooviosa aga säilitatakse dublikaatproovina. Saadud proovi võib vajadusel veel täiendavalt peenendada - real juhtudel vajatakse analüüsimiseks just ülipeen pulbrit.

Ülalesitatud skeem tagab proovi esinduslikkuse ka tema väikese koguse näol. Mõistagi tehakse viimased segamised-vähendamised juba laborilaual miniatuursemate töövahenditega, kuid ülalmärgitud tövõtetest peetakse lõpuni kinni. Hoolimatus selle töötapi juures võib viia ränkade eksimusteni ning muuta kasutuks kogu eelneva kuluka tegevuse geoloogilistel puurimistel ja proovide kogumisel.

Proovide kirjeldatud töötlemisviis on kõige üldisem ja sobib eelkõige keemiliste proovide ettevalmistamiseks. Mineraloogiliste proovide puhul, kus on tarvilik säilitada mineraalrude algkuju, on menetlused teistsgused. Hoopiski erinevad on nad füüsikalise-mehaaniliste määrangute puhul, kus tavaliselt kasutatakse kivimist väljasaetud rikkumata struktuuriga monoliite. Erinõuded esitatakse ka tehnoloogilisele proovile ja muidugi ka eriproovidele. Ometi on suure algproovi töötlemisel ka palju ühist - tagada tuleb ju proovi hoolikas segamine ja seega vajalik esinduslikkus. Koonus-ketta meetod koos kvarteerimisega viib selleni kõige kindlamalt.

Proovide võtmise, nende algtöötlemise ja laboratooriumisse suunamisega lõpeb geoloogi põhitöö maardla kaevandamise ettevalmistamisel. Edasine on juba tehnoloogide, majandusspetsialistide ja mäeinseneride töömaa.

4. EESTI MAAVARAD

Eesti territoorium, mis paikneb Ida-Euroopa lavamaa loodeserval, iidse eelkambriumilise kivimikompleksi avamusala - Baltoskandia kilbi - vahetus läheduses, on oma maavararessursi poolest kogu maailma üldpildis vaadelduna ehk kusagil keskmistes ridades. Tõsi, erilisi loodusrikkusi, mis otseselt määraksid selle piirkonna peamised tegevusvaldkonnad ja tõstaksid ta esile naaberriikide seas, siin peaaegu ei leidu. Samas on maapõues siiski üht-teist tootmisväärsust ja nende loetelu võrdlemisi mitmekesine. On olemas vanapaleosoikumi põlevkivi - ainus arvestatav aluspõhjaline energeetikaressurs lähimas tuhandekilomeetrilises raadiuses. Pinnakattes on sellele lisaks rohkesti turvast. Piisab ehitusmaterjali - nii looduslikul kujul (lubjakivi, dolomiit, kruus, liiv) kui ka vastava tööstuse toormaterjalina (lubjatööstuse tooraine, tsemendi- ja keraamikasavi, klaasiliv jt.). Kasutamata lebab maapõues maailmas tekkeviisilt ainulaadne fosforiit. Rääkida võime veel järvelubjast, järve- ja meremudast, sügavuses lebavast graniidist, mineraalveest. Aeg-ajalt vilksatavad eksootilisemadki nimetused - Jõhvi rauakvartsiidid, diktüoneemaargilliit, diatomiit, glaukoniit, polümetallid, uraan ja veel mõned haruldased elemendid. Isegi nafta ja maagaas pole jäänud mainimata. Paljud neist ei ole maavarad tavapärasel mõistes - ei innukate otsijate geoloogide ega ka majandusmeeste silmis. Mõned soliidseki maapõuerikkused, nagu fosforiit, kütturetvas, lubjatoore, seisavad suuremas osas kasutamata ja pole selge, millal nad arvestatavalt uuesti meie majandusse võiksid tulla.

Miks on see nii? Vastuse andsime põgusalt käesoleva raamatu esimestel lehekülgedel - maavara on eeskätt majanduslik mõiste. Ei piisa kasutamiseväärsuse lasundi olemasolust maapõues, isegi meile hästi kättesaadavas sügavuses. Kui kaevandamiseks vajalikud kulutused osutuvad suuremaks saadavast tulust, tuleb lasund jätta puutumatu maapõue. Kuid majandusolud on ju muutlikud. Võidakse leitud vähemkulukad tehnoloogiad, evitada tootlikumad masinad, ootamatult võib ilmuda soodne turukonjunktuur ja nõudlus - kõik see võib olukorda muuta. Seepärast ongi suhe maavarasse geoloogide vaatekohast teine, vähempragmaatiline. Tuleb uurida kõike väärtuslikku maapõues, sellest võimalikult palju teada. Isegi siis, kui keegi selleks vahendeid ei eralda. See on osa üldkultuurist - tuleb tunda oma võimalusi, süvendada oskusi, ükskõik, kui tulutu see esmapilgul ka ei näiks. Mida paremini ühiskond seda mõistab, seda rikkam ta tegelikult on. Loodusrikkused on ju maapõues tegelikult olemas, nende olemasolu ei saa keegi eirata.

Lähtugem sellest juhtmõttest ka järgnevas lühiülevaates Eesti maavaradest.

Eesti maavarade kohta on ilmunud palju kokkuvõtlikke ülevaateid nii ema- kui võõrkeeltes (Orviku, 1933; Luha, 1946; Lauringson, Reier, 1981; Eesti maapõuerikkusi, 1993; Estonian Mineral Resources, 1994; Maapõueseadus ja selle rakendamise õigusaktid, I, II, 1996, 1998; Geology and Mineral Resources of Estonia, 1997). Asjasthuvitatud lugeja leiab nendest rohkesti konkreetset informatsiooni ja vajalikke viiteid üksikmaavarade asjatundlike käsitluste juurde. Muidugi kannavad kõik need kokkuvõtted endas vastava aja vaimu. Sellest ei ole vabad ka alljärgnevad read. Vahest on siin seda isegi rohkem, sest arvandmeterohke informatsioonitulva asemel tahetakse lugejale pakkuda eelkõige üldisemaid probleeme ja hinnanguid, mida üks või teine maapõueressurss Eesti jaoks kätkeb. Arusaadavalt saab selline nägemus olla üsna subjektiivne ja üksnes tänastest arusaamadest lähtuv.

Kõigepealt Eesti geoloogilisest ehitusest tulenev eripära. Olles kauges geoloogilises minevikus jäigastunud lavamaa osa, on meile tööstuslikult kättesaadavas maakoore osas valdavad settekivimid - s.t. iidsetes meredes kujunenud ainekuhjed. Nad on kihilise ehitusega, rikkumata rõhtsas lasumuses - seega saavad moodustada üksnes kihtmaardlaid (kihindmaardlaid). Teiseks ei saa siin olla märkimisväärsed metallimaake. Nagu maakoore kemismi käsitlevas osas veendusime, annavad settekivimite moodustumisel rikkalikumaid kuhjeid peamiselt petrogeensed elemendid. Siit siis ka meie põhimaavarade loend - energeetiline (C), agrokeemiline (P) ja ehitusmaterjaliline (Si, Al, Ca, K) toore.

Siiski ei ole settekivimiline kate Eestis eriti paks. Selle all võib Põhja-Eestis peatselt inimtegevuse sfääri sattuda 100-200 m sügavuselt algav tugevasti kurrutatud aluskord, kunagine magma ja moondeprotsesside tegevusväli. Siit lisanduvadki maavaradeloendisse oletatavad põnevad nimetused - graniit, rauamaagid, polümetallide ilmingud. Kahjuks ei ole see kivimikompleks, mis tuleb vahetult maapinnale Soomes, eriti metalliderikas, mistõttu ka aluskorruga seonduvad tulevikuvisionid ei saa olla liialt kirkatoonilised.

Ja kolmaski eripära - pinnakate. Selle on meile toonud viimane jääaeg. Kontinentaalse liustiku koosseisus kandus piki Eestimaad edasi põhja poolt haaratud ja segiläbi paisatud eriteraline materjal - moreen (rähk), mida maavarana kasutada on lausa võimatu. Kuid mandrijää tegevusele kaasnesid

suured sulaveehulgad, mis seda materjali läbi pesid ja vastavalt vee elavjõu suurusele puhtamaks sorteerisid. Nii kujunesid jääpragudes liivad ja kruusliivad, sügavamates veekogudes savidki. Nende setendite seas on juba palju kasutamistväärsed - tänu liustikuvee "rikastusvabrikulisele" toimele. Veelgi enam, mandrijääst vabanenud kuhjatiseid sulgesid Eesti alal normaalse vooluveevõrgu ja siin moodustus lugematu arv suletud nõgusid ja lohkvorme. Neis tekkisid alul järved, paljudest peale kinnikasvamist aga sood. See andis meile hulgaliselt turbalasundeid, nende all mõnikord märkimisväärses paksuses ka järvelubja või järvemuda kihindeid.

Et pinnakate formeerus kontinentaalsetes oludes, ei kujunenud siinsed kihid rõhtsuunas eriti väljapeetuiks - enamasti moodustavad nad läätsjaid lasundeid - kruusa, liiva, savi, järvesetete ja turba maardlaid.

Neid kolme momenti tuleb Eesti maavarade käsitlemisel alati silmas pidada.

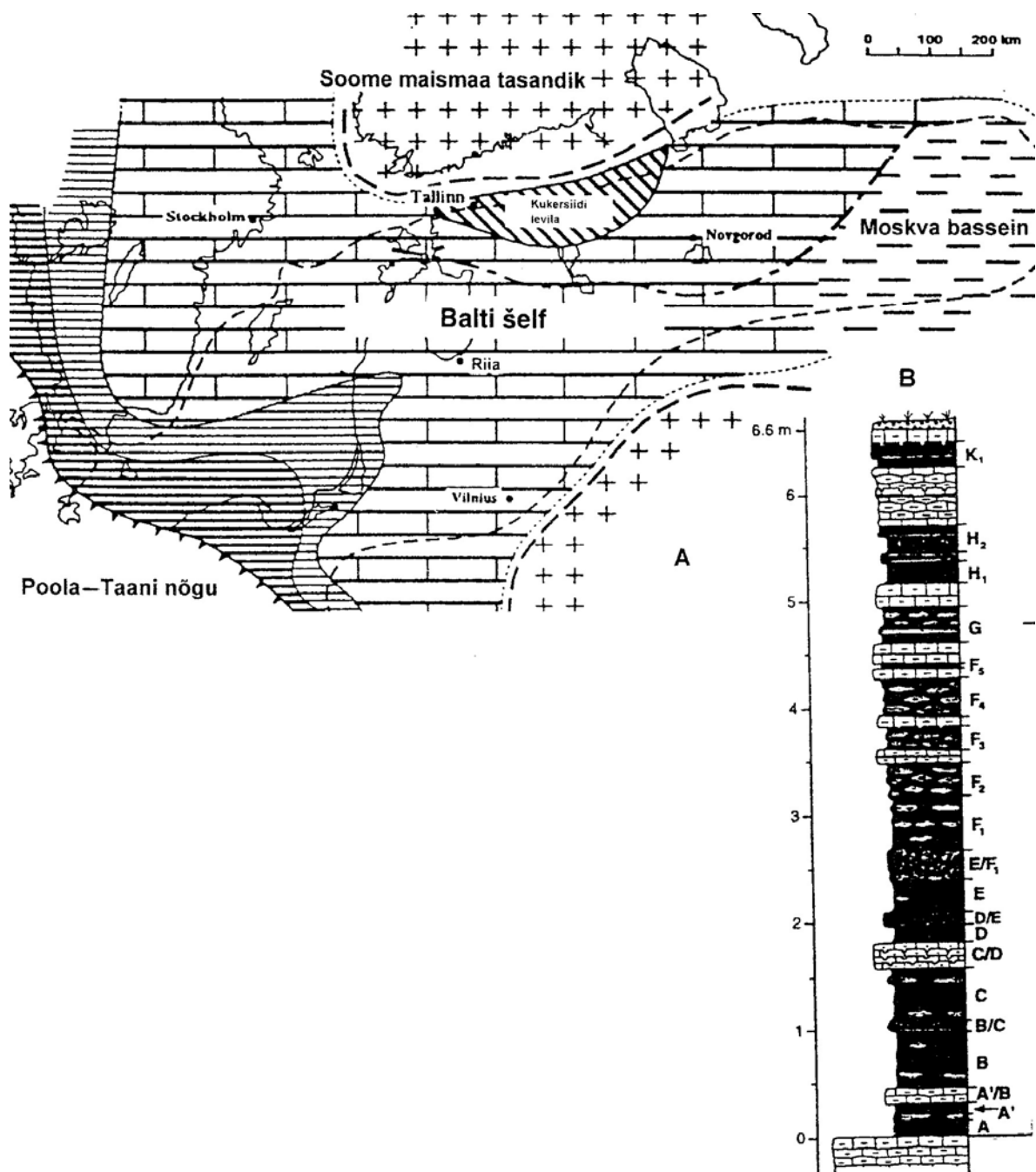
4.1. Põlevkivi

Põlevkivi on kahtlemata meie olulisim maapõuerikkus. Ta on keskordoviitsiumi šelfimeres kujunenud orgaanilise aine kuhjum, mis kihiti vaheldub tavapäraste, orgaanikavabade lubjakivikihtidega. Olemuselt on ta tüüpiline settekivim, mis koosneb umbes 50% ulatuses põlevast fossiliseerunud orgaanilisest ainest ja savi- ning lubiaine lisandist. Tekkinud on ta peamiselt mikroskoopiliste vetikate jäänustest, mis koosnesid suhteliselt püsivast rakuainest, ja merepõhja sattunult allusid vaid vähesel määral lagunemisprotsessidele. Mere osa, kus toimus meie põlevkivi (kukersiidi) intensiivsem kuhjumine, oli kõikide sellal elanud loomarühmade elutegevuseks väga soodne. Sellest annavad tunnistust põlevkivis rikkalikult esinevate fossiilide lubiainest skeletijäänused ja rohked uuristusjäljed. Nähtavasti oli see erakordselt toitainerikas soe madalmereosa, võimalik, et isegi lahepiirkond. Paleogeograafiliste rekonstruktsioonide kohaselt asus ta suure Paleobalti basseini madalaveelises vööndis, mis mõne autori arvates külgnes vahetult sellal Soome alal valitsenud tasandikulise maismaaga (joonis 16A). Siiski ei ole põlevkivi paleogeograafilised tekkeisärasused lõplikult päris selged, sest tänapäevase levila põhjapiir on erosiooniline - s.t. osa põlevkivikihte on hilisematel protsessidel ära kulutatud. Lääne, lõuna ja ida suunas võime siiski näha põlevkivilasundi normaalset väljakiildumist tollastes meresetetes: see toimub nii üksikute põlevkivikihtide õhenemise ja väljakiildumise kui ka sellest tuleneva põlevkivi vahekihte sisaldava kompleksi kogupaksuse kahanemise teel. Niisiis on põlevkivi kui maavaralasundi piir ülalmärgitud suundades selgesti konditsiooniline - s.t. sõltub eelkõige maavarale kehtestatud kasutamiskoostetist.

Niisuguse, mereliste settekivimitele omase pildiga on heas kooskõlas ka põlevkivikihtide äärmiselt laiaulatuslik levik. Esimesed õhukesed kukersiidikihid leiduvad juba Paldiski pankrannal, maksimaalse paksuse omandavad nad Kohtla-Järve - Jõhvi ümbruses, kust reeglipäraselt ida suunas uuesti kahanema hakkavad. Viimased põlevkiviilmingud leiame veel Volhovi jõe piirkonnast Loode-Venemaal. Lõuna suunas on põlevkivikihtide väljakiildumine järsem - nad kaovad Peipsi järve keskosas, Mustvee joonel. Territoriaalselt hõlmab kukersiidikihtide leviala 50 000 km², kuid tootmisväärtuse osa sellest moodustab tunduvalt väiksema ala. Parimate näitajatega lasundi osa - nn. Eesti põlevkivimaardla Kohtla-Järve lähikonnas - hõlmab 3940 km², mis moodustab kogu Eesti territooriumist ligikaudu 9%.

Põlevkivi levikualal - nn. põlevkivibasseinis tööstuslikus mõttes - eristatakse kolme maardlat: Eesti, Gdovi ja Tapa maardlat. Neist kaevandatakse vaid kaht esimest. Tapa maardla on selle evitamisraskuste ja põlevkivi madala kvaliteedi tõttu käesoleval ajal bilansist maha arvatud.

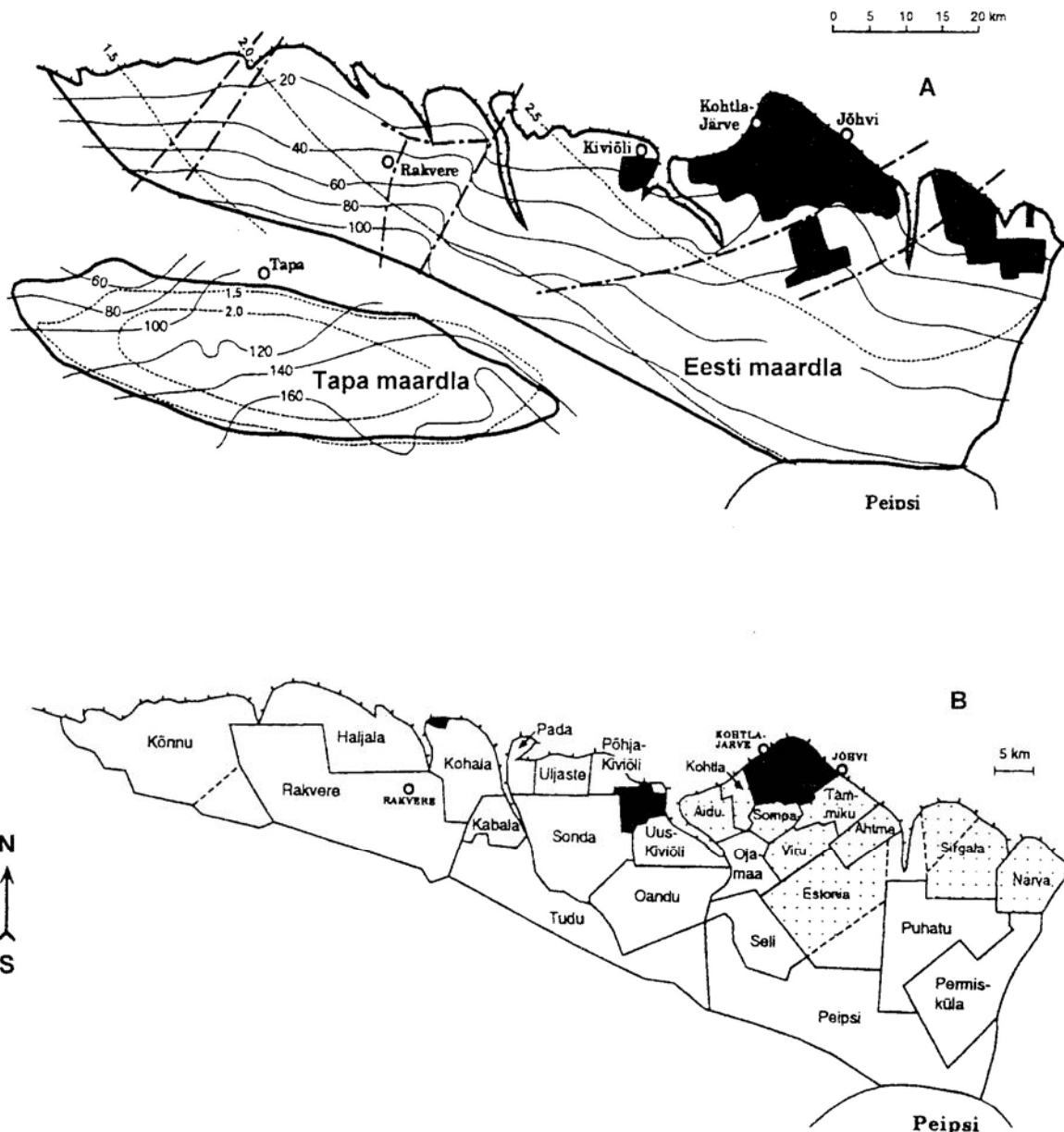
Eesti ja Gdovi maardla (viimane tootmiskeskusega Slantsõ linnas) kujutavad endast geoloogiliselt ühtset lasundit, mis on jagatud kaheks poolmeks võimsa veetõkke - Narva jõe - ja sellel paikneva riigipiiriga. Oma kvaliteedi näitajatel on Eesti maardla sellest leiualast tunduvalt kaalukam. Tapa leiukoht, mis leiti ja kontuuriti tunduvalt hiljem, on Eesti - Gdovi põlevkivilasundist isoleeritud, paikneb sellest stratigraafiliselt veidi kõrgemal, kuigi jääb sama keskordoviitsiumi Kukruse lademe piiridesse. Selle lasundi sisemine ehitus on Eesti maardlast tunduvalt erinev ja siinkohal seda lähemalt ei vaadelda.



Joonis 16. Põlevkivi levila (A) Balti keskordoviitsiumi paleobasseini piires

(R. Männil jt., 1986 järgi) ja lasundi tüüpehitus (B) Kohtla piirkonnas Geology and Mineral Resources..., 1997 järgi.

Nagu öeldud, koosneb põlevkivi tootmisväärne lasund lubjakiviga vahelduvatest üksikkihtidest, mille paksus ja kütteväärtus on suurem lasundi allosas. Eesti maardlas kannavad kõik põlevkivikihid tähtindekseid A-st K-ni, ja eristatavad on siin kuni 14 üksikkihti (joonis 16B). Tootmine tugineb siiski vaid kihtidele B, C, D, E, sõltuvalt kaevandamistehnoloogiast haaratakse mõnikord kaasa ka A, A' ja F kihte. Kõrgemalasuavad kihid on aherainesse minevate lubjakivivahekihtidega muust lasundist sedavõrd eraldatud, et neid tootmisväärseks ei peeta ega leiukoha varuna arvesse ei võeta. Öeldust tulenevalt on põlevkivi tootuskihi paksus enamasti 2 m piires, langedes maardla äärealadel sellest isegi allapoole. Lasundi parimate näitajatega osa, kus kaevandatav kihikompleks ulatub 2,5 m või isegi üle selle, on tänaseks peaaegu ammendatud. Lasundi suurim sügavus Eesti maardlal ulatub 100 meetrini, Tapa leiukohas oleks see 60-160 m vahemikus (joonis 17A).



Joonis 17. Eesti ja Tapa põlevkivileiukohad
 Tootuskihindi paksus (punktir) ja lasumussügavus (pidev joon) meetrites (A) ning Eesti maardla jaotumine kaevandusväljadeks (B). Mustana näidatud ammendatud, täpilisena töötavad ning valgega avamata kaevandusväljad. Ülemisel joonisel näitab kriipspunktir olulisemaid tektoonilisi rikkevööndeid ja tumedad väljad linnade hoonestusalasid. Geology and Mineral Resources ..., 1997.

Eesti maardla on jaotatud paljudeks kaevandusväljadeks, mis on erineval tasemel uuritud ja ka muudest põhjustest tingitult erineva kasutuselevõtuperspektiiviga (joonis 17B). Tänapäeval kaevandatakse põlevkivi leiukoha kõige paremini kättesaadavast osast, kus ka selle paksused, kütteväärtus ja õlisaagis on suurimad. Edasine suundumine lõunapoolsetele kaevandusväljadele on muutunud küsitavaks. Põlevkivivaru on selleks küll piisav, kuid maavara kvaliteet pidevalt halvenev ja tootmiskulu tema kaevandamiseks suurematest sügavustest kiiresti kasvav. Siinkohal asubki esiplaanile konkreetne majandusarvutus, mistõttu põlevkivivaru arvutuslikud näitajad omandavad suure tinglikkuse. Ka mängib siin suurt osa Eesti elektrienergia tootmise edasine suundumus, mille suhtes pole veel otsustavat seisukohta võetud.

Tõepoolest, Eesti põlevkivi kasutamisestruktuuris on valdavaks (üle 90%) tarbijaks energeetika, vabariigi kirdeosas paikneva kahe soojuselektrijaama katelde näol. Teisteks vajadusteks (keemia- ja tsemenditööstus, ülejäänud väiketarbijad) läheb põlevkivi vähe ja, turukonjunktuuri muutumisi silmas pidades, väheneb selle osakaal tulevikus veelgi. Tihtipeale võime asjasse vähepühendatud inimestelt kuulda etteheiteid, et tarbime oma põlevkivivaru lausa röövellikult - põletame ta ära elektrijaamade ahjudes, kui samal ajal võiksime seda kordumatut loodusvara kasutada keemiatööstuses paljude hinnaliste keemiaproductide valmistamiseks, millele teadlased on vajaliku tee sillutanud. Paraku on

see etteheide põhjendatud vaid esmapilgul. Tegelikult tuleb endale aru anda, et keemiatööstusele kõlbulikkude põlevkivi on meil vähe - selleks tarbitakse üksnes kõrge kütteväärtusega (õlisaagisega) ja suuretükilist põlevkivi, mille saamiseks tuleb kas väljata põlevkivi selektiivselt või rakendada keerukaid rikastamiskomplekse. Mõlemad teevad niisuguse põlevkivi saamise erakordselt kulukaks, millele omakorda lisandub veel sellest vajaliku lähtetoorme - põlevkiviõli - väljautmine. Neid menetlusi läbides ei suuda põlevkivile rajanev keemiatööstus kaasajal kuidagi võistelda naftatoorme rajanevaga ja tal lihtsalt ei ole majanduslikku perspektiivi.

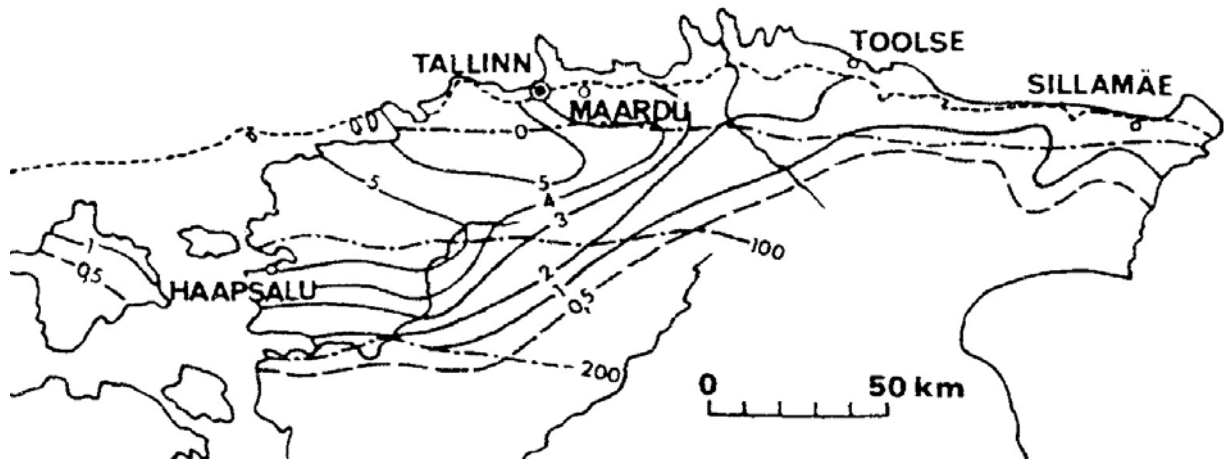
Unikaalne on Eesti põlevkivi aga siiski. Seda küll eeskätt oma tekkeloolistelt iseärasustelt. Merelise orgaanika fossiliseerumine lubimudakuhjelises basseinis on läinud hoopis iselaadi teed, mida ei osata lõpuni selgitada ka keemilistest protsessidest lähtuvalt. Põlev komponent ei ole siin suundunud söestumisele, mis on ka arusaadav, arvestades põlevkivi kujunemist mitte tselluloosiühenditest rikaste maismaataimede kudede moondel, vaid just rasva- ja valguühenditerikka merelise vetikafloora baasil. Kuid see protsess ei ole kulgenud ka sapropeelistumise ega bituumenite moodustumise suunas - s.o. süsivesinike eelissünteesile, vaid hoopiski küllalt suurte hapnikuhulkade (10-11%) fikseerumisele organogeense aine lõppstruktuurides. See annab Eesti põlevkivi orgaanilisele ainele kordumatu omapära, mistõttu on seda ainet õigem nimetada üldisemalt - kerogeeniks. Toodud eripära põhjuseks on ilmselt konkreetsete mattumistingimuste iseloom üsna hästi aereeritaval merepõhjal, mistõttu anaeroobsed protsessid ei saavutanud orgaanika fossiliseerumisel siin otsustavat kaalu. Kaudsemalt annab sellest tunnistust ka konkreetsete vetikastruktuuride säilimine põlevkivi põhimassis, mis on tuvastatud selle mikroskoopilisel uurimisel.

Teiseks Eesti põlevkivi kordumatuks jooneks on tema põimumine lubjakividega. Enamik teistest maailmas leiduvatest põlevkividest kujutab endast orgaanilise ainega läbi immutatud savikivimeid - nn. tumedaid ehk sapropeelseid kiltasid. Nende iseärasuseks on paksude ja ühtlaseilmeliste, kuid orgaanilisest aineist tunduvalt lahjemate (10-30%) lasundite moodustamine, mistõttu nad ei ole peaaegu leidnud ka praktilist kasutamist. Eesti põlevkivi - kukersiit vaheldub kontrastselt lubisetetega, mis on põlevkivide seas erandlik. Ta moodustab lubjakividega põimudes küll tunduvalt õhemaid kihte, kuid on seevastu orgaanilisest aineist märksa rikkam (kuni 60%) . Teisi sedalaadi kuhjeid maakoos pole peaaegu teada.

Põimumine lubjakividega annab Eesti põlevkivile ka ühe väärtusliku tehnilise, õigemini keskkonnakaitseomaduse. Nimelt seob küttekolletes lubjakivi lagunemisel vabanev CaO peaaegu kogu samas protsessis eralduva väävligaasi, vähendades sellega tunduvalt nende paiskumist atmosfääri. Teiste põlevkivitüüpide ja ka kivisöe kasutamisel elektrijaamade küttekolletes on see märksa tõsisem probleem.

4.2. Diktüoneemaargilliit

Eestimaa geoloogilises läbilõikes on olemas teinegi põlevkivi, millest on küll palju räägitud, kuid mille tootmiseni pole jõutud ega ilmselt jõutagi. Tegemist on just eespoolnimetatud tavapärase põlevkivitüübiga - s.o. orgaanilise ainega (12-17%) läbi imbunud kõvastunud savikivimiga, mis lasub ordoviitsiumi allosas, vahetult fosforiidilasundi peal. Lasund levib katkematu kehana Eesti põhja- ja loodeosas Hiiumaalt Narvani (joonis 18), kuid tema arvestatavad paksused (üle 3 m) on jälgitavad siiski vaid Haapsalu - Tallinna vahelisel alal. Maksimumpaksused ulatuvad kohati 6-7 meetrini. Põlevat orgaanilist ainet sisaldava argilliidi varud on hiiglaslikud, ligikaudu 60 miljardit tonni. Suurem osa neist lasub ka kaevandamiseks kättesaadavas sügavuses, avanedes paekaldajärsaku jalamil otse maapinnale. Aktuaalseks muutus diktüoneemaargilliidi kasutamispõhine seoses fosforiidi hiljutiste kaevandamisplaanidega laialdasel alal - tulnuks ju argilliit pealmaakaevandamisvariantides fosforiidi kattekihina nagunii väljata.



Joonis 18. Dictüoneemaargilliidi levik Eestis. Pidevjoonega näidatud samapaksusjooned, punktiiriga lasumussügavus meetrites.

Geology and Mineral Resources ..., 1997.

Paraku on kõnealuse kivimi kasutamine maavarana tõkestatud mitme asjaoluga. Esiteks on see temas leiduva orgaanika madal sisaldus (alla 20%), mis teeb kütteväärtuseks üksnes 1500-1600 kcal/kg (4,2-6,7 MJ/kg). Teisisõnu, nii kõrge tuhasusega kütusesliigi kasutamine ei tule tänapäeva tehnilistes oludes kõne alla - ei tehnoloogiliselt ega majanduslikult. Teiseks piirajaks on argilliidi kõrge rauasulfiidse mineraali - püriidi (FeS₂)-sisaldus, mis tõuseb kohati 8-9%, püsides enamasti siiski 2,4-6,0% piires. See väävliühend laguneb põletusprotsessidel vääveloksiidseks gaasiks, mis põhjustab atmosfäärisaastet kukersiitpõlevkiviga võrreldes kümneid kordi suuremates kogustes. Seegi probleem püsib argilliidi kasutuselevõtuperspektiivis esialgu ületamatuna.

Küll on diktüoneemaargilliidiga seoses kõige perspektiivsemaks loetud temas esinevate haruldaste elementide kõrgendatud sisaldus. Märkimist väärivad siin peamiselt kolm - U, Mo ja V, mille sisaldused kivimis ületavad kümneid kordi nende maakoores esineva keskmise hulga. Siiski ei tõuse see sisaldus kusagil tänapäevaste maakide tasemele, mistõttu neist metallidest saaksime rääkida üksnes kui kaasnevatest maavaradest, mille kasutamine tuleks kõne alla vaid argilliidi kompleksel kasutamisel. Kõige kaugemale on sel teel mindud uraani kasutuselevõtul, milleks rajati Sillamäele vastav rikastuskombinaat. Teisele maailmasõjale järgnenud aastatel, mil uraan muutus aatomitööstuse tähtsaimaks tooraineks, püüti teda argilliidist kätte saada ja mõnekümne tonni ümber seda õnnestuski teha suurte kulutuste hinnaga. Peatselt sellest loobuti, niipea, kui leiti uraani tootmiseks sobivad maagilasundid.

Niisiis jääb diktüoneemaargilliit kasutult maapõue lebama. Kuid vähe sellest, temas peituvate lisandite ohtlikkuse tõttu ei tohiks lasundit üldse puutuda. Argilliidi väljamisel fosforiidikatendina aheraine puistangutesse tekivad mitmed keskkonnasaasteprobleemid. Kivimi kobestamisel pääseb temasse õhuhapnik, mis asub intensiivselt orgaanilist ainet ja peenhajusat püriiti hapendama. Raskendatud soojusjuhtivuse tõttu võivad need eksotermilised reaktsioonid põhjustada kivimi soojenemise ja isesüttimise, mis viib kõige muu ebaseadliku kõrval ka väävliühendite iseeneslikule ja intensiivsele paiskumisele atmosfääri. Selliste kollete tekkimise kogemus on olemas Maardu ammendatud fosforiidialadelt. Ja kuigi on leitud efektiivseid meetmeid selle nähtuse tõkestamiseks, on tema tehnilik esilekutsumine kaevandusaladel siiski äärmiselt ebasoovitav. Ja teinegi külg - kobestatud kivimimassiivi pääseb sademe- ja põhjavesi, mis hakkab lahustama ka kivimis kõrgendatud kogustes sisalduvaid lisandelemente. Enamus nende osküdeerunud ühendeid on tugeva toksilise toimega. Nii saastub lähiümbruse põhjavesi ohtlike komponentidega. Sedagi tuleks vältida.

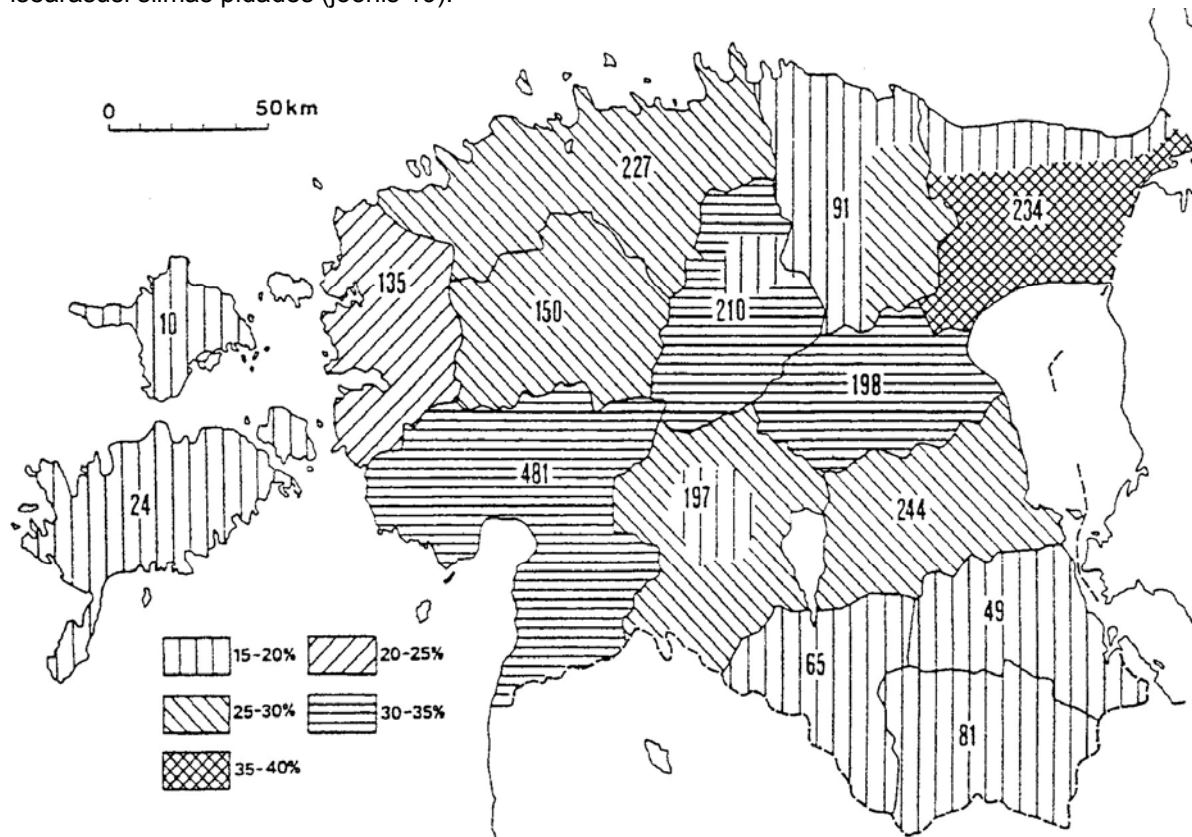
4.3. Turvas

See tähtsusel teisel kohal asuv energeetiline maavara loob Eesti alal lootustandva perspektiivi tuleviku tarbeks. Isegi vaatamata sellele, kuidas me käesoleval ajal seda ressursi suudame kasutada.

Turbavaru Eestis on väga suur. Asume turba tekkeks soodsates kliimaoludes - niiskete ja soojade atlantiliste atmosfäärihoovuste mõjusfääris, mis tagab selle maavararessursi pideva juurdekasvu umbes 0,9 mm aastas, muutes ta niiviisi isegi osaliselt taastuvaks maavaraks. Kuid peamise eelduse turbalasundite rikkalikuks tekkeks lõi siin siiski hiljutine mandrijäätumine. Just jää poolt moodustatud

vett mitteläbilaskva moreeni korrapäratud kuhjatised sulgesid siin varasema vooluteedevõrgu ja kujundasid arvutu hulga äravooluta sulglohkusid, kus kujunesid järved. Kliimaolude paranemisel kasvasid need veekogud taimestikuga kinni ja tekitasid üle kogu Eesti mitmesuguse suuruse ja paksusega turbalasuundeid. Käesoleval ajal moodustab soode pindala umbes 22% Eesti territooriumist. Siin on loendatud 9836 sood, millest 85% on küll väikesood, pindalaga 1-10 ha. Turbakihi paksus suuremates soodes moodustab keskmiselt 4-5 m, ulatudes harvemini 7-8 meetrini. Üksikutes soodes on täheldatud ka anomaalseid paksusi - 18 m Võllamäe ja 12 m Napsi soos.

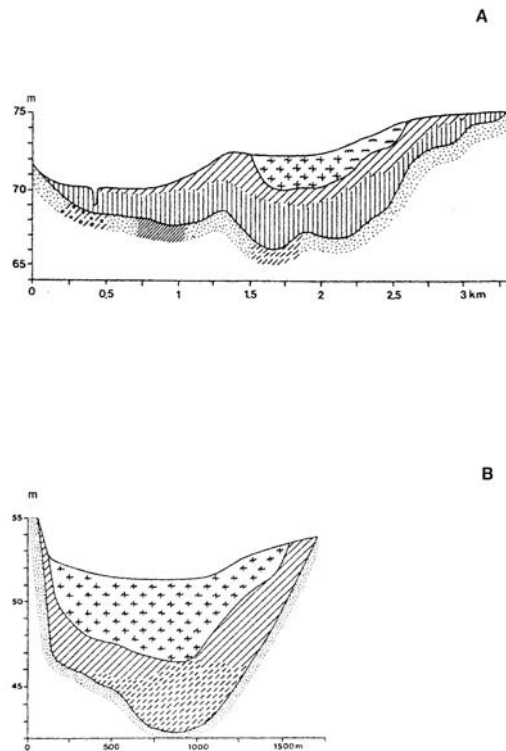
Turbavarude jaotumine Eesti alal on ebaühtlane. Suurimad neist paiknevad Ida-Virumaa lõunaosas ja Pärnumaal, märkimisväärsed on soomassiivid veel Kesk- ja Vahe-Eestis. Väikesed on turbavarud saartel, Pandivere kõrgustikul ja Lõuna-Eesti saarkõrgustike piires, mis on igati arusaadav maastikulisi iseärasusi silmas pidades (joonis 19).



Joonis 19. Turbavarude kogus maakonniti Mmiljonites tonnides 40% niiskusesisaldusele arvestatult ning soode pindala osakaal territooriumil (protsentides). Geology and Mineral Resources ..., 1997.

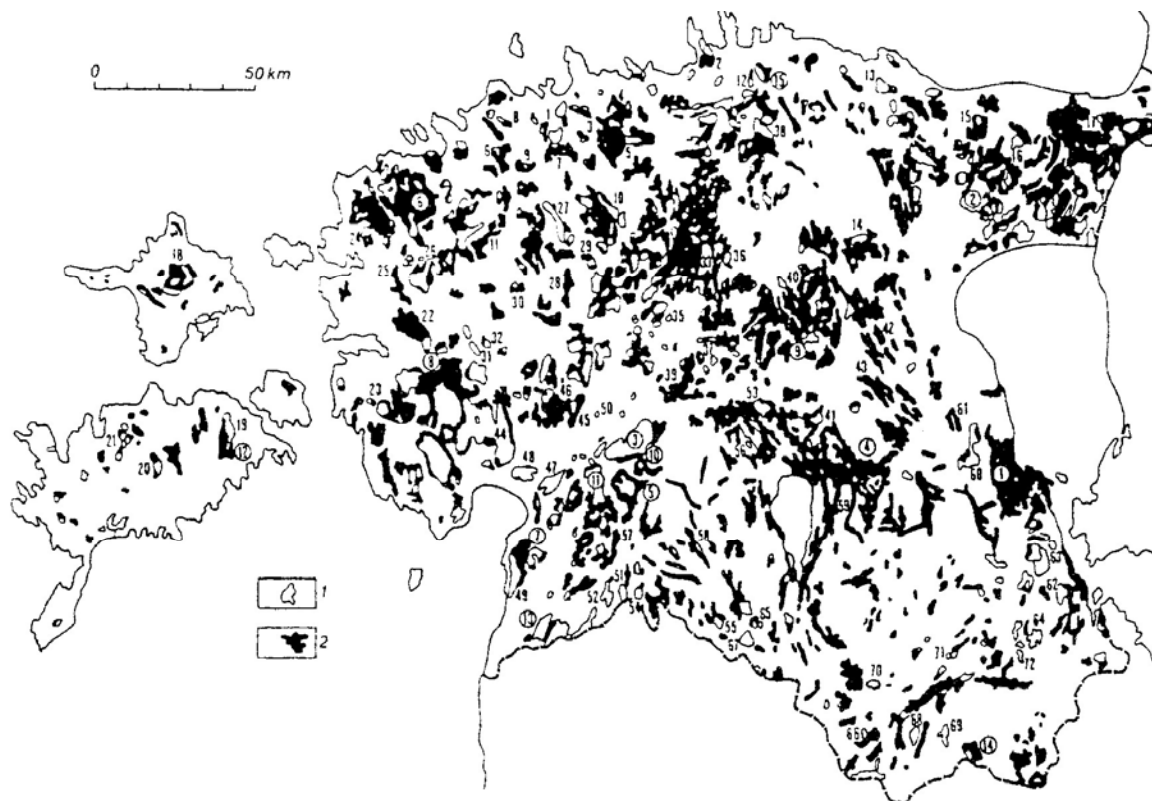
Turbamaardlatena käsitatakse praegu vaid soid, mille pindala ületab 10 ha ja turbakihi paksus 0,9 m. Niisuguseid soid on 1580.

Teatavasti jaotub turvas oma tekkeviisilt ja kasutusalaalt kaheks alatüübiks. Põhjaveest toitunud hästikõdunenud madalsooturvast kasutatakse peamiselt kütteturbana, sademeteveest toitunud vähekõdunenud kõrgsoo- ehk rabaturvast peamiselt alusturbana põllumajanduses. Sagedasti esinevad mõlemad turbatüübid ka ühes lasundis, moodustades selle eri osasid - madalsooturvas allosas, rabaturvas - üleval (joonis 20). Turbatüüpide varud uuritud leiukohtades annavad suhte 85:15 kütteturba kasuks (joonis 21). Viimaste aastakümnete kasutamisproportsioon on turbatüüpide lõikes ligikaudu võrdne, mis näitab kütteturba potentsiaali tagasihoidlikku kasutamist kaasajal.



Joonis 20. Tüüpläbilõikeid Eesti turbalasundeist.

Joonmärkidega näidatud madalsooturbaliigid (puu- ja tarnaturvas), rist- ja kamm-märgiga rabaturbaliigid (turbasamblaturvas jt.). Paremäl Kerreti (Võrumaa), vasakul Napsi (Viljandimaa) soo. Geology and Mineral Resources ..., 1997.



Joonis 21. Soode tüüpide levik Eestis.

1 - rabad, 2 - madalsood. Numbritele vastavad soode nimed leiab raamatust Geology and Mineral Resources ..., 1997. Ringiga tähistatud numbrid tähistavad looduskaitsealaseid soid.

Toodetud kuivturvas ja sellest valmistatud brikett on üks paremaid kütuseliike nii vähese tuhasuse, kõrge kütteväärtuse kui ka keskkonnoahtlike lisandite madala sisalduse tõttu. Turba kasutuselevõtu

piirajaks on aga vesi, mis looduslikus turbalasundis võtab enda alla 80-85% lasundist ning isegi juba toodetud briketis säilitab kuni 10% osakaalu. Põleva kuivaine kättesaamiseks tuleb see vesi turbatootmisel eemaldada, mis nõuab keerukaid tehnoloogiaid või energeetilisi ressursse (kuivatamine). See teebki turba kui kütuse kasuteguri väga väikeseks ja kütuse enese konkurentsivõimetuks teiste põlevainete kõrval. Siit on ka mõistetav, miks põllumajanduses kasutatava turba osakaal Eestis on ebaproportsionaalselt suur ja miks küteturbatööstus viskleb majandusraskustes. Kuid need olud võivad edaspidi muutuda. Veel Teise maailmasõja eelsetel aastatel tugines Eesti elektritootmine turbale - töötasid Ellamaa ja Ulila turbajõujaamad.

Turvas maavarana on lihtsast energeetikatoormest siiski mitmepalgelisem. Suurt osa sellest kasutatakse väetise- või aiandusturbana - komposti koostisosana, kasvustimulaatorina, muldade struktuuri parandajana. Kasutusviise võiks leida teisigi - meditsiinis, kosmeetikas, keemiatööstuses, filtri- ja sorbendiasjanduses. Igal juhul väärib see loodusressurss Eestis hoolikat tähelepanu - sellest võiks valmistada ka maailmaturule pääsevaid unikaalseid tooteid, toetudes rikkalikele turbavarudele just siinsetes, tehnogeenselt vähemõjutatud loodusoludes.

4.4. Maagaas

Maagaas kuulub Eesti eksootiliste loodusnähtuste hulka, mille ilmingud on küll huvitavad, kuid tõsiseltvõetavat maavara nad siiski ei moodusta.

Põleva maagaasi ilminguid on Eestis teada üksnes põhjarannikult - saartelt ja paelavaesistelt poolsaartelt Tallinna ja Loksa vahemikus. Tuntuim neist on gaasipurse Keri saarel, mida kasutati seal 1905.-1912. a. tuletorni valgustamiseks. Hiljem on gaasi otsitud ka Prangli saarelt, üksikilminguid on teada samuti Aksi (Väike-Prangli) ja Mohni saarelt, Viinistust, Ihasalust, Kolgalt. Gaas koosneb metaanist (CH₄), pärineb sügavustest 20-120 m ja on seotud eranditult kvaternaarse setetega. Rikkalikemates ilmingutes ulatus gaasi väljavool mõnesaja kuupmeetri ni ööpäevas, kuid selline saagis oli lühiajaline. Prangli saare piirkonnas hinnati gaasivarusid 17 milj. m³, mis madala rõhu (1-9 atm) tingimustes ei ole kuigi märkimisväärne.

Tekkelooliselt on metaanist maagaas ilmselt seotud mandrijää poolt savikasse moreeni suletud orgaanikatsisaldavate setendite (turbad, meresetted) laguproduktidega, mille varud ei saagi suured olla.

Üksikuid juhuslikke gaasiilminguid on täheldatud kaevude puurimisel ka teistes piirkondades Eestis, kuid need on nõrgasurvelised mullilised ilmingud, mille olemust pole ka lähemalt selgitatud. Kord on gaas esindatud metaani, kord lämmastikuga. Viimase gaasi ilmingud on peaaegu eranditult seotud Põhja-Eesti paekalda lähipiirkonnaga ja on ehk kõige hõlpsamini seletatavad diktüoneemaargilliidi osalise lagunemisega maapõues - see on kõige reaalsem lämmastikuallikas siinses maapõues.

Eesti maagaasiilmingute seostamine lõunapoolsete regioonide naftailmingutega, mis avaks perspektiivi vastavatele süstemaatilistele otsingutele, ei oma mingit reaalset alust.

4.5. Nafta

Sellegi kõmukõlalise maavara nimetamine Eesti maavarade kontekstis on pigem eksitavat kui tõsimeelset laadi. Siiski ei saa eitada naftaprobleemi reaalsemaid tagamaid. Looduslike bituumenite üksikleide Eestis on teada juba möödunud sajandil. Hiiumaal, Vaemla mõisa puurkaevu rajamisel olla leitud isegi naftalaadset vedelikku. Siin tehti ka aastatel 1912-1924 mõningaid puurimisi, millega seostuvad mitmed spekulatsioonid ning mille kohta puuduvad vähegi usaldusväärsed andmed. Käesoleva sajandi kuuekümnendatel aastatel Kuressaare linna rajatud puuraugus täheldati mõnesentimeetrise lubjakivikihi läbiimbumist musta naftabituumeniga. Tänapäeval on V. Kattai fikseerinud üle 150 väikese, enamasti mikrotilgakujulise nafta- või bituumeniilmingu Eesti kivimites. Suurem osa neist on samuti seotud Lääne-Eesti ja eriti Hiiumaa kesk- ja ülemordoviitsiumi või siluri kivimitega. Teine tahkete bituumenite (asfaltiidi) levikupiirkond on Kirde-Eestis, kuid tekkelooliselt arvatavasti teistlaadne ning seotud pigem põlevkiviga.

Lääne-Eesti lubjakivides esineva bituumeni ja viskoosse nafta hajusesinemises pole midagi iseäralikku. Teatavasti on Baltikumi naftabassein ju olemas. Kaliningradi piirkonnas seda 2,5 km sügavusel lasuvatest kambriumi kihtidest vähesel, kuid siiski tööstuslikul hulgal ka toodetakse. Leedu alal on samad kihid samuti naftatsisaldavad, kuid tootmisväärseid leiukohti enam ei moodusta. Põhja pool - Läti Kuramaa puuraukudes andsid puurimistööd samuti üksikuid naftailminguid, mille varud osutusid väga väikesteks ja seejärel otsingud lõpetati. Veelgi põhjapoolsem Eestis on selle rea loomulik

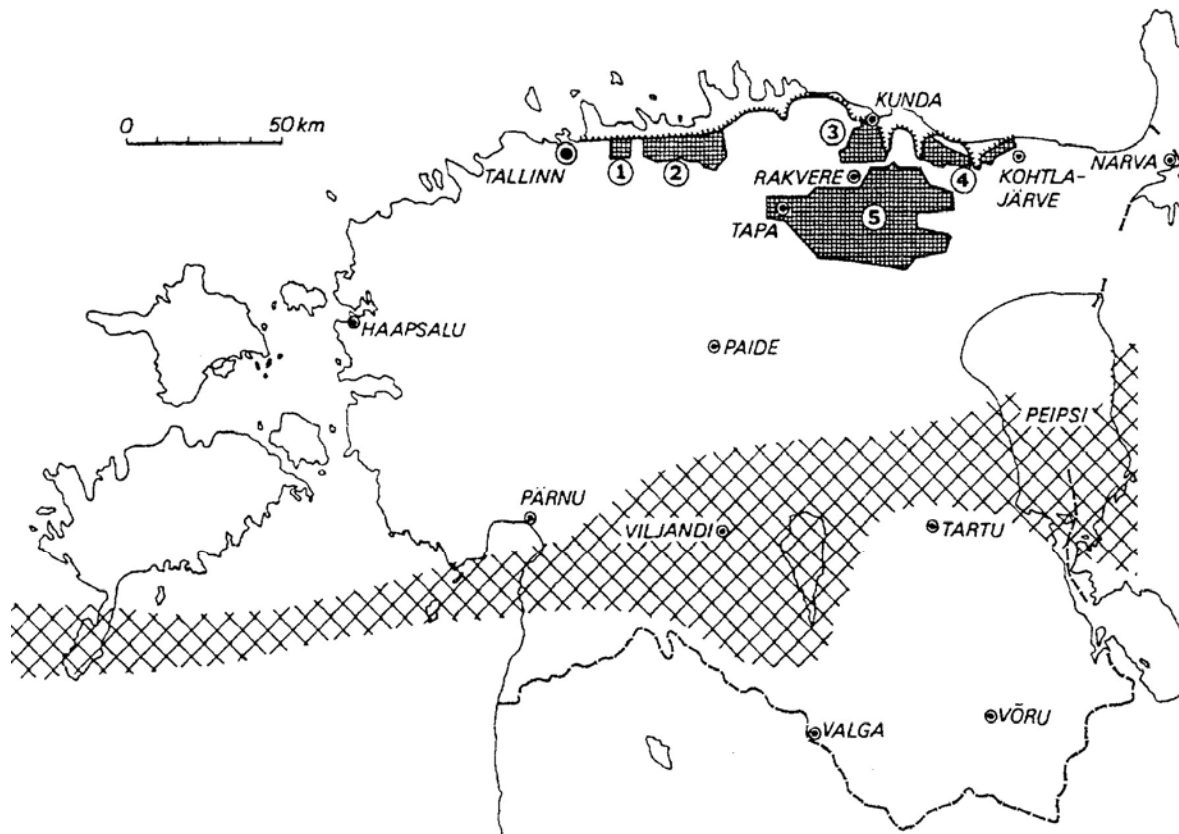
jätk: kuna keskkambriumi naftatsisaldav kiht siia peaaegu enam ei levi, on loomulik leida selle ilminguid just kõrgemalasuivate poorsete lubjakivide tühimikes, nagu see ka tegelikult on. Veest kergema nafta tungimine kõrgematesse kihtidesse on teada Leeduski - seal isegi otsiti võimalikke "naftalõkse" siluri riffilubjakivides ja devonit läbivate murrangustruktuuride ümbruses, sama võtsid ette rootslased Gotlandi saare lähikonnas. Kaliningradi nafta on äratanud lootusi Poolas ja Saksamaalgi, kus võeti ette spetsiaaluuringuid Balti mere akvatooriumil. Kõik need uuringud ei ole andnud positiivseid tulemusi - Balti kambriumi kihtides tekkinud naftavarud on liialt väikesed selleks, et kaugematele naaberriikidele tööstuslikku tähelepanu vääriks levitat anda. Kivimites aeglaselt liikuv nafta laguneb pikkamööda - märkimisväärseid koguseid saab ta anda vaid nn. lõksudes - kuplilaadsetes, läbipääsmatute kivimitega ülalt piiratud tühemikes või poorseis kollektorkivimeis. Niisuguseid kohti maapõues otsitaksegi, see on tööstusliku naftavaru paiknemise hädavajalik eeldus.

Sellisteks tingimusteks on Eesti asend äärmiselt ebasoodne. Kihid tõusevad siin ühtlaselt põhjasaunas, mistõttu piki poorseid kihte liikuv nafta pääses hõlpsasti maapinnale ja hajus aastamiljonite jooksul maailmaruumi. Pole sugugi juhuslik, et Eesti sagedasemad hajusnafta leiud koonduvad Hiiumaale. Selleks on kaks põhjust - esiteks poorsemate rifilaadsete kivimite sagedasem esinemine siinses ordoviitsiumi kivimkompleksis ja, teiseks, Kärkla hiidmeteoriidi plahvatusega tekitatud teisene poorsus selle piirkonna kivimites. Sellest kõigest piisas naftapiisakeste fikseerimiseks kivimeis, kuid mitte enamaks.

4.6. Fosforiit

Fosforiit on Eesti maapõues paiknev tähelepanu vääriiv loodusressurss, mida käesoleval ajal maavarana ei kasutata. Geoloogiliselt on ta kambriumi-ordoviitsiumi piiril paiknev peene-, keskmise- või ka jämedateraline kvartsiivakivi, mis sisaldab rohkesti selleaegses meres elanud käsijalgsede loomade fosfaatsest materjalist karbi tükikesi või koguni terveid karbipoolmikke. Et fosfaatne aine (fluorkarbonaatapatiit) on kvartsiivast tunduvalt raskem (3,2 Mg/ m³), siis madalvees lainetuse toimel aset leidnud liiva korduval ümberpaigutusel tekkisid siin-seal karbipururikkamad liivaläätsed või vahekihid, mis kujundasidki tootmisväärseid fosforiidilasundeid. Niisiis ei moodusta fosforiidikiht, erinevalt põlevkivist, kogu oma levikualal ühtset kihti, vaid eraldiasetsevad laigulisi rikastusvööndeid, kus fosforisisaldus ja kihipaksus vastavad esitatud konditsiooninõuetele. Tööstuslikku huvi pakuvad praegusel ajal lasundid, mille paksus on vähemasti 1,0-1,5 meetrit ja P₂O₅ sisaldus üle 3%. Ka ei tohi kahjulikke lisandeid (MgO, Fe₂O₃) olla üle lubatud piiri.

Niisuguseid leiukohti on fosforiiti kandva kihindi - nn. oobolusliivakivi - levikualal Põhja-Eestis eraldatud 5, lisaks neile veel mõned vähemuuritud perspektiivalad ja mõned juba hoonestuse alla jäävad, arvelt kustutatud leiukohad (Iru, Narva). Kõik need leiualad paiknevad Põhja-Eestis, vastavate kihtide avamusala lähistel (joonis 22). Neist ainult üks - Rakvere leiukoht - asub tunduvalt lõuna pool, mistõttu selle kaevandamine tuleb kavandada suurematest sügavustest (85-200 m). Kesk-Eestit läbib vöönd, kus oobolusliivakivi täiesti puudub (joonis 22). Sellest lõuna poole jääb küll vöönd, kus ta ilmub uuesti, kuid kus andmed ta fosfaadisisalduse kohta on väga lünklikud ja kus suur lasumussügavus (300-400 m) jätab need ilmingud reaalsest maavarakasutusest välja.



Joonis 22. Fosforiidileiukohtade paiknemine Eestis.

1 - Maardu, 2 - Tsitre, 3 - Toole, 4 - Aseri-Saka, 5 - Rakvere. Diagonaalruudustikuga näidatud ala, kus fosforiitisisaldavad kihid täielikult puuduvad. Geology and Mineral Resources ..., 1997.

Tuleb aga tõdeda, et praegusaja tingimustes ei ole Eesti fosforiit maailmaturul konkurentsivõimeline. Peale väljamist maapinnale tuleb teha arvestatavaid kulutusi toorme rikastamiseks, ja, mis eriti tähtis, rajada fosforiidi keemilise ümbertöötlemise keerukas kompleks, mis nõuab suuri investeeringuid. Lahendada on tarvis ka mitmeid keskkonnakaitselisi probleeme.

Majandusarvestused on näidanud, et fosforiidi kaevandamine Eesti suhteliselt väikestest leiukohtadest on kaugel tasuvusest. Tähelepanu võiks väärida vaid Rakvere leiukoht oma suurte varude, fosforiidikihi märkimisväärse paksuse (keskmiselt 8 m) ja üsna püsiva P₂O₅ sisalduse (7-15%) tõttu. Kuid suure kaevandamissügavuse tõttu tekivad siin mitmed mäetehnilised ja veekaitselised probleemid, mille ületamiseks tehtavad kulutused muudaksid sellegi leiukoha evitamise mittetasuvaks. Sellele vaatamata on just Rakvere leiukohta enam uuritud, leiuala territoorium jaotatud üksikaladeks ja ühel neist tehtud ka eeluuring (Lääne-Kabala). Viimastel aastatel on tähelepanu ärganud ka Toole maardla, mis asub Kunda - Aru tsemenditootmise mäetööstussõlme läheduses. Maardla tööstuslikud näitajad on suhteliselt head, enam muret tekitab katendis lasuva diktüoneemaargilliidi käsitlemine, sest oma kõrge püriidisisalduse tõttu on see kivim just siin kõige ohtlikum isesüttivuse poolest. Toole maardla sobiks siiski kõige enam fosforiidi kaevandamise katsetöödeks kaasagegse tehnoloogia baasil ja seetõttu pole tööstuse huvi selle leiukoha vastu ka täiesti kustunud.

Teiste leiukohtade perspektiiv on vähe lootustandev. Maardu leiukoha varud on praktiliselt ammendatud ja tootmine lõpetatud. Tsitre leiukohal on küll mitmeid häid näitajaid, kuid ta jääb valdavalt kasutatavate põllumaade alale ja osalt ka rahvuspargi piiresse, mistõttu tema evitamine pole lähiajal puhtmajanduslikel-administratiivsetelgi põhjustel võimalik. Ida-Eestis paiknev Aseri - Saka leiukoht on teistest erinev fosforiidi suurema tsementeeritusastme ja sellele kaasneva kõrge magneesiumi- ja rauasisalduse poolest, mistõttu siinse maavara kasutuselevõtt tekitaks mitmeid tehnoloogilisi lisaprobleeme.

Niisi näeme, et vaatamata unikaalse fosforiidiprovintsi olemasolule Eesti alal ja selles talletunud tohutule fosforpentoksiidi varule (ainuüksi uuritud leiukohtade üldvaru ulatub 82 miljoni tonnini P₂O₅), on selle maavara evitamine praegu seiskunud. Et aga fosfor kuulub biofiilsete elementide hulka ja mõningane kogus peab seda kindlasti igal toidulaual olema, siis ei saa Eesti fosforiidi olemasolu sugugi unustada. Asjaolud maailmaturul võivad ootamatult muutuda ja potentsiaali olemasolu siinses

maapõues võib edaspidi kasulikuks osutada. Enamgi veel - fosforiidi varud pole Eestiski veel lõplikult piiritletud. Jätsime eelnevalt tähelepanu juhtimata otsingutöödele tuginevatele hinnangulistele varudele Rakvere leiukoha lõunaosas, mis mitmekordselt ületavad arvelevõetud varu. Ka on teada Maardust lõuna poole jääval alal kaks perspektiivset, tõsi küll, sügavamal lasuvat kivimikompleksi (Raasiku, Kehra), kus näib olevat tootmisväärtset fosforiiti üsna suurel hulgal. Edasistel geoloogilistel töödel leiavad needki andmed täpsustamist.

4.7. Looduslikud ehitusmaterjalid

Looduslike ehitusmaterjalidega on Eesti piisavalt varustatud. Tõsi küll, nende hulgas ei ole eriti kõrgekvaliteedilisi toormeliike, kuid kasutuskõlblike loodusvarade loetelu on üsna avar. Nimetagem paasi (lubjakivi ja dolomiiti), kruusa, liiva, savi ja lõpuks ka praegu veel kättesaamatut graniiti.

4.7.1. Paekivi

Paekivi ehk paas on karbonaatsete kivimite - lubjakivi, dolomiidi ja mergli - üldnimetus. Need on iidse merepõhja setendid, mis üsna pea pärast ladestumist tsementeeriti lubiainega kemo- või biogeensel teel samas basseinis sadestunud karbonaatühendiga. Peamiseks mineraaliks on kaltsiit (CaCO_3), kuid real juhtudel asendus see settesiseste protsesside toimel kaltsium-magneesiumi kaksiksoola - dolomiidiga ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$). Lisaks nendele komponentidele sisaldab paas alati saviosakesi, vähesel määral ka liiva. Sõltuvalt loetletud komponentide vahekorra ja nende paigutusest kivimis, on mõned paeerimid kasutusel maavarana. Eelistatakse savivaesemaid kivimitüüpe, sest need on tugevamad ja külmakindlamad. Savirikast paasi - merglit - praktiliselt ei kasutata. Oluline on savi jaotus kivimis. Imepeenedki savikelmed kihipindadel põhjustavad lubjakivi lagunemist õhukesteks plaatideks, hajutatud kujul esinev sama kogus saviainet kivimit sel viisil ei kahjusta. Neile asjaoludele vastavalt kasutatakse vaid üksikuid kihte Eesti ligemale 400 meetri paksusest ordoviitsiumi ja siluri ladestu paelasundist. Materjali odavuse tagamiseks kaevandatakse nimetatud kihte üksnes nende avamuse piirides. Sügavamal lasuvaid kihte väljatakse vaid suuremates karjäärides.

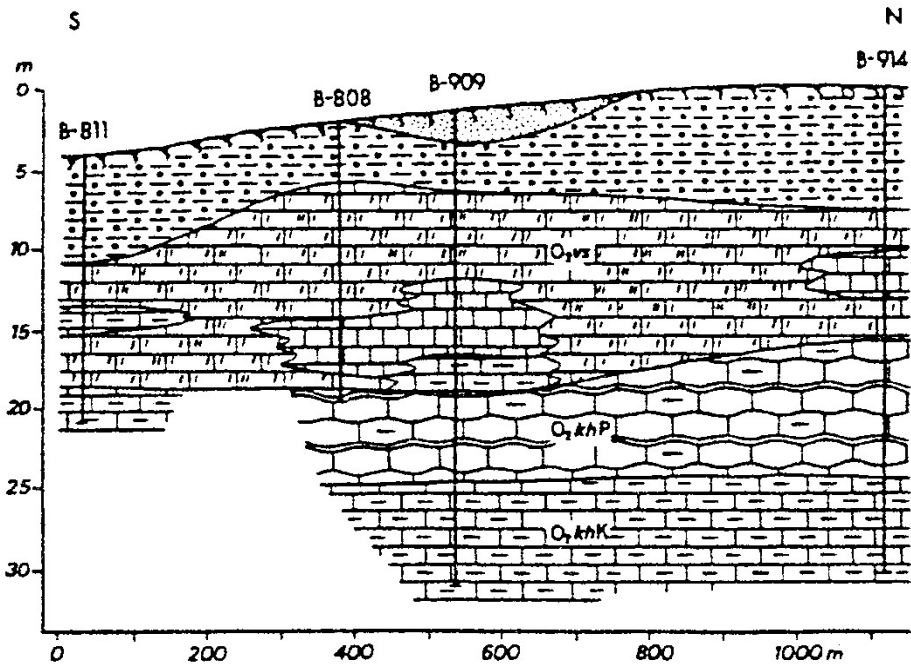
Ehituskivina kasutatav paekivi peab olema hea survetugevusega, külmakindel ning löökidele ja kulumisele vastupidav. Niisugustele nõuetele vastab paremini keskordoviitsiumi Lasnamäe ja Uhaku lademesse kuuluv nn. ehituslubjakivi, mida kasutatakse üle Eesti. Tuntumad karjäärid on Harkus, Lasnamäel, Väos, Kohtla-Järvel ja Narvas. Monoliitse müürikivina kasutatakse paasi praegu siiski väga vähe - peamiselt vundamentide ja dekoratiivsete müüride rajamisel, samuti vanade hoonete restaureerimisel. Pae ehitusfüüsikalised omadused (madal poorsus ning sellest tulenev liigne soojusjuhtivus) ei vasta kaasaegsetele ehitusmaterjalidele esitatavatele nõuetele. Seetõttu kasutatakse meie paremaid paesorte suurtes kogustes killustiku tootmiseks. Killustikku on võimalik edukalt kasutada betoonsegudes, andes ehitusdetailile vormimise teel vajaliku kuju ja ehitusfüüsikalised omadusedki. Killustikku valmistatakse Eestis mitmeid miljoneid m³ aastas.

Peale ülalnimetatud traditsioonilise ehituslubjakivi kasutatakse killustiku tootmiseks ka teiste lademetest kivimeid. Tuntumad on Oandu lademe baasil töötavad murrud Vasalemmas ja Rummus, Raikküla lademe lubjakivid ja dolomiidid Puskus, Mündil ning Pajusil, Jaagarahu lademe kivimid Anelemal, Kureveres ning Muhus jne.

Viimistluskivina kasutatakse dekoratiivse siseehitusega ja hõlpsasti töödeldavaid paeliike, peamiselt dolomiite. Lisanõudeks siin on monoliitsete kivimiplokkide olemasolu, millest saaks lõigata vajalikus suuruses dekoratiivplaate. Just siin on piiravaks teguriks pae kihilisus, mis seda nõuet ei rahulda. Parimateks viimistluskivideks on siluri dolomiidistunud paekivimid, mille leiukohad paiknevad peamiselt Saaremaal (Kaarma, Selgase, Mustjala, Tagavere). Väheses koguses kasutatakse siseviimistlusplaatide tootmiseks ka Lasnamäe lademe ehituslubjakivi.

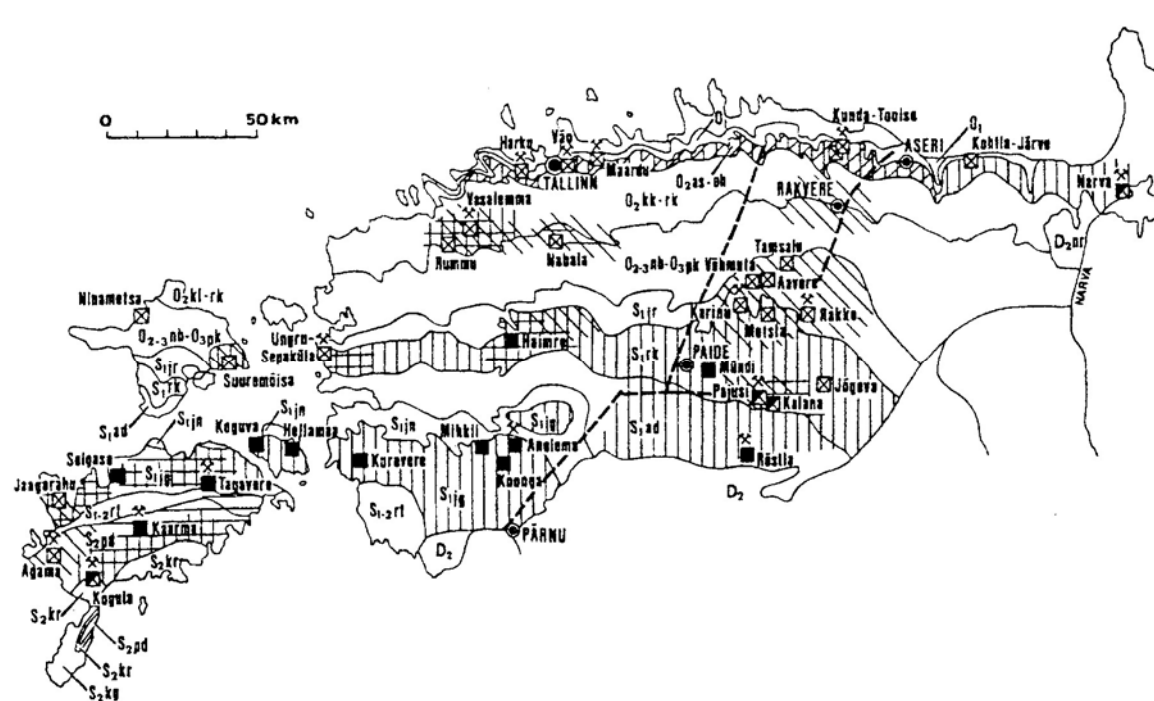
Tehnoloogiline paas on tooraineks mitmesugustele tööstusharudele ja põhiliseks kvaliteedinõudeks sellele paeliigile on tema kõrge puhtusaste - s.t. lisandite vähene hulk. Peamiseks tarbijaks on lubjatööstus, mis ei luba tooraines MgO sisaldust üle 2% ja SiO_2 , Al_2O_3 ning Fe_2O_3 sisaldusi üle 3%. Niisugust lubjakivi leidub ordoviitsiumi Oandu lademes ja siluri Juuru lademes Rakke ümbruses, vähemal määral ka siluri Jaagarahu lademes Saaremaal. Teiseks tehnoloogilise lubjakivi tarbijaks on tsemenditööstus, kes ei esita kuigi suuri nõudeid lubjakivi savisisaldusele. Käesoleval ajal toodetakse tsemendilubjakivi keskordoviitsiumi Lasnamäe ja Uhaku lademest Kunda lähisel Arul. Puhast lubjakivi vajab ka paber- ja tselluloositööstus ning metallurgia, aga ka klaasitööstus ning keemia- ja toiduainetööstuski. Toormebaas selleks on olemas, näiteks Padisel ja Rummus Oandu lademe riffilubjakivide näol (joonis 23), kuid nende tarbimine niisuguseks otstarbeks on Eestis väga väike. Ka klaasitööstus vajab ülipuhast paasi, kuid just dolomiiti. Päris nõuetekohast kivimit meil peaaegu ei

leidu - katsetatud on Hellamaa dolomiiti Hiiumaal ja Anelema dolomiidierimeid Põhja-Pärnumaal. Tehnoloogilisest lubjakivist tarbib valdava osa tsemenditööstus (ca 350 000 m³ aastas), teised tootmisliigid vajavad seda tunduvalt vähem (kokku ca 80 000 m³).



Joonis 23. Vasalemmas kaevandatava keskordoviitsiumi lubjakivilasundi ehitus.

Horisontaalkriipsud väljendavad kivimi savisisaldust, kaldkriipsudega on näidatud savipuha bioklastilise lubjakivi levik. Geology and Mineral Resources ..., 1997



Joonis 24. Eesti tähtsaimate paekasutusalaade ja leiukohtade paiknemise skeem.

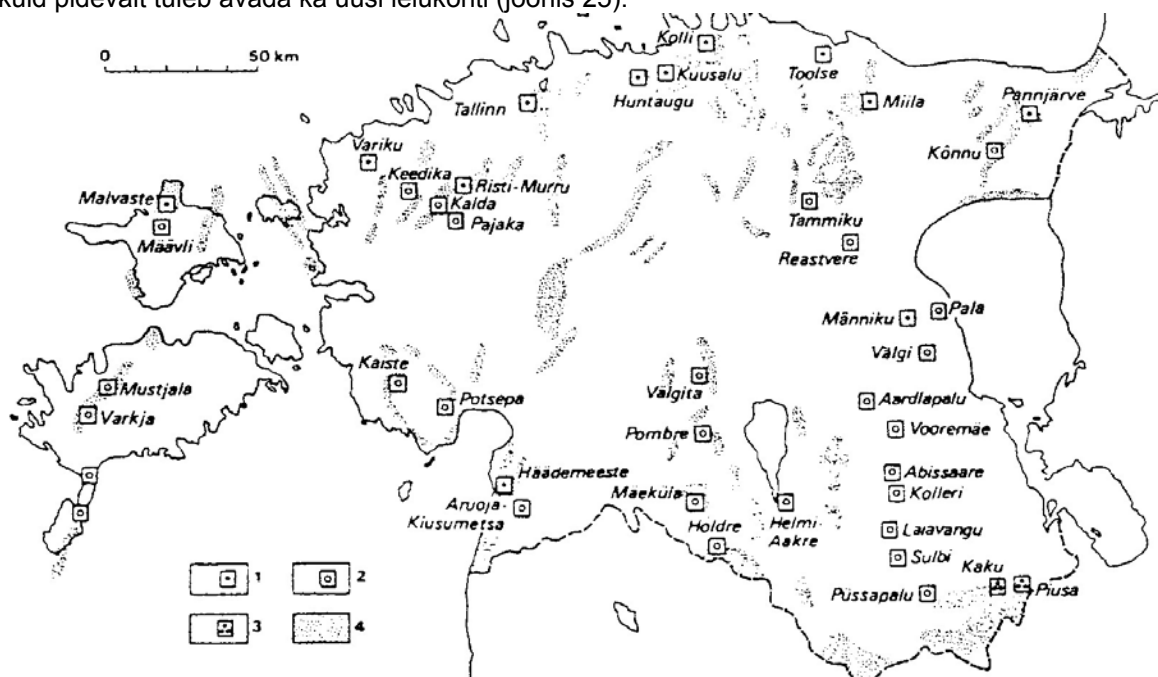
Püstviirutusega alad näitavad sobivat paasi ehituskivi ja killustiku tootmiseks, horisontaaljoonestus viimistluspaek levikuala, põikviirutus tehnoloogiliseks otstarbeks kasutatava paek piirkondi. Ristruuduga näidatud lubjakivi, musta ruuduga dolomiidi leiukohad. Ristuvad vasarad ruudu kohal tähistavad eksploateeritavaid leiukohti. Geology and Mineral Resources ..., 1997.

4.7.2. Kruus ja liiv

Kruus ja liiv on laialt kasutatavad maavarad ja neid on Eestis peaaegu kõikjal. Peamiselt leiab kasutamist siiski pinnakattes esinev mandrijää sulavete tegevusel kuhjunud kruusa- ja liivamaterjal, sest vanemates kivimikompleksides esinev või pinnakatteski teisel teel kujunenud liiv on liiga peeneteraline ega rahulda ehitustegevuseks nõutavaid terastikusuurusi.

Kruusa ja liiva kasutatakse paljudes valdkondades ja sõltuvalt sellest on neile esitatud mitmesuguseid standardnõudeid.

Peamine liiva tarbimine on ehitustegevuses - mörtide valmistamiseks, betooni, raudbetooni ja asfaltbetooni täiteks, silikaatoodete valmistamiseks, puiste- ja täitematerjalina teedehituses, lisandina tsemendi-, keraamika- ja klaasitööstuses jne. Kruusa kasutusala on mõnevõrra piiratumad - betoonitäiteks, teedehituses, raudtee ballastkihindiks jt. Täpselt vajalikele kvaliteedinõuetele vastavat kruusa ja liiva looduses tihtipeale ei leidu, seetõttu kasutatakse karjäärides sageli mitmesuguseid rikastusvõtteid. Materjali pudeduse tõttu on neist lihtsaim sõelumine, vähemal määral kasutatakse pesemist või jämedate fraktsioonide purustamist. Arusaadavalt annavad need rikastusvõtted vajaliku efekti vaid siis, kui algmaterjal on piisavalt jämedateraline - et selles oleks kõiki vajalikke fraktsioone (terasuurusi). Siit tulenebki vajadus jämedamate kruusliivasegude järele, mille varud Eestis on peeneteralisemast liivast tunduvalt väiksemad. Peamiselt on kruusliivad seotud liustiku sulavetevoolude kuhjetega - ooside, liustikujõgede deltakuhatiste ja sanduritega, mis on mõnikord ka ainsateks kaunisteks pinnavormideks maastikul (nn. Kalevipoja künnivaod). Sellest tekib sageli konfliktolukordi tootmistegevuse arendajate ja loodusehoidjate vahel, mida omavalitsusorganite vastutustundlikult lahendada tuleb. Igal juhul tuleb niisugusesse loodusmaterjali suhtuda väga säästvalt, tänuväärne on teedehitajate laialdaselt praktiseeritav vanade tarbetute teetammide materjali ümbervedamine uutele objektidele. Iga-aastane vajalik kruusa- ja liivakogus ulatub Eestis 20 miljoni kuupmeetri, ületades oma mahult kõiki teisi ehitusmaterjale kokku. Varusid esialgu jätkub, kuid pidevalt tuleb avada ka uusi leiukohti (joonis 25).



Joonis 25. Eesti tähtsaimad liiva ja kruusa leiukohad ning nende edasiseks kasutuseks sobivad perspektiivalad.

1 - liivad, 2 - kruusad, 3 - klaasiliiv, 4 - perspektiivalad. Geology and Mineral Resources ..., 1997.

Erielse koha ehitusliivade seas hõlmab klaasiliiv, millele esitatakse kõrgendatud puhtusenõuded. Eriti oluline on limiteeritud Fe_2O_3 lisand, mille sisaldus läbipaistva klaasi saamiseks peab olema alla 0,1-0,2%. Niisugust liiva leidub Eestis üksnes aluspõhjas, eeskätt keskdevoni Gauja lademes, kus praeguseks on teada kaks leiukohta - Piisa ja Imara-Tabina. Klaasiliivana on katsetatud Tallinna ümbruses ka alamkambriumi Tiskre kihistu liivakivi, kuid selle ebaühtlane savi ja püriidisisaldus ei võimalda sobivaid erimeid tööstuslikus koguses kaevandada. Ilmselt sobiks klaasiliivaks ka vendi ladestu ülaosas paikneva Kannuka kihistiku valged liivad, kuid ligemale 100 m lasumussügavuse tõttu ei tule nende kaevandamine kõne alla. Klaasiliiva kvaliteeti on võimalik mõnevõrra parandada ka selle

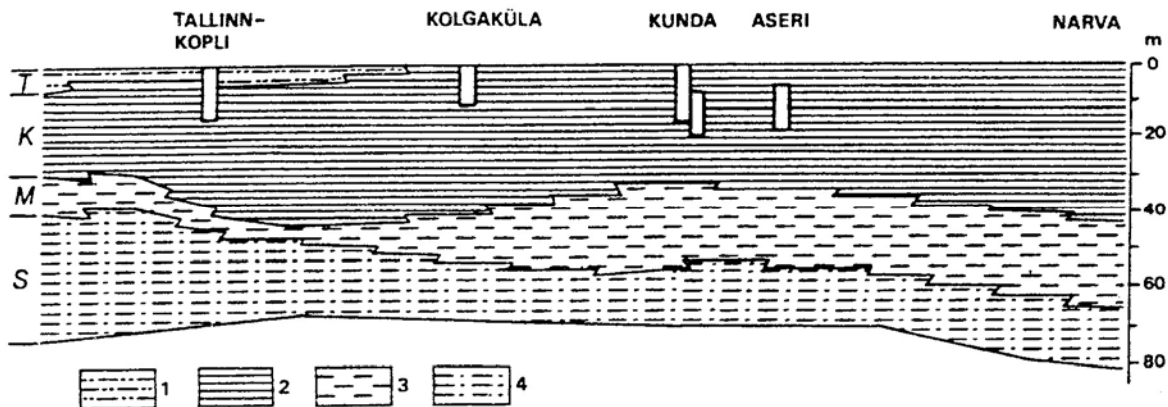
läbipesemise teel, eemaldades niiviisi sellest saviosakesed ja kahjulikke lisandeid sisaldavad rasked mineraalid.

4.7.3. Savi

Savi kui tsemendi ja ehituskeraamika põhiline tooraine on kõige peeneteralisem settekivimite erim. Ta koosneb osakestest läbimõõduga alla 0,01 mm, mille koostises valdavad kihtvõrega hüdroksiilkaadid - savimineraalid. Neil mineraalidel on osakeste imeväikeste mõõtmete tõttu suur eripind ja sellest tulenev pindaktiivsus. Savi võib füüsikaliselt siduda suure koguse vett ja muutuda seetõttu plastseks või isegi voolavaks massiks. See annab savile tema väärtusliku omaduse - vormitavuse. Vormimise teel saab savist valmistatavatele tootele anda vajaliku kuju, mis säilib ka selle põletamisel poorseks või poolklaasjaks kiviks. Nimetatud omadusel põhinebki savi kasutamine tema põhialal - keraamikas, kus savist valmistatakse telliseid, ahjupotte, dreanaažitorusid, katusekive, tarbekeraamikat ja muud.

Eri leiukohtade savid erinevad tugevasti omaduste poolest ning nende seas on kõige hinnatavamad parimat savimineraali - kaoliniiti - rohkesti sisaldavad savid.

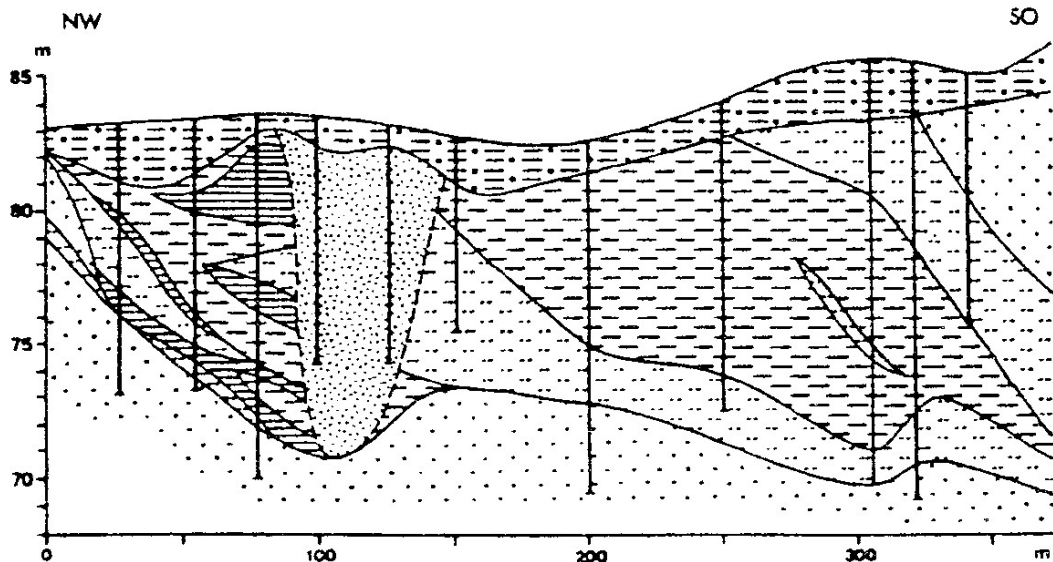
Kahjuks puuduvad Eesti suurte savivarude juures eriti kvaliteetsed savisordid. Olemasolev savitööstus tugineb kaasajal peamiselt alamkambriumi merelisele savile - nn. "sinisavile" (tegelikult küll rohekaale või isegi roheline-lillalaigulisele savierimile), mis avaneb Eesti põhjapiiril paekalda esisel rannalähedasel alal. Selle savi kasutamise eeliseks on tema piiramatud varud, koostise suur püsivus laialdasel alal ja lasundi erakordne paksus (kuni 70 m). See teeb savilasundi tööstuslikuks tootmiseks mugavaks ja mäetehniliselt lihtsaks. Kambriumi savi kuulub küll vähekvaliteetsete kergsulavate (sulamistäpp alla 1380 °C) savide klassi, kuid pikaajaline kogemus tema töötlemisel tagab toodete nõutava kvaliteedi. Praegu toodetakse ehituskeraamikat sinisavist vaid Aseri savitööstusettevõtetes (tellised, katusekivid), tsemendi tootmiseks vajalikud kogused ammutatakse samast kihindist Kundas (Joonis 26). Väärib rõhutamist, et nimetatud savilasund levib Eesti aluspõhjas katkematu kihina, mistõttu maardlate eraldamine tema piires on üldse mõnevõrra tinglik - seotud üksnes konkreetsete mäekorraldusterritooriumide ja vastava uuritustasemega. Kambriumi savi on tootmisväärne, mõistagi, üksnes tema kättesaadavas maapinnalähedases osas piki Põhja-Eesti paekalda jalamit. Läänepoolsemaid uuritud leiukohti Tallinnas, Ülgasel ja Kolgakülas praegu ei kasutata.



Joonis 26. Kambriumi katkematu savilasundi ehitus Põhja-Eestis.

1 - savi aleuroliidide vahekihtidega (Tammneeme kihistik), 2 - roheka- või lillatooniline peendispersne savi (Kestla kihistik), 3 - hajusa aleuriidilisandi rikas savi (Mahu kihistik), 4 - savi liivakivi vahekihtidega. Kastikestega näidatud tegutsevad ja varemtegutsenud karjäärid.

Pisut teistlaadsed ja osalt ka kvaliteetsemad (sealhulgas tulekindlamad - rasksulavad 1380-1450 °C) savilasundid paiknevad Lõuna-Eesti alal ja on seotud keskdevoni Burtnieki või Gauja lademe liivakividega. Savid moodustavad siin kiilduvaid läätsjaid kehi, mis kohati liivakate vahekihtidega põimuvad (joonis 27). See teeb nende leiukohtade mäetehnilise evitamise suhteliselt keerukaks, mistõttu on nad sobivaimad kasutamiseks väiketootjaile. Praegu neid savisid ei kasutata. Lõuna-Eesti savi on kaht tüüpi: valdavad rohekad, punakaspruunid või kirjuvärvilised erimid, mis on kergsulavad ja sobivad üksnes telliste tootmiseks. Üksikutes leiukohtades esineb aga ka halli savi, mis sisaldab märkimisväärse lisandina kaoliniiti ning kuulub rasksulava savi kategooriasse. Suurem paakumisintervall lubab viimatinimetatud tehnoloogiliselt paindlikumalt kasutada ja valmistada sellest mitmekesisemaid tooteid. Üldine madalseis keraamatitööstuses ei soodusta, paraku, nende kasutuselevõttu.

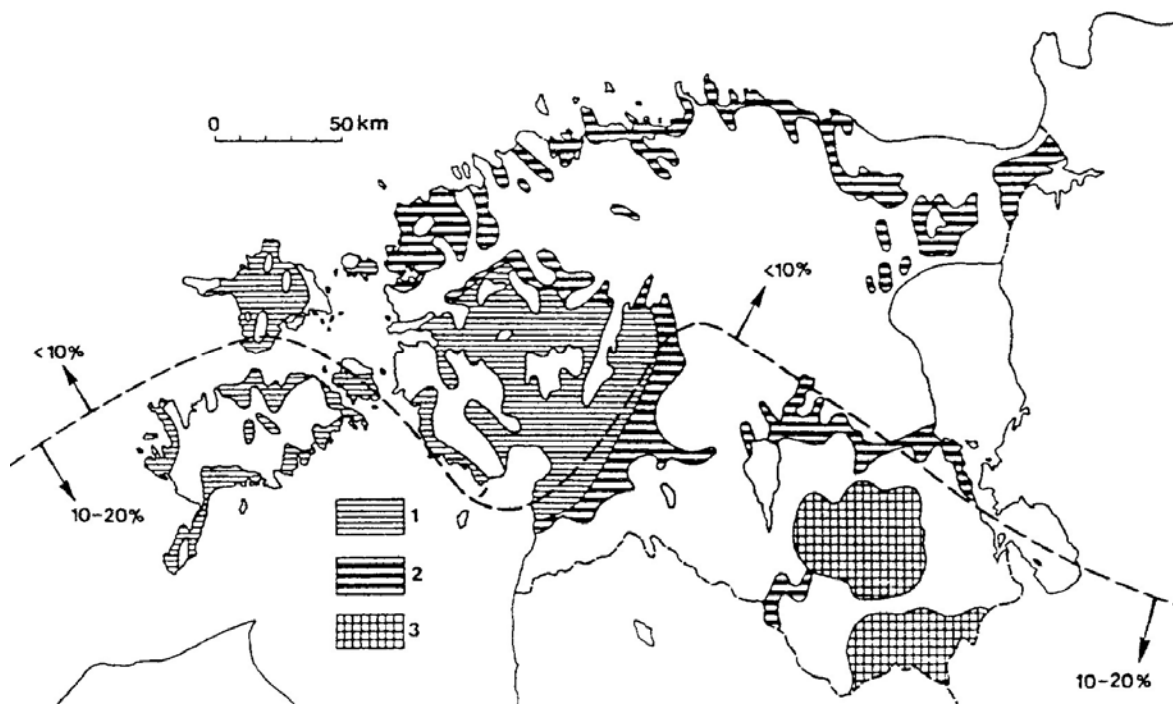


Joonis 27. Keeruka ehitusega keskdevoni savi leiukoht Joosul.

Katkendlike horisontaalkriipsukestega näidatud hinnalise rasksulava halli savi levik, pideva horisontaaljoonestikuga kergsulava punasekirju savi läätsjad lasundid. Näha keerukad seosed ümbritsevate liivakihtidega. *Geology and Mineral Resources ...*, 1997.

Devoni savide seas on eri tüübina kasutusel üksnes Arumetsa savi Häädemeeste lähedal Pärnumaal. See ühtlaseilmeline pruunikas savi, mis esineb omapärase vagumustäitena Aruküla lademe liivakivide keskel ja kuulub kergsulavate savide klassi, on kiirel põletamisel erakordsete punsumisomadustega. Seetõttu valmistataksegi sellest imekerget, graanulitest koosnevat toodet - kergkruusa ehk keramsiiti, mis segus betooni ja tsemendiga võimaldab valmistada mitmesuguseid ehitustele vajaminevaid tooteid. See toodanguliik on ehitusmaterjaliturul võitnud suure populaarsuse.

Peale nimetatud savitüüpide esineb Eestis rohkesti ka kvaternaariajastust pärinevaid pinnakattesavisid. Mandrijää serva esistes veekogudes kuhjunud nn. viirsavid on mitmemeetrilise paksuse ja horisontaalsuunas väljapeetud kihiditena laialdaselt levinud üle kogu Eesti territooriumi (joonis 28). Esimese maailmasõja järgsel perioodil töötas nende savide baasil ligemale sadakond kohalikku telliselöövi. Tänapäevaks on need savid oma kasutusala kaotanud, kuigi mõnevõrra põhjendamatu, sest neistki saaks valmistada mitmesugust ehituskeraamikat, sealhulgas isegi keramsiiti.



Joonis 28. Jääjärveliste pinnakattesavide levik Eestis.

1 - suuremate jääjärvede nõrgalt diferentseerunud kihilisusega savid, 2 - väiksemate veekogude väga selge aastakihilisusega savid, 3 - saarkõrgustike piires kujunenud lühiajaliste veekogude ebaselge aastakihilisusega savid. Punktirjoonega näidatud savide karbonaatidesisalduse 10% piirjoon savides.

Peamiseks tehnoloogiliseks takistuseks on paljude savilasundite kõrge niiskusesisaldus (kuni 60-70%), mistõttu nad tuleb enne kasutuselevõttu väljata ja kuivatada. Mõistagi teeb see nende kasutamise kulukaks. Tähelepanuväärne on kõnealuste savide puhul aga asjaolu, et vastavalt oma territoriaalsele asendile, on nende koostises nähtav seaduspärane muutus põhjast lõunasse. Nimelt on Põhja-Eesti paelaval esinevad savid lubiainevaesemad, Lõuna-Eesti (ja ka Läti) savid aga põhja poolt kandunud lubjakivide pihustusproduktide poolest rikkamad (joonis 28). Seetõttu põlevad paljud Lõuna-Eesti savid meeldivalt heledatoonilisteks, mis võimaldab savitoodete sortimenti nendega mõnevõrra avardadagi. Kuuluvad nad siiski vaid kergsulavate savide klassi.

Peale nimetatud viirsavide on Eestis kohaliku keraamikatööstuse tarbeks kasutatud ka savikaid moreenierimeid - nn. uht- või moreensavisid (Husari, Tsooru, Määsi, Siimusti jt.), mille varud on aga alati väga tagasihoidlikud ning savi koostis muutlik, mistõttu tänapäeva tööstusoludes neil tõsiseltvõetavat perspektiivi ei ole.

4.7.4. Graniit

Eesti looduslike ehitusmaterjalide seas on viimasel aastakümnel elavat kõneainet tekitanud omamaine graniit, mida saaksime ammutada mitte väga sügaval lasuvast aluskorrast Põhja-Eesti rannikuvööndis. Eriti aktuaalseks muutus graniidiprobleem pärast aluskorra kaardistamise tsükli läbimist, mille käigus selgus, et peamiselt väheväärtuslikest moondekivimitest koosnevas aluskorrakompleksis leidub üksikuid varaplatvormilisel arengufaasil neisse tunginud graniitseid intrusioone, millest üks - nn. Neeme massiiv - paikneb otse Tallinna külje all, Maardu - Neeme vahelisel alal (joonis 29). Graniitse plutooni läbimõõt on siin kümneid kilomeetreid, jätkumine sügavuse suunas praktiliselt piiramatult. Lasumussügavus küll siiski esialgu nävalt kättesaamatu - 110-130 m. Kuid üha kasvav graniidikillustiku vajadus kaasaegses teedehituses, ahvatlev võimalus saada siit ka väärtuslikke monoliitseid graniidiplokke, erakordselt soodne paiknemine suurlinna ja rahvusvahelise tähtsusega sadama vahetuses ning, miks ka mitte, avanev võimalus taaslustada mäetööstuslik tegevus oma funktsioonid kaotanud Maardus - kõik see sunnib Neeme massiivi graniiti vaatama üsna tõsiselt ja kavandama siin ettevalmistavaid uurimistöid. Mõningad neist on juba realiseeritudki.



Joonis 29. Neeme graniidimassiiv paikneb Tallinnast ida pool, 120-150 m sügavusel merepinnast.

Tuleb siiski endale aru anda, et lihtsa ja levinud graniidi allmaakaevandamine on Eestis lähiajal majanduslikus mõttes vaevalt võimalik, eriti oludes, kus lähedastel põhjanaabritel paiknevad samailmelised kivimid otse maapinnal. Kuid graniiditootmisel Eestis on teine ja vahest ehk otsustavamgi aspekt - võimalus kasutada tekkivaid maa-aluseid tühimikke väärtuslike hoidlate või muude vajalike tehniliste sõlmedena. Esiplaanile kerkivad otsekohe mitmesugused ladustamisvõimalused suure sadamakompleksi läheduses, keskkonna- ja diversiooniohutatud nafta- ja gaasimahutid, kindlad hoidlad ohtlikele jäätmetele, Iru Soojuselektrijaama jahutusvee säilitamine kõrgemal temperatuuril ja palju muudki. Täna sel päeval näivad need projektid ehk üksnes fantaasiana, arenenud riikide sellesuunalised praktilised sammud aga sisendavad ka reaalsusetunnet. Muidugi on probleem kompleksne ja eelkõige majanduslik, mitte geoloogiline. Tuleb leida asjast huvitatud investorid, nende püüdlusi maksimaalselt ühitada ja selle kõrval võib omamaise graniidi tootminegi väärtusliku kõrvalsaadusena teoks saada. Geoloogiline eeldus selleks on olemas.

Praegune graniidikillustiku tootmine põldudelt koristatud rändrahnude purustamise teel on vaevarikas ja väheperspektiivne mitmel põhjusel. Esiteks on tarvis need kivid kokku vedada. Teiseks valdavad nende hulgas just gneissjad moondekivimid, mis purunevad mineraalide eelisorientatsioonide tõttu kildalisteks tükkideks, kahandades killustiku kvaliteeti. Ja kolmandaks, rändrahnude materjal on suuremal või vähemal määral ikka allunud murenemisprotsessidele, mistõttu kivimi tugevuskarakteristika pole võrreldav maapõuest värskest väljatava kivimimassi omaga.

4.8. Teisejärgulised, potentsiaalsed ja uuritavad maavarad

Peale eespool käsitletud loodusrikkuste, mida esineb suurtes ja tootmisväärtetes hulkades ja mis määravad Eesti tänase mäetööstuse ilme, sisaldab Eesti maapõue veel rea huvitavaid ilminguid. Need pole küll leidnud märkimisväärset praktilist rakendust, kuid geoloogid peavad siiski nendega tegelema. Eeskätt selleks, et tundma õppida niisuguste ilmingute geoloogilisi kujunemisolusid, ja teisalt selleks, et tuleviku tarbeks selgitada maapõuerikkuste uusi kasutusalasid. Vaatleme neist mõningaid. Tõsi, paljudel juhtudel pole meil õigust neid ilminguid käsitledagi otseste maavaradena, sest majanduslik põhjendus nende kasutuselevõtuks lähitulevikus on enam kui kahtlane.

4.8.1. Rauamaagid

Nende seas on tuntuim Jõhvi magnetiline anomaalia, mille avastasid sõjaväetopograafid, tehes 1931.-1937. aastatel navigatsiooni kindlustamiseks vajalikke magnetomeetrilisi mõõdistamisi maismaal ja territoriaalvetes. Leiti mitmeid magnetilisi anomaaliaid, neist suurimaks osutus Jõhvist veidi kirde pool paiknev, mille põhjuseks arvati olevat rauamaagilademed aluskorras. Koheselt moodustatud aktsiaselts "Magna" tegi anomaaliale täiendavaid magnetilisi mõõtmisi ja puuris siia kaks sügavat puurauku - esimesed teemantpuurimisega rajatud puuraugud Eestis. Mõlemas augus satuti

magnetiitsele maagile granaat-amfibool-pürokseen-, granaat-amfibool- või granaat-kvartsiitses kivimis. Kumbki puurauk (505 m ja 721 m) maagikeha lõpuni ei avanud, ilmselt asetsevad lasundid peaaegu püstasendis. Proovid näitasid maagi kõrget kvaliteeti (Fe keskmiselt 31,15%) ja kahjulike lisandite, eriti fosfori madalat sisaldust (0,08%). Ka rikastamiskatsed andsid häid tulemusi.

Maagivaru sai hinnata äärmiselt ligikaudselt, igal juhul ulatub see sadade miljonite tonnideni.

Jõhvi anomaalia jätkusid tööd uuesti 1967. aastal, kui leiti veel üks (Voka) anomaalia ja puuriti 18 uut puurauku. 5 neist avas juba tuttava magnetiitkvartsiidi ja kogu saadud andmestik kinnitas veelkord maagikompleksi keerukat ehitust ning kihtide valdavat püstasendit, mistõttu hinnang varude kohta jääb ikkagi äärmiselt ligikaudseks.

Maak algab sügavuselt 230 m, tänapäeva hinnangute kohaselt ei ole selle toomine maapinnale majanduslikult võimalik.

Teine rauamaagiilming Eesti alal on seotud settekivimitega. Nimelt levib Eesti läänesaartel alamkambriumi Irbeni kihistu aleuroliitides ja savides mitme kihina pruunrauamaak peente ümarterade - ooliitide - kuhjetena. See on Läti, Leedu ja isegi Põhja-Poola alale leviva hiigellasundi ääreala, millel kihtide väikese paksuse, madala kontsentratsioonistme (Fe_2O_3 35-45%) ja suure sügavuse (200-400 m) tõttu ei ole mingit tööstuslikku tähtsust. Küll pakub ta vanima sedalaadi maagiilminguna üsna suurt geoloogilist huvi, seda enam, et Lääne-Läti lõunapiiril Leeduga ulatub maakikandvate kihtide kogupaksus 30 meetrini ja üksikute kihtide paksus 1,5-3,5 meetrini.

Kolmanda rauamaagiilminguna Eesti alal mainitakse geoloogilises kirjanduses sageli püriidi (FeS_2) kihti diktüoneemaargilliidi ja fosforiitisisaldava oobolusliivakivi piiril. Püriidikiht on katkendlik, laiguliselt leviv, enamasti 5-10 cm paksune, harukordadel tõuseb paksus kuni 25 cm-ni. Tegemist on liivakivi tsementeeriva hõbevalge kuni messingkollase mineraaliga, mis mõnikord moodustab umbes poole kogu kivimist. Vaatamata sellele, et püriit on rauarikas mineraal, ei tule metalli tootmine temast väävliühendi tõttu tehnoloogiliselt kõne alla. Pigem saaks püriidist toota ehk väävelhapet, kuid sedagi üksnes juhul, kui vastav kiht väljatakse fosforiidi kaevandamisel lihtsalt lisanduva kõrvalsaadusena.

Varasemal ajal on Eestis sulatatud rauda ka siin-seal mulla all ette tulevatest hüdroksiidsetest soorauamugulatest, mille kihid reeglina ei ületa 10-20 cm. Meie esivanemate metallurgias oli see maak esmatähtis, praeguses tööstuspildis ei vääri need ilmingud tähelepanu.

4.8.2. Polümetallid Pb ja Zn

Metallilistest maavarailmingutest püsivad just Pb ja Zn maaginähud geoloogide tähelepanu all ja kuigi tootmisväärseid leiukohti, vaatamata mitmekordsetele otsingutele, ei ole senini leitud, on probleem Eestis siiski lõpuni lahendamata.

Teatavasti on polümetallide - eelkõige pliiimaagi galeniidi (PbS) leide Võhma ümbruses Viljandimaa põhjapiiril iidsetest aegadest leitud ja sellest ka metalli välja sulatatud. Maakmineraal paikneb siin peamiselt paes - tühemikerikkas alamsiluri Adavere lademe nn. bretšadolomiidis. 1803. aasta otsingutel kaevati siit sadu kilogramme maagiproove. Hiljem korraldati otsinguid 1853.-1855. aastal, seejärel väikeses mahus ka 1931. aastal. Seoses galeniidileidude hilisema sagenemisega üle kogu Eesti territooriumi arendati otsingutöid 1958.-1960. aastal laiemalt, 1965.-1966. aastal uuesti Kesk-Eestis. Iga kord on midagi leitud, tööstuslikku huvi pakkuvat leiukohta aga mitte. Hoolikalt registreeritud leidude hulgas on samalaadseid ilminguid paelõhedes teada põlevkivibasseinist, Aseri ja Rakvere lähikonnast, mõnevõrra teistlaadseid mineraloogilisi ilminguid diktüoneemaargilliidist, kambriumi kivimitest ja aluskorrastki.

Ilmselt on plii mineralisatsioon olnud üsna laialt levinud nähtus Eesti kivimites, kuid tekkelooliselt ka polügeneetiline. Üsna üksmeelselt võib arvata, et Võhma ümbruses ja põlevkivibasseini läbivate tektooniliste rikkevööndite piirkonnas on galeniidiilmingud hüdrotermaalsed - s.o. toodud siia maapõue sügavamatest piirkondadest kuumade vesilahuste toimel. Sellest räägivad sagedased saatjasmineraalid sfaleriit (ZnS) ja barüüt ($BaSO_4$), samuti mitmed muud geoloogilised ja struktuurmorfoloogilised tunnused. Just see asjaolu hoiab erksana huvi polümetallide kui maavarailmingu vastu: on ju võimalik maakide kontsentreerumine suuremas koguses mingis veel avastamata maapõuetühikus. Teistes settekivimites avastatud üksikilmingud on arvatavasti diagenetilise tekkega ega oma maagistumisprotsessiga usaldusväärset seost.

Siiski tuleb kõiki polümetallidega seonduvaid nähte hoolikalt registreerida ning aeg-ajalt analüüsida - uued geoloogilised avastused on siin täiesti võimalikud, kuigi arvatavasti suurema mäetööstusliku potentsiaaliga.

4.8.3. Teised haruldased elemendid

Polümetallidega tavapäraselt koos esinev vask käitub Eesti kivimeis hoopis erinevalt. Tema üksiksulfiidide või nende moondeproduktide leiud pärinevad peaaegu eranditult devoni kivimitest, kus neid on küll korduvalt märgitud, kuid alati vaid väikeste, üksnes mineraloogilist huvi pakkuvate kristallikogumitena. Ka Laeva oosist pärinevas kruusas leitud vaseminalisatsioonil ilmuvad on ilmselt seotud devoni (Narva lademe?) kivimitega. Vaseminaalide üksikuid leide on teada ka kambriumist ja viimasel ajal isegi siluri süvafaatsiite kivimeist, kuid maavarana neil mingit tähendust ei saa ilmselt kunagi olema.

Uraanist, molübdeenist ja vanaadiumist diktüoneemaargilliidis oli juba eelnevalt juttu - needki elemendid paeluvad tähelepanu eelkõige oma geoloogiliste rikastusmehhanismide seisukohast - kasutamine maavarana on perspektiivitu. Üldjoontes sama tuleb öelda ka transuraniidide ja strontsiumi kohta, mis fosforiitides annavad mõnevõrra kõrgendatud kontsentratsioone. Fosforiidi kasutuselevõtul ja vastava keemilise töötlussõlme rajamisel võivad need elemendid kõrvalsaadusena isegi arvesse tulla, kuigi selle realiseerimisest oleme täna veel väga kaugel.

Lugejat võivad huvitada veel kuld ja teised väärismetallid. Vaatamata eksitavatele juhuteadetele, on Eesti ala nende suhtes täiesti perspektiivitu. Mineraloogide töömail, kus mikroskoobi all on loendatud miljoneid mineraaliteri, on kullale satunud vaid paaril korral. Kullakuhjete formeerumiseks puuduvad meie regioonis igasugused geoloogilised eeldused.

4.8.4. Looduslikud värvained

Looduslikud pigmendid Eestis rakendamist ei leia. Varem on vähesel hulgal kasutatud pudemat raudhüdrosiidimassi - **ookrit** - mitmes Lõuna-Eesti piirkonnas (Võisiku, Mõniste, Pedeli) kollase või punase (kuumutatult) värvipigmenti tootmiseks, seda küll ainult kohalikuks tarbeks. Tegemist on nn. sooraua pudema erimiga, mida siin-seal poolsoostunud aladel võib huumusekihi all esineda mõnekümne sentimeetri paksuse läätse kihina. Leiukohtade varud on tühised ja tööstusliku tootmise seisukohast tähelepanu ei vääri. Ka ei suuda looduslik pigment oma kvaliteedinäitajate poolest võistelda tänapäevaste sünteetiliste värvainetega.

Teine looduslik pigment - roheline **glaukoniit** - esineb Eesti läbilõikes suuremal hulgal - pideva 1-2,5 m kihina alamordoviitsiumi diktüoneemaargilliidi või sellel lasuva Varangu lademe heledate savide peal. Kuna glaukoniit moodustab osa fosforiidi katendi kivimikompleksist, on huvi tema kui võimaliku kaasmaavara vastu püsinud pikemat aega uurijate huviobjektis. Tumerohelistest 0,05-0,5 mm läbimõõduga glaukoniiditeradest 60-70% ulatuses koosnev kivim pole värvainena siiski tarbimist leidnud, mille üheks põhjuseks on vastava turunõudluse puudumine, teiseks aga glaukoniitliivakivi koostise ebapüsivus: kord on ta liivakam, kvartsirikkam, kord aga pehmem ja savikam. Osa glaukoniitliivast on tsementeerunud ka lubiainega.

Seetõttu on püütud glaukoniiti kasutusele võtta ehitusmaterjalides - betooni ja silikaatbetooni tavapärase halli värvuse toonimiseks. Paraku pole seda saanud edu, sest värvimuutuse esiletoomiseks on glaukoniiti tarvis lisada suures hulgas, mis aga kahjustab toodete kvaliteeti muude näitajate osas. On ju glaukoniit saviminaalidele lähedane, suhteliselt pehme ja kergesti lagunev mineraalühend. On tehtud veel katseid kasutada ehitusmaterjalides kuumutamisel beeziks või pruuniks muutuvat püsivamat glaukoniidimassi, kuid seegi pigment on madala värviintensiivsusega ning tema eeltöötlemine liiga kulukas.

Glaukoniit on huvi pakkunud veel sorbentide ja veepuhastuses vajalike filtreerivate ainete valmistamiseks, kuid pakutud tehnoloogiad ei ole seni juurutamist leidnud.

4.8.5. Järvelubi

Pärastjääaegsetes sulglohkudes tekkinud järvede algfaasil kuhjunud peenest kaltsiidist koosnev valge või kollakas setend on Eestis laialdaselt levinud ja mõneti ka kasutamist leidnud. Tõsi, järvelubja paksus on enamasti 0,5-1,0 meetri piires ja tema kättesaadavus muda- ja turbakihi alt raskendatud, kuid Pandivere kõrgustiku piirkonnas moodustab ta kohati tüsedaid (kuni 2 m) ja üsna väljapeetud

lasundeid. Järvelubja teeb hinnaliseks tema kohati kõrge CaCO_3 sisaldus (kuni 90-95%) ja eriti selle keemiline puhtus, eelkõige madal magneesiumisisaldus. See asjaolu võimaldab toota järvelubja jõusööda lisandiks, aga ka mitmeks muuks otstarbeks, näiteks lubjavärvide valmistamiseks. Puhtamaid ja enamtsementeerunud järvelubja erimeid nimetatakse mõnikord ka järvekriidiks, mis pole ehk päris õige, kuigi järvelubigi sisaldab sageli organismide lubikodade jäänuseid. Järvelubja kvaliteeti kahjustab selles sagedasti esinev savi- või turbalisand, mis muudab koostise ebapüsivaks.

Järvelubja varusid hinnatakse Eestis üsna suureks - mitmesajale miljonile tonnile, kuid suuremaid kogumeid annab ta siiski harva. Tuntuimas ja ainsana maavarana arvel olevas Varangu leiukohas Rakke lähedal on järvelubja (-kriidi) varu ligi 3 000 000 t. Siit on seda aeg-ajalt ka kaevandatud.

4.8.6. Diatomiit

See, võrdlemisi harukordne moodustus maapöues, on välisilmelt üsna lähedane järvelubjale ja ka kriidile. Vahe on vaid selles, et kõnealune pärastjääaegsete laguunide setend ei koosne kaltsiumkarbonaadist, vaid imeväikeste ränivetikate kodadest. Nende kodade põhikarkass on äärmiselt poorne, poorseks on jäänud ka vähetihenenud noor setend ise. Seetõttu on õhkuiv diatomiit veest kergem materjal, mahukaaluga 0,4-0,8 Mg/ m³. Oma keemilise inertsus (SiO₂) tõttu on ta kasutatav täite- või isoleermaterjalina ehituses või sorbendina keemiatööstuses. Piltlikult öeldes on diatomiit midagi loodusliku klaasvilla taolist.

Diatomiiti Eestis ei kasutata, sest arvel on vaid üks arvestatav Leekova leiukoht Narva lähistel. Teised teadaolevad leiukohad paiknevad Narva jõe paremkalda piirkonnas Venemaale kuuluval alal. Piiratud leviku põhjuseks on diatomiidi tekke erakordsus - ta sai kujuneda üksnes laguunijärves, mis pidi omama sidet vähemasti riimveelise merebasseiniga. Sellised tingimused tekkisid ja püsisid Eesti alal haruharva, seetõttu siis ka sellist tüüpi maavara unikaalsus ja levik üksnes Narva jõe suudmeala piirkonnas.

Seega pakub Eesti diatomiit üksnes tekkeloolist huvi.

4.8.7. Mudad

Eesti pärastjääaegsetes veekogudes lõpuni lagunemata orgaanilisest ainest kujunenud mudad on üsna mitmekesised ja leiavad kohati ka praktilist kasutamist. Mudade väärtus sõltub eelkõige nende füüsikalistest-keemilistest omadustest, mis omakorda olenevad nende tekkeveekogu asustanud füto- ja zooplanktonist, mikroelementide ning mineraalainete sisaldusest. Muda jagatakse kahte põhirühma: mageveejärvede muda ehk sapropeel ja soolaste veekogude muda ehk meremuda.

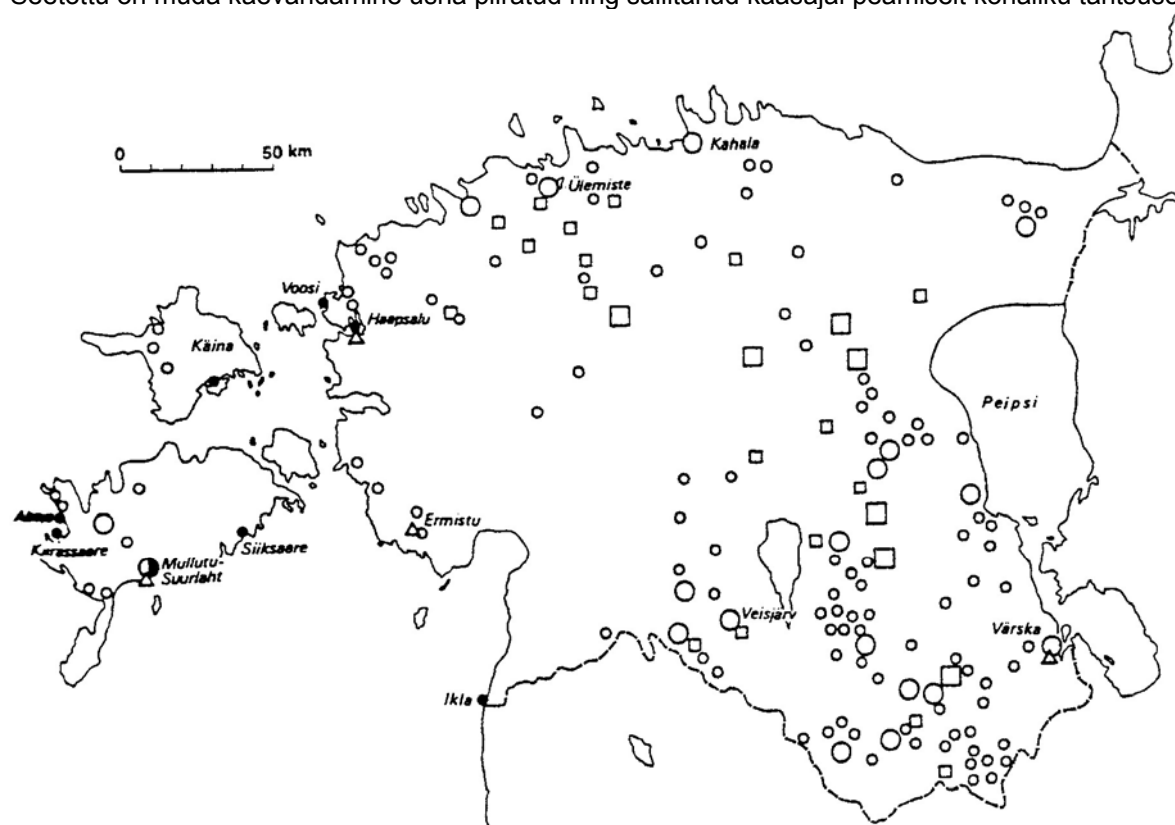
Mõlemad mudad annavad tumedat värvi püdelat, veega rikastatud massi, mida võib kasutada mõnel juhul nii ravi- kui ka põllumajanduse otstarbeks.

Järvemuda esineb Eestis hõljuva massina nii enamikus järvedes kui ka mõnevõrra tihenenult vanades, tänaseks kinnikasvanud järvenõgudes vahetult turbakihi all. Viimasel juhul on muda õhu käes kergesti pöördumatult kõvastuv ja enamasti vaid 0,5-1,0 meetrise kihina, mistõttu tema kasutuselevõtt on raskendatud. Ka järvede muda tarbimine on Eestis üsna piiratud ning erilisi perspektiive endas ei kätke. Ravimudana kasutatakse üksnes Värska lahe väävelvesinikurikast sapropeeli, mida sanatoorseks tarbeks pruugitakse väga väikestes hulkades. Koduseks raviks on kaubastatud vähesel hulgal ka Pärnumaa mudasid.

Enam on juttu tehtud järvemudade kasutuselevõttust väetisainena põllumajanduses. Paraku on seegi rakendusvaldkond üsna piiratud, sest sapropeeli toiteaineteressurss on üsna madal ja tema kasutamine tuleks kõne alla üksnes kompostiva lisandina muudes väetiseseades. See menetlus on aga majanduslikult liialt kulukas ja vaevalt leiab tulevikuski laialdasemat rakendamist. Kõne alla võib tulla järvemudade kasutuselevõtt üksnes juhutöödel - näiteks järvenõgude ja paisjärvede puhastamisel.

Meremuda on Eesti merelahtedes paremini uuritud ja ka sihikindlamat kasutamist leidnud. Kolme põhilise leiukoha - Haapsalu, Kuressaare ja Käina lahe - koguvaru hinnatakse 2,6 miljoni kuupmeetrini. Meremudal on hinnatavad raviomadused, nende toime on pikaajaliste ravikogemustega selgitatud ning teda kasutatakse tänapäevasteski sanatooriumides ja raviettevõtetes. Ravimuda on võimalik eksportida teistesse maadesse, mida varasematel aastatel on ka tehtud. Imerohtu kõikide

haiguste vastu ta endast siiski ei kujuta - meremuda kasutamisel on ka mitmeid vastunäidustusi. Seetõttu on muda kaevandamine üsna piiratud ning säilitanud kaasajal peamiselt kohaliku tähtsuse.



Joonis 30. Eesti uuritud mudavarud.

Järvedes – valged ringid, soodes - ruudud ja merelahtedes - mustad ringid. Kolmnurkadega näidatud kasutatavad leiukohad. Geology and Mineral Resources ..., 1997.

4.8.8. Mineraalvesi

Puhta joogivee kõrval, mis on kahtlemata üks Eesti hinnatavamaid loodusrikkusi, paelub tähelepanu ka mineraalvesi, mida mõnikord käsitatakse ka maavarana. Tõsi küll, mineraalvesi on ikkagi põhjavee erim, mis mõjutab inimorganismi oma suurema mineraalkomponentide ja gaaside sisaldusega ning seetõttu on tema käsitlemisvaldkonnaks, nagu muulgi põhjaveel, iseseisev teadusharu - hüdrogeoloogia, mis väljub käesoleva kirjutise raamidest. Ka on mineraalvee kasutamisel maavarana esmatähtsad just meditsiinilised näidustused, mis samuti nõuavad eriteadmisi hoopis teises valdkonnas.

Eestis loetakse mineraalveeks vett, mille mineraalainete sisaldus ületab 2 grammi liitri kohta. Mineraalvesi avastati ja võeti tarvitusele alles alates 1958. a., mil muutusid kättesaadavaks võimalused puurimiste abil uurida ka Eesti sügavamaid põhjaveetasemeid. Esimeseks pääsukeseks oli kõrge mineralisatsioonistmega vee saamine Pärnu linna alal levivate aluskorakivimite murendist 500 m sügavusel. Tänapäevani on lisandunud rida uuritud mineraalveeleiukohti - Kuresaares, Kärđlas, Häädemeestel, Võrus, Värskas, Iklas. On andmeid veel teistegi mineraalveeleiukohtade võimaliku olemasolu kohta. Mitmes piirkonnas on fikseeritud mitu mineraalveetaset, näiteks Värskas on neid 4. Mineraliseeritud vee üldvaru Eestis hinnatakse ligemale 5000 m³ ööpäevas.

Eesti mineraalvett kasutatakse peamiselt laua- ja raviveena (Värskas 1 ja 2). Tarbimist leiab ta ka vanniveena (Värskas 3, varem ka Ikla). Mineraalvee tarbimine sõltub suurel määral turunõudlusest, milles on viimastel aastatel suuri kõikumisi. Varu on küllaldane sisevajaduste rahuldamiseks pika aja jooksul, ekspordivõimalused on kahjuks üsna piiratud.

Toodud ülevaade Eesti maavaradest loob ehk üldise ettekujutuse Eesti maapöues paiknevatest loodusrikkustest, mida võib ühel või teisel viisil kasutusele võtta. Nagu öeldud, on maavarade tegelik kasutuspiilt üsna muutlik ja võib, sõltuvalt majandusoludest, igal hetkel ootamatult muutuda. Just seetõttu ongi eelnevas välditud konkreetseid arvandmeid uuritud leiukohtade varude ja muude konkreetsete näitajate kohta, samuti on teadlikult välditud suurt hulka kirjandusviiteid ühe või teise

konkreetses käsitluses juurde juhtimiseks. Tegelikult on Eesti maapõueressursi kasutamispotentsiaali loomine väga suure uurijatepere pikaajalise kollektiivse töö tulemus ja kellegi eriline esiletõstmine oleks mõningal määral ülekohtune kõigi ülejäänute suhtes. Põhilise teabeallikana on seepärast kasutatud hiljuti suure autoritekollektiivi koostatud Eesti geoloogia alast üldistust - *Geology and Mineral Resources of Estonia* (Tallinn, 1997), kust käesolevasse on autorite nõusolekul reprodutseeritud või modifitseeritud ka suurem osa illustatsioonidest. Mõistagi ei saa käesoleva raamatu autor jätta tunnustust avaldamata kõigile Eesti geoloogia alal tegutsenud kolleegidele, tänu kellele meie ühisteave Eesti maavarade kohta on selliseks kujunenud.

5. KASUTATUD JA SOOVITATAV KIRJANDUS

- Adamson, A., Pirrus, E. 1994. Eesti oma graniit. *Eesti Loodus*, 9, 280-282.
- Eesti maapõuerikkusi (koost. R. Raudsep, V. Räägel). 1993. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 1-34.
- Estonian Mineral Resources. 1994. Ministry of the Environment, Information Centre. Tallinn, 1-61.
- *Geology and Mineral Resources of Estonia* (comp. and eds. A. Raukas, A. Teedumäe). 1997. Estonian Academy Publishers. Tallinn, 1-436.
- Lauringson, V., Reier, A. 1981. Eesti NSV maapõuevarad ja nende kaevandamine. Tallinn, *Perioodika*, 1-96.
- Luha, A. 1946. Eesti maavarad. *Rakendusgeoloogiline kokkuvõtlik ülevaade*. Teaduslik Kirjandus, Tartu, 1-176.
- Maapõueseadus ja selle rakendamise õigusaktid. Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium, Tallinn. I - 1996, II - 1998.
- Orru, M. (koost.). 1992. Eesti turbavarud. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, 1-146.
- Orru, M. 1995. Eesti turbasood. *Teatmik*. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, 1-240.
- Orviku, K. 1933. Maavarad. *K/Ü Loodus*, Tartu, 1-173.
- Ramst, R. 1992. Eesti järvemuda varu. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 1-24.
- Raudsep, R. 1982. Eesti fosforiit ja selle uued maardlad. *Eesti Loodus*, 8, 517-523.
- Suuroja, K. 1996. Mis maksab Eesti rauamaak? *Eesti Loodus*, 5/6, 183-186.
- Teedumäe, A. 1993. Eesti paekivi rakendusgeoloogilisest uurimisest ja kasutamisest aastatel 1945-1985. - *Rmt. Teaduse ajaloo lehekülgi Eestis*. Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn, 73-85.
- Vingisaar, P. 1978. Eesti mineraalveed ja nende kasutamine. - *Rmt. Põhjavee kasutamisest ja kaitsest Eesti NSV-s*. Eesti NSV Teaduste Akadeemia, Tallinn, 54-71.
- Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритного района. 1987 (ред. В. Пуура). Таллинн, Валгус. 212 с.
- Каттай В., Рейнсалу Э. 1991. Основные геолого-промышленные параметры и народнохозяйственная ценность Тапаского месторождения кукурситов. *Горючие сланцы* 8, 3, 221...230.
- Курс месторождений твердых полезных ископаемых. 1975 (ред. П.М. Татаринов и А.Е. Карякин). Ленинград, Недра. 632 с.
- Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. 1955 (ред. А.Г. Бетехтин и Г. А.Соколов). Москва, изд-во АН СССР. 622 с.
- Пиррус Э. 1968. Ленточные глины Эстонии. Таллинн, Валгус. 144 с.
- Смирнов В.И. 1979. Геология полезных ископаемых. Москва, Недра. 688 с.
- Смирнов В.И. 1989. Геология полезных ископаемых. Москва, Недра. 326 с.
- Строение сланцевой толщи Прибалтийского бассейна горючих сланцев-кукурситов, 1986 (ред. В. Пуура). Таллинн, Валгус. 82 с.
- Тээдумяэ А. 1988. Минерально-сырьевые ресурсы Эстонской ССР для промышленности строительных материалов. Таллинн, Валгус. 44 с.