



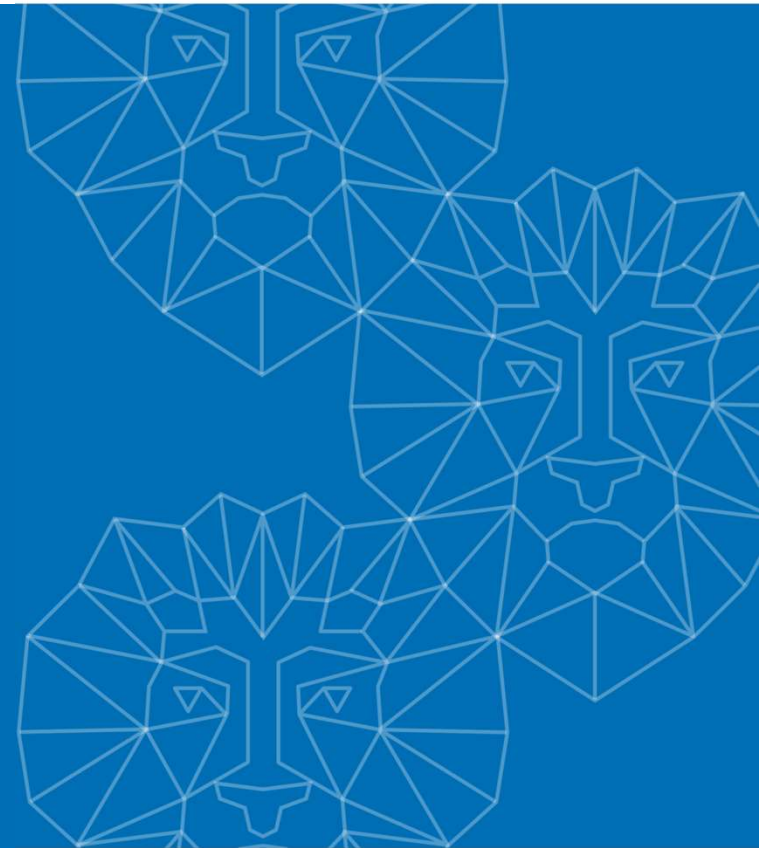
EESTI
GEOLOOGIAATEENISTUS

Eesti fosforiidi uuringute hetkeseis

Birgit Mets

Tehnoloogiaekspert | Maavarade osakond

Tallinn, 27.02.2025



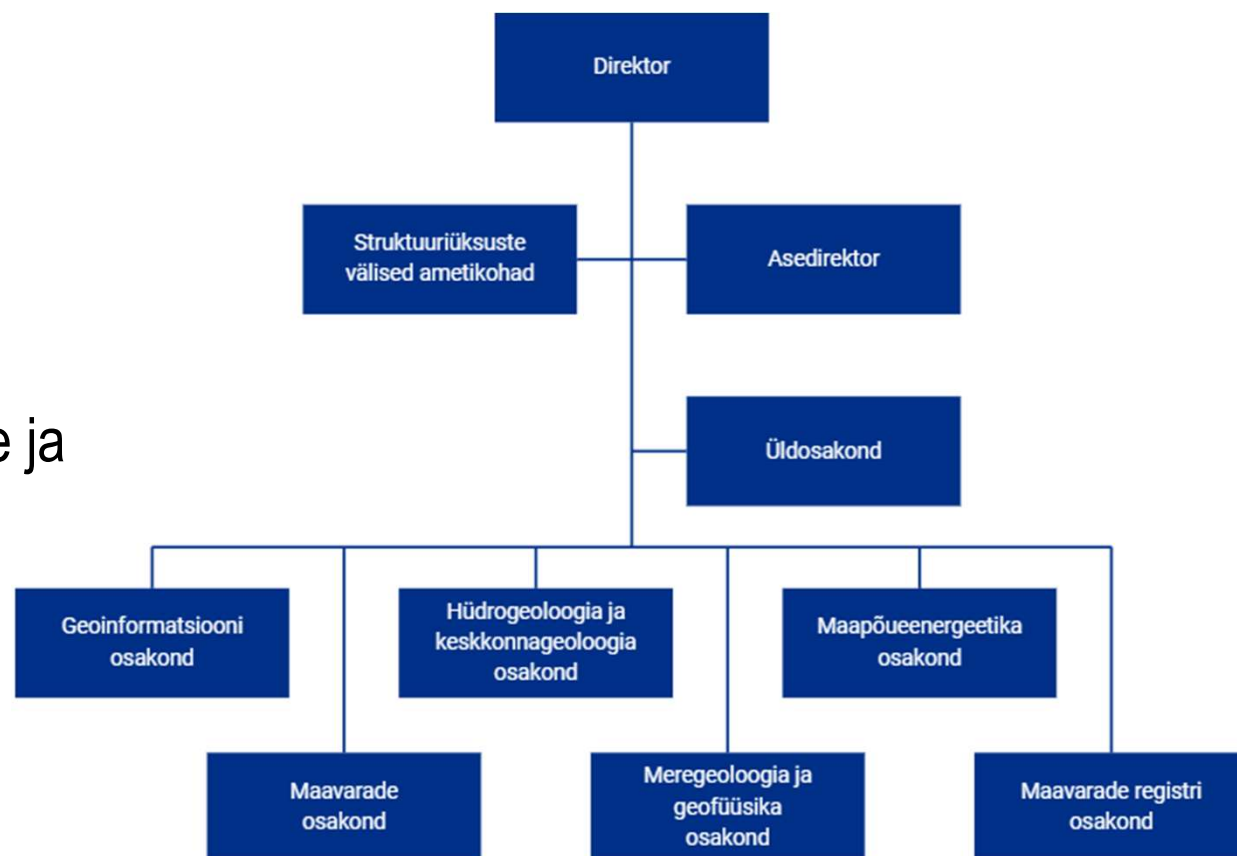
Eesti Geoloogiateenistus (EGT)

- Loodud 01.01.2018 Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi haldusalas
- Ajalooliselt saanud alguse Eesti Geoloogilisest Komiteest (1937)
- Alates 2023. aasta 1. juulist tegutseme Kliimaministeeriumi haldusalas
- Kogume, analüüsime, talletame ja jagame ühiskonnale teaduspõhiseid andmeid maapõue ressursside targaks kasutamiseks
- ~70 töötajat



EGT peamised tegevusalad

- Geoloogiline kaardistamine,
- teadus- ja arendustegevus,
- geoloogilised alus- ja rakendusüringud,
- geoloogilise teabe säilitamine ja kättesaadavuse tagamine,
- riigiasutuste nõustamine,
- avalikkuse maapõuealane teavitamine.



EGT peamised tegevusalad

- Kolm põhilist valdkonda:
 - geoloogiline informatsioon
 - geoloogia ja elukeskkond
 - maapõueressursid
- Näiteid tegevustest: geoloogiline kaardistamine, hüdrogeoloogilised uuringud, radooniriski hindamine, seismoloogilised uuringud ja seire, meregeoloogilised uuringud, uute maavarade otsing, maapõuesoojus, ehitusmaavarade leviku ja kasutamise analüüs, altkaevandatud alade stabiliseerimine põlevkivitööstuse jääkmaterjalidega, sadamate uuringud, ...

EGT meedias

Kodukaevude olukord hävitab ettekujutuse Eesti puhtast joogiveest

19.02.25 EESTI ... Uuringud näitavad, et massilised umbväljakud ja kliimamuutused tekitavad ülemistes põhjaveekihtides muutusi ja sellega seoses hakkab muutuma ka vee keemiline koostis. Kose vallas Krei külas asuvas Lepiku talus on vesi muutunud täiesti kasutuskõlbmatuks.



Tallinnas valmis üle 500 meetri sügavuselt energiat saav katsejaam

10.05.2024

3. mail avati Tallinnas Tiskre asumis maapõueenergia katsejaam, mis ammutab energiat rohkem kui 500 meetri sügavusel maapõuest. Kortermaja küttevõrku soojust andev keskkonnasõbralik katsejaam on esimene omataoline Eestis ja kogu Baltikumis.



Valmisid Väinamere ja selle ümbrisala kaardid

29.04.2024

Valmis on Eesti geoloogilise baaskaardi Väinamere ja selle ümbrisala 1:50 000 mõõtkavas geoloogiliste kaartide komplekt, nende juurde kuuluv seletuskiri ning Väinamere geoloogilise kaardistamise aruanne.



Meregeoloogid uurisid raua-mangaani mugulate teket merepõhjas

24.08.2023

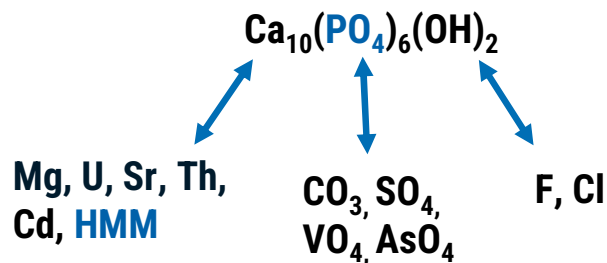
Eesti, Norra, Poola ja Rootsi mereteadlaste ühine ekspeditsioon Soome lähel Vaindloo saare lähedal keskendus 50-80 meetri sügavusel merepõhjas asuvate raua-mangaani mugulate tekke uurimisele. Eesti Geoloogiateenistuse initsiatiivil ja Riigilaevastiku mitmeotstarbelise laevaga EVA-316 toimunud uurimisretk hõlmas lisaks laiemalt merepõhja keskkonna ökoloogiliste tingimuste uurimist, samuti hinnati reostuse ja inimtegevuse mõju Soome lahe keskkonnale.

EGT maavarauuringud

- Riik on täpselt nii rikas kui hästi ja targalt ta oma ressursse, sh maapõueressursse, tunneb ja kasutab.
- EGT raportid säilitatakse Geoloogiafondis (üle 8000 aruande) – digitaliseeritud vanad raportid ning uued tööd on kõigile kättesaadavad <https://fond.egt.ee/fond/>
- EGT rajamishetkeks oli fosforiidiuuringutes tekkinud ligi 30-aastane paus

Fosforiidist üldiselt

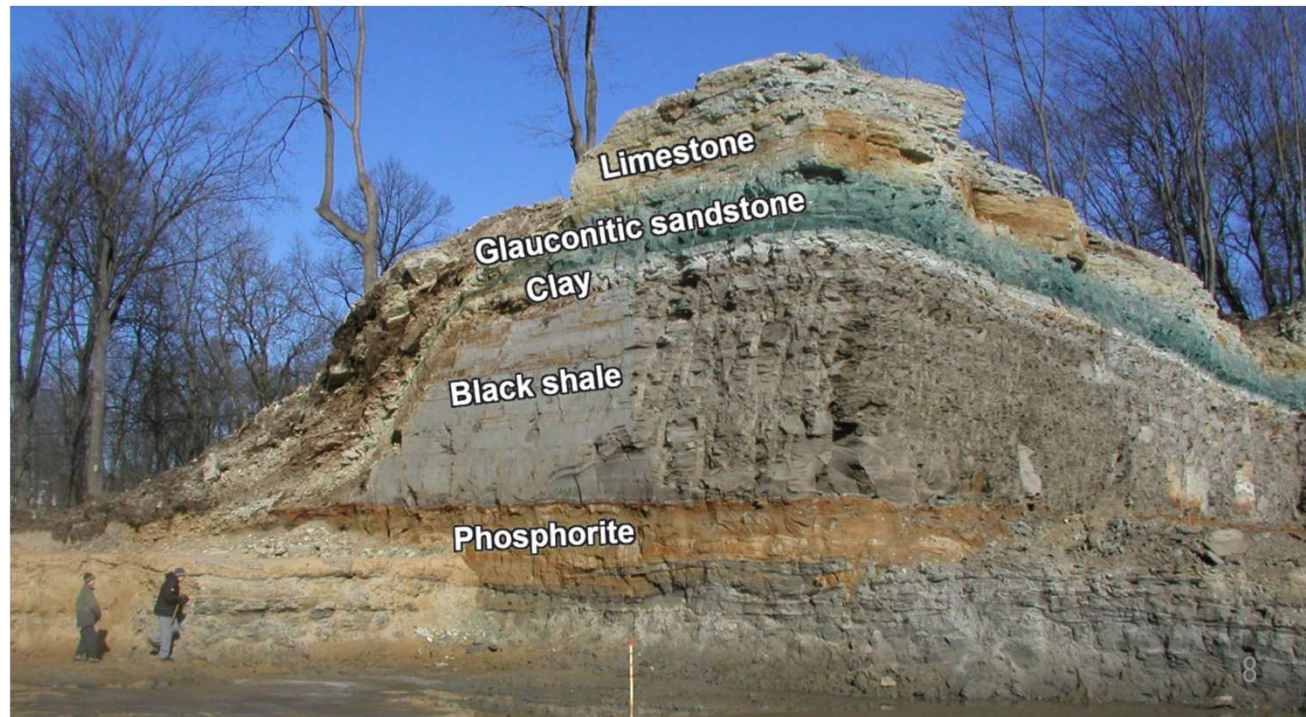
- Kivim, mis sisaldab vähemalt 4% $P_2O_5^*$
- 95% maailma fosfaadi varudest on settelise tekkega
- Settelised fosforiidid jagunevad omakorda (1) biogeenseteks – kojad, luud, hambad jms ja (2) (bio)kemogeenseteks – ookeani tõusuhoovuste, sette redoks-keskkonna, mikrobiaalse elutegevuse koosmõjul tekkiv fosfaatne liiv
- Põhiline fosforit sisaldav mineraal on **apatiit**, mis on väga vastuvõtlik keemilistele asendustele



Fotod: Liisa Lang

Eesti fosforiit

- Settekivim, mis on levinud ainult Põhja- ja Kirde-Eestis
- Suurimad maardlad: Rakvere, Toolse, Aseri
- Settis Kambriumi-Ordoviitsiumi ajastutel
- Kivimis P_2O_5 sisaldused vahemikus 6-20%
- Apatiiti sisaldavad käsijalgsete kojad, enamik on liiv



Fosforiidi uuringute ajalugu

- 1920-1991 kaevandamine (Ülgase ja Maardu), lähedalasuvast fosforväärtiste tehases töötlemise kaudu saadi fosforiidijahu ning lihtsuperfosfaat (SSP)*
- Hoolimata kõrge P_2O_5 sisaldusest ei osutunud väetis efektiivseks, sest apatiidil on madal lahustuvus -> mindi üle Koola poolsaare fosforiidi happetöötlusele
- Uuringute tulemused on säilinud aruannetes, mida hoitakse Geoloogiafondis
- Puursüdamikud on enamuses hävinenud ja säilinud puursüdamikud on halvas seisus
- Eesti fosforiidi haruldaste muldmetallide (HMM) sisalduste jaotumist ja eraldamise võimalusi süstemaatiliselt ei uuritud

*SSP: $Ca(H_2PO_4)_2 + PG$

Fosforiidi uuringute ajalugu

Diploom töö.

Eesti fosforiidi
ümbertöötamine.

5000 t. aastas.

M. Tamm.

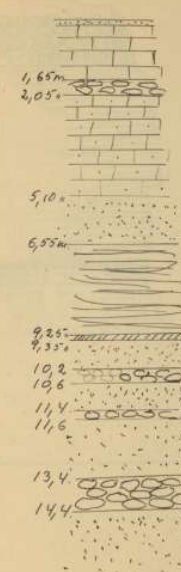
Sisu

A. Sissejuhatus	3-12 lha.
B. Eesti fosforiidid	13-16 "
C. Eesti fosforiidi ümbertöötamine	
1. Rikastamine	17-18 "
2. Fosforiidi ümbertöötamine	
supervosvavaadiks	19-56 "
a) Tööksäin	19-26 "
b) Fosforiidi rikastamine vää- velhappiga	27-35 "
c) Supervosvavaadi töötamise tarkus ümber väävelhappes hõlts	36-41 "
d) Veealuse P ₂ O ₅ supervosvavastis	42-44 "
e) gaaside rikastamine	45-46 "
f) Gaaside produktiooni	47-49 "
g) Aparatuur supervosvavaadi töötamiseks	50-56 "
3. Fosforiidi ümbertöötamine keemiliseks teel	57-75 "
a) Tööksäin	61-63 "
b) Keetava ahi arvutus	64-75 "
4. Ruumitahuld fosforiidi legi kaandide kalkulatsioon	76-79 "
5. Supervosvavaadi legi kaandide kalkulatsioon	80- "

Eesti NOV
Tallinna Politehniline Instituut
FOSFORIOGID
Nr. 244.

Ulgaste profül

1:100.



Düüvimeet

1,65 m.	Lubja kivi
0,40 "	Lestakivi
3,05 "	Glauvüütkivi
1,45 "	Glauvüütkivi
2,7 "	Düüvimeet
0,1 "	Skandlaasid
0,85 "	Obolus liivakivi
0,4 "	Fosforiid
0,8 "	Obolus liivakivi
0,2 "	Fosforiid
1,8 "	Obolus liivakivi
1,0 "	Fosforiid
	Liivakivi

Fosforiidisõda

- Tekkisid erinevad probleemid – katendi isesüttimine, põhjavee ja pinnase saastumine, normist kõrgemad õhuemissioonid (SO_2), happelise heitvee vale käitlemine (toksiliste elementide sattumine põhjavette), ...
 - Hirm põhjaveetaseme alanemise, fosforiühendite merre kandumise, jõgede-järvede eutrofeerumise ees jne
 - Kaks peamist põhjust:
 - 1) keskkonnaprobleemid
 - 2) võõrtööjõu kasutus
- > ~30 aastat pausi fosforiidiuuringutes

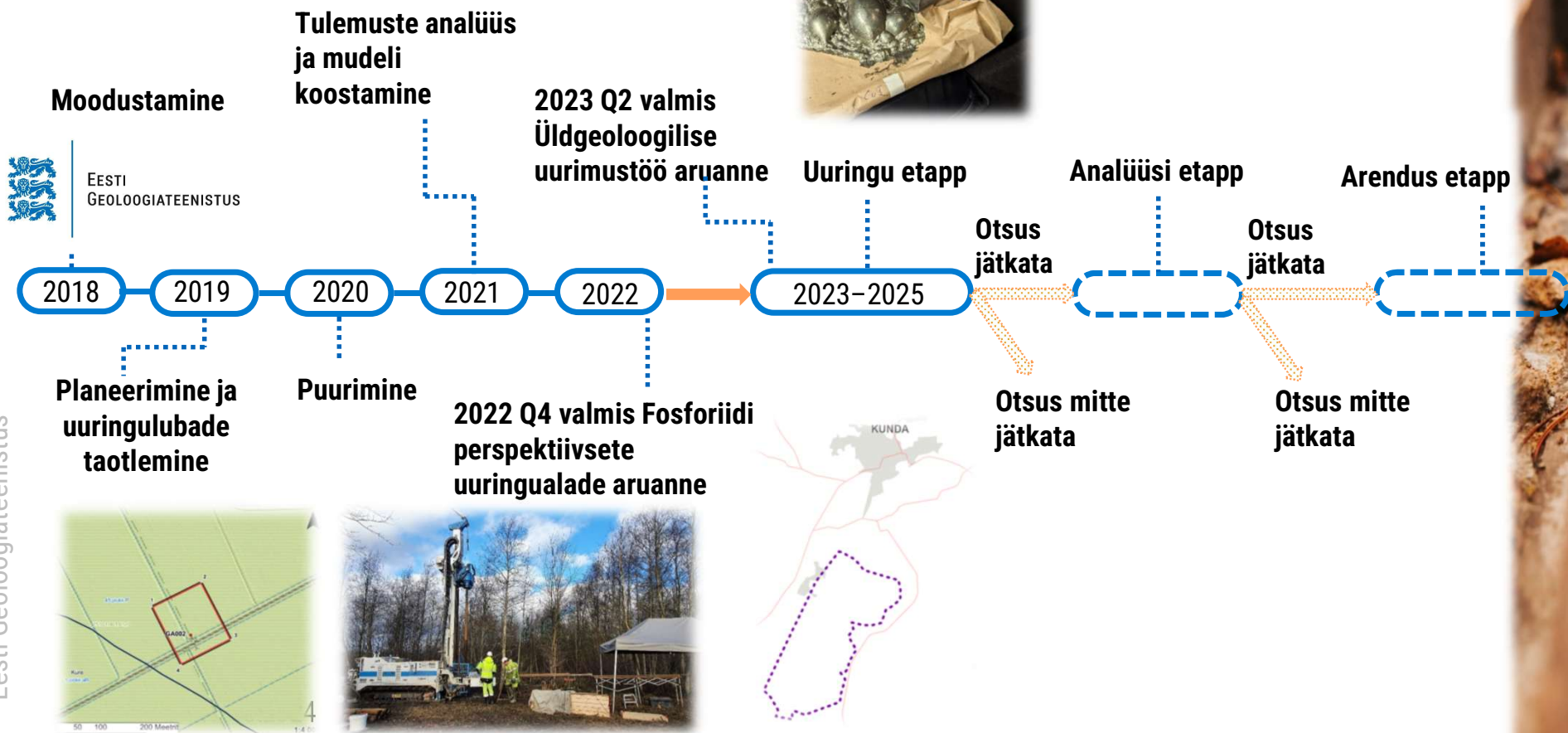


Euroopa Liidu kriitiliste toorainete määrus

- Kehtestati sihttasemed aastaks 2030:
 - vähemalt 10% ELis aastas tarbitavast toorainest **kaevandatakse** kohapeal
 - vähemalt 40 % ELis aastas tarbitavast toorainest **töödeldakse** kohapeal
 - vähemalt 15% ELis aastas tarbitavast toorainest saadakse **ringlussevõttust**
- Ühestki kolmandast riigist ei tarnita rohkem kui 65% ühestki asjakohases töötlemisetapis strateegilisest toorainest, mis ELis aastas tarbitakse



Uuringute ajajoon

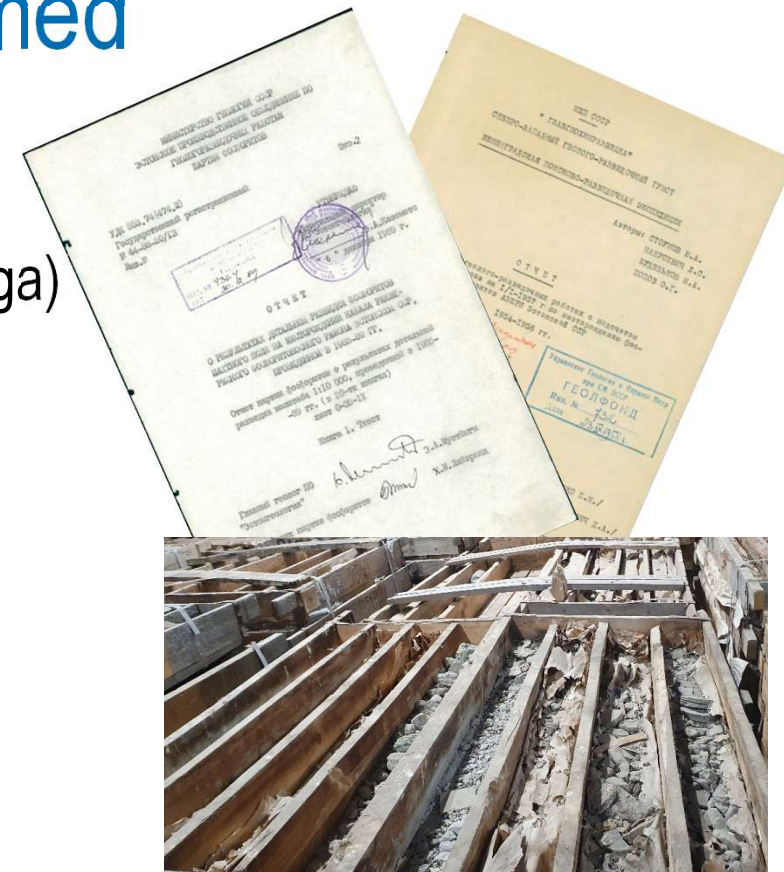


Fosforiidiuuringute „uus etapp“

- Laiendatud Aru-Lõuna alal majanduslikult efektiivse ja keskkonnasäästliku fosforiidi väärindamise, sh HMM eraldamise lahenduse leidmine. Majandusliku otstarbekuse korral leida viise kaasnevate ressursside kompleksseks väärindamiseks (V, U, K, lubjakivi, turvas, tööstusjäätmed).
- Kuidas selleni jõuti ning kuidas eesmärk saavutatakse?

Fondis olevad ajaloolised andmed

- Andmebaas sisaldab:
 - 6000+ puurauku (sh. 4000+ geokeemia proovidega)
 - 50 000+ litostratigraafilise üksuse kirjet
 - 21 000+ P_2O_5 analüüsi
 - 14 500+ MgO analüüsi
 - 13 000+ Fe_2O_3 analüüsi
 - 3600 CaO analüüsi
 - 4500+ graptoliit-argilliidi analüüsi

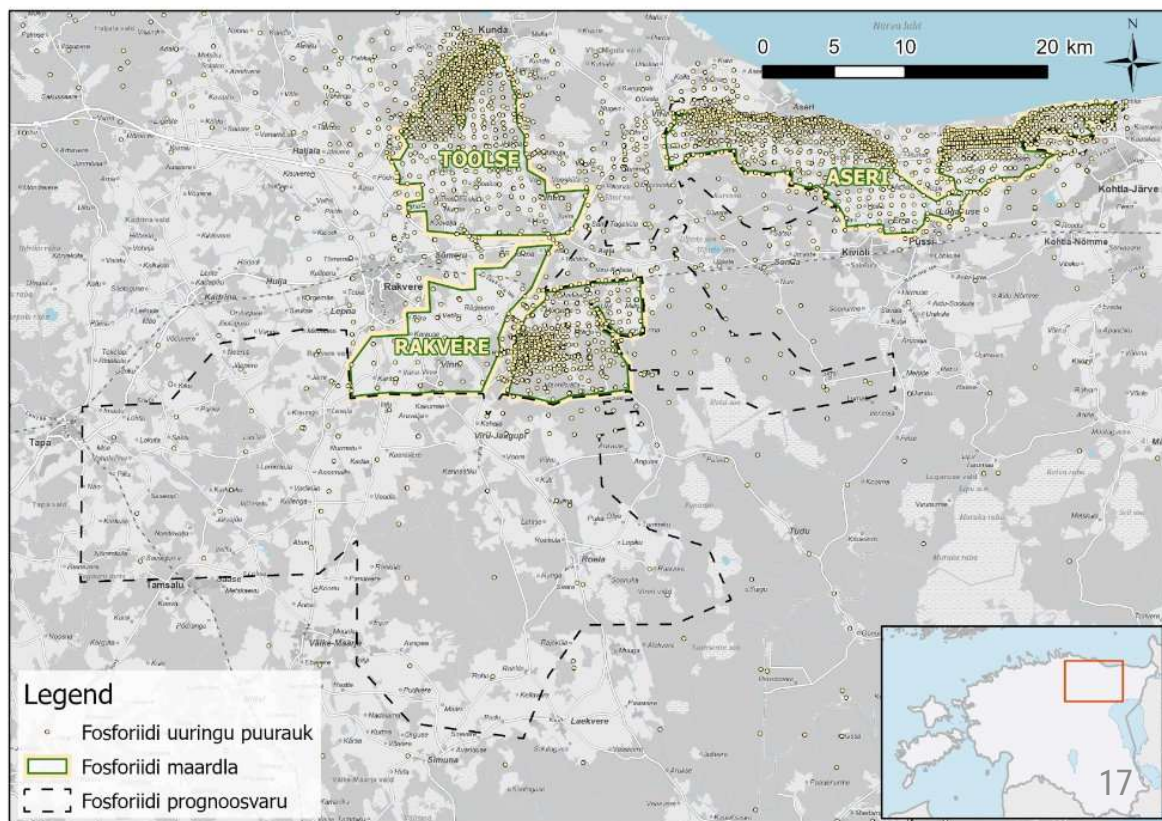


Üldgeoloogiline uuring

- „Fosforiidi ja graptoliitargilliidi üldgeoloogilised uuringud Kirde-Eestis“ valmis 2022. aasta lõpus.
- Loodi ajalooliste uuringute andmete põhjal fosforiidi levikut kujutav 3D mudel;
- koguti uutest puursüdamikest geotehnilisi ja geokeemilisi andmeid;
- valideeriti 3D mudelit uute andmetega;
- uuriti haruldaste muldmetallide sisaldusi ning levikut fosforiidis;
- uuriti musta kilda geokeemilist (sh jälgelementide) koostist;
- anti sisendinfot ala geoloogilise ehituse ja fosforiidivarude osas perspektiivsete uuringualade määratlemisel.

Fosforiidi uuringuala valik jooksvas projektis

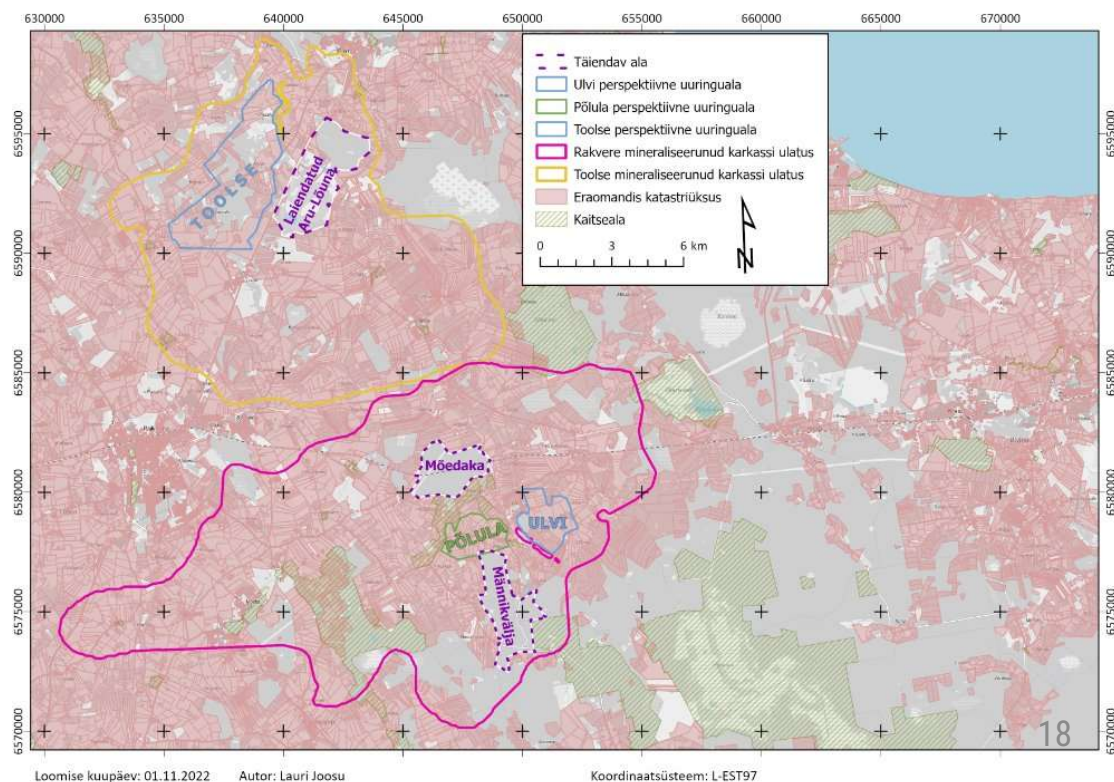
- Kirde-Eesti fosforiidimaardlaid uuriti põhjalikult 1950date algusest 1980ndate lõpuni.
- Erinevate uuringute raames rajati tuhandeid puuraukusi ja võeti kümneid tuhandeid proove.



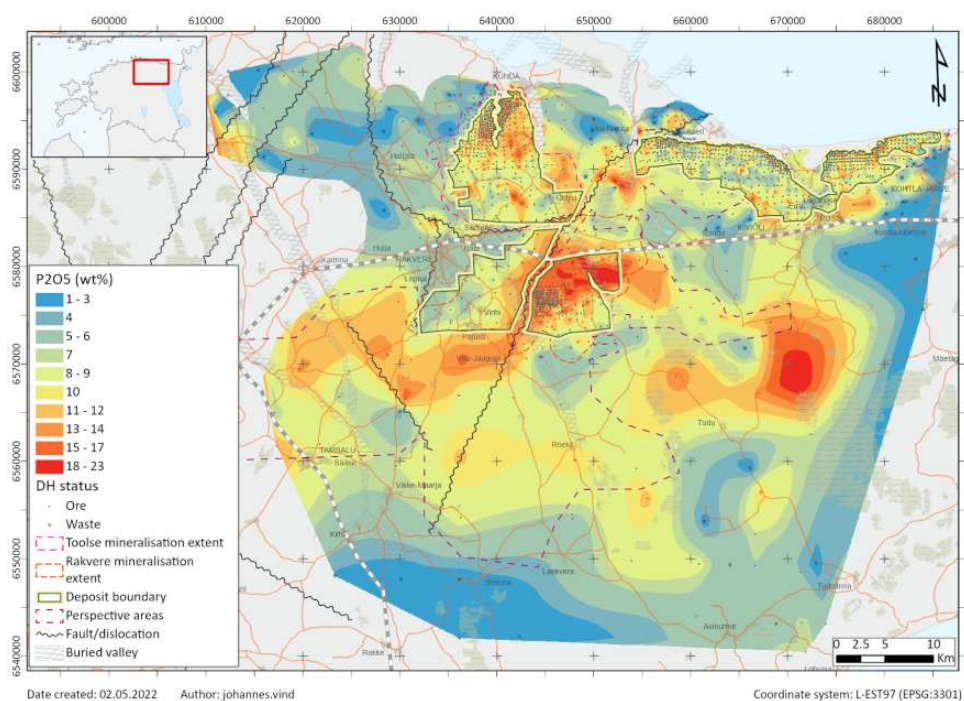
Fosforiidi uuringuala valik

Ala	Pindala, km ²	Mäemass, Mt	Keskmine P ₂ O ₅ , %	P ₂ O ₅ , Mt
Toolse	16,59	110	9,7	10,7
Põlula	3,80	58	17,2	9,9
Ulvi	4,18	60	17,3	10,4
Laiendatud Aru-Lõuna	9,66	42	11,4	4,8
Mõedaka	5,01	50	14,9	7,5
Männikvälja	6,51	75	9,9	7,4

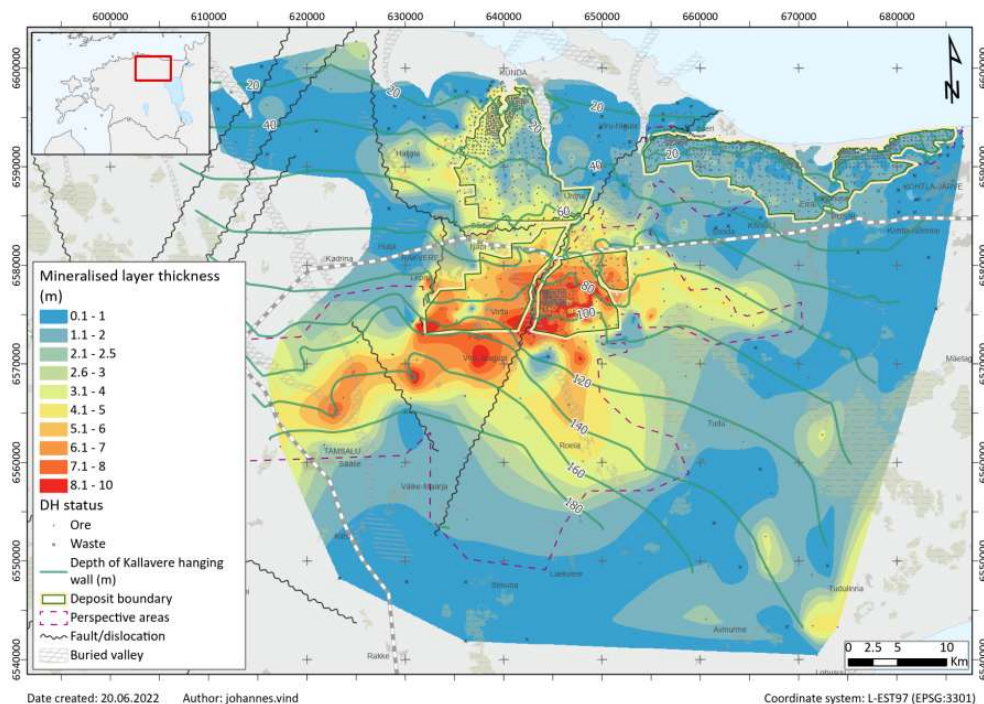
- Kompromiss kvaliteedi ja varu suuruse vahel
- Laiendatud Aru-Lõuna:
 - + suures osas olemasolev mäetööstusmaa, osa katendist eemaldatud, vähe eramaid (6%)
 - väike varu kogus ja lasundi paksus



Fosforiidi uuringuala valik



P_2O_5 sisaldus



Sügavus ja kihi paksus

Fosforiidi võimalik kaevandamine

Geoloog: fosforiidi kaevandamine on realistlik alles 20 aasta pärast

02.12.23 EESTI ... Geoloog Rutt Hints ei prognoosi fosforiidi kaevandamist lähiajal, küll aga usub ta, et me kasutame edasi oma ehitusmaavarasid. Kõige suuremad kaevandamismahud tekivad taristut rajades, sest paratamatult tahame me majades elada ja teedel sõita, rääkis Hints Vikerraadio "Reedeses intervjuus".



Eesti Energia juht soovitas kaaluda fosforiidi kaevandamist

17.02.24 EESTI ... Eestis tasuks kaaluda võimalust alustada fosforiidi kaevandamist, ütles Eesti Energia juhatuse esimees Andrus Durejko.



Fosforiidi kaevandamise plaanid võivad vallandada uue fosforiidisõja

25.02.24 EESTI ... Sel aastal on plaanis uurida Lääne-Virumaal Toolse maardla fosforiiti ja selles leiduvaid haruldasi muldmetalle suuremates kogustes. Eesmärk on saada teada, kas seda oleks mõtet sealkandis ka kaevandada. Kohaliku omavalitsuse esindaja sõnul ei olda uuringute vastu, küll aga ennustatakse, et kaevandamisplaanid võivad käivitada uue fosforiidisõja.



Kristen Michal: Eesti tulevik ei saa olla augukaevamisrõõmus

20.05.24 MAJANDUS ... Kliimaministeeriumis on ettevalmistamisel dokument selle kohta, millistel tingimustel võiks tulevikus Eestis fosforiiti kaevandada ja väärindada. Minister Kristen Michali sõnul on seda kavas huvilistele tutvustada juba eeloleval suvel.



Fosforiidi väärindamine

- Hinnata erinevate töötlemistehnoloogiate sobivust Eesti fosforiidi väärindamiseks ning
 - valida 2 tehnoloogiat, mida suuremal skaalal testida,
 - katsetulemuste põhjal kirjeldada protsessi efektiivsust, toimimist ja parameetreid, ning karakteriseerida kõik tekkivad vood,
 - keskenduda sealjuures haruldaste muldmetallide (HMM) eraldamise võimalustele,
 - kirjeldada valitud tehnoloogiate majanduslikku tasuvust (CAPEX ja OPEX põhjal).

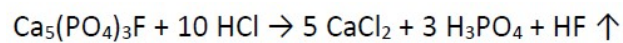
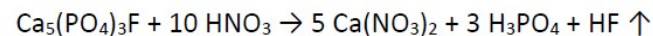
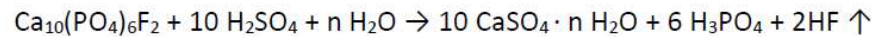
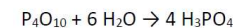
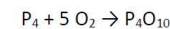
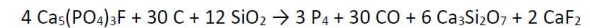
Fosforiidi väärindamine - lähtematerjal

- Nõrgalt tsementeerunud liivakivi (ränidioksiid), mis sisaldab F-apatiidist koosnevaid käsijalgsete karpe,
- P_2O_5 keskmine sisaldus on 11,4%,
- kogutonnaaž on 42 Mt,
- P_2O_5 kogusisaldus on 4,8 Mt (arvutatud 100% P_2O_5 alusel),
- põhioksiidide keskmised väärtused on SiO_2 65%; Al_2O_3 0,4%; Fe_2O_3 1,6% ja MgO 0,5%,
- haruldased muldmetallid asendavad apatiidi struktuuris peamiselt kaltsiumit ja nende summaarsed kontsentratsioonid on karpides umbes 1500 ppm ja fosforiidis 400–500 ppm,
- jälgelementide keskmised väärtused on U 20 ppm, Th 2,5 ppm, Cd <0,5 ppm
- $(Nd+Pr+Dy+Tb)/\Sigma REE \sim 30\%$

Fosforiidi töötlemistehnoloogia valik

- 4 erinevat tehnoloogiat:

- termiline töötlus,
- väävelhappeline (H_2SO_4) lagundamine,
- lämmastikhappeline (HNO_3) lagundamine,
- soolhappeline (HCl) lagundamine.



- Mida hindamisel ja valiku tegemisel arvesse võtta:

- Kas ja millist eeltöötlust (peenestamine, rikastamine) fosforiit vajab?
- Milline produkt saadakse, mis on selle hind ning kes oleks potentsiaalsed kliendid, turu suurus?
- Millised jäätmed ja millistes kogustes tekivad?
- Tootmise keskkonnamõju – heitmed, kõrvalproduktid (potentsiaalsete toodetena + nende turuanalüüs), jäätmed, ...

Kompleksne väärimdamine ja ringmajandus

- Laiendatud Aru-Lõuna alal majanduslikult efektiivse ja keskkonnasäästliku fosforiidi väärimdamise, sh HMM eraldamise, lahenduse leidmine. Majandusliku otstarbekuse korral leida viise **kaasnevate ressursside kompleksseks väärimdamiseks** ->
 - fosforiidi väärimdamise tehnoloogia(te) valik ja vajadusel skaleeritud katsetuste korraldamine,
 - HMM eraldamise tehnoloogia uuringud,
 - kaasnevate ressursside parima käitlemise tehnoloogia uuringud,
 - kaevandustehnoloogiate uuringud,
 - hüdrogeoloogiliste mudelite täiustamine,
 - olelusringi hindamine ja esialgsete keskkonnamõjude kaardistamine.

- Kogutakse veeproove, et mõista kuidas põhjavee kiht toitub ning analüüsitakse veetasemete (looduslikku) muutust ajas
- 2024. viidi läbi välitööd, iga kaevu omanikuga suheldi eraldi ja küsiti luba



Kaasnevad ressursid

- **Graptoliit-argilliit** – „must kilt“, orgaanikarikas, võrreldav madalakvaliteedilise põlevkiviga. Kõrgendatud vanaadiumi sisaldus – kirjeldada ja hinnata erinevaid tehnoloogiaid kas ja kuidas oleks võimalik seda eraldada, TVT* madal. Püriidi sisalduse tõttu valedel tingimustel hoiustamisel oht isesüttimiseks.
-> keskkonnaohutu ladestamine ja võimalused hilisemateks jätku-uuringuteks
- **Glaukoniit-liivakivi** – kõrgendatud K-sisaldusega kivimikiht fosforiidi peal – kas võiks olla taimekasvu kiirendavad omadused?
-> probleemiks K vesilahustuvus ja taimede omastamisvõime.
- **Lubjakivi** – väljame võimalusel nii, et seda saaks kasutada ehitustegevuses.

*TVT – tehnoloogilise valmiduse tase

Fosforiidi väärindamise (labori)katsed

- 3,5 tonni proovi saadetud Belgiasse lihtrikastamise uuringutele, kust saadav eelkontsentraat viiakse Belgiasse testimaks soolhappelist töötlust nii labori- kui pilootskaalal
- Eraldi uuritakse HMM eraldamise potentsiaali, esmalt teoreetiline uuring vastavalt meie proovi täpsele koostisele ning seejärel vajadusel laborikatsed
- Väävelhappelise töötluste osas partneritega läbirääkimine alles käib
- President Karis: „Meil peab olema julgus uurida, mis ei tähenda, et hakkame kohe kaevandama.“



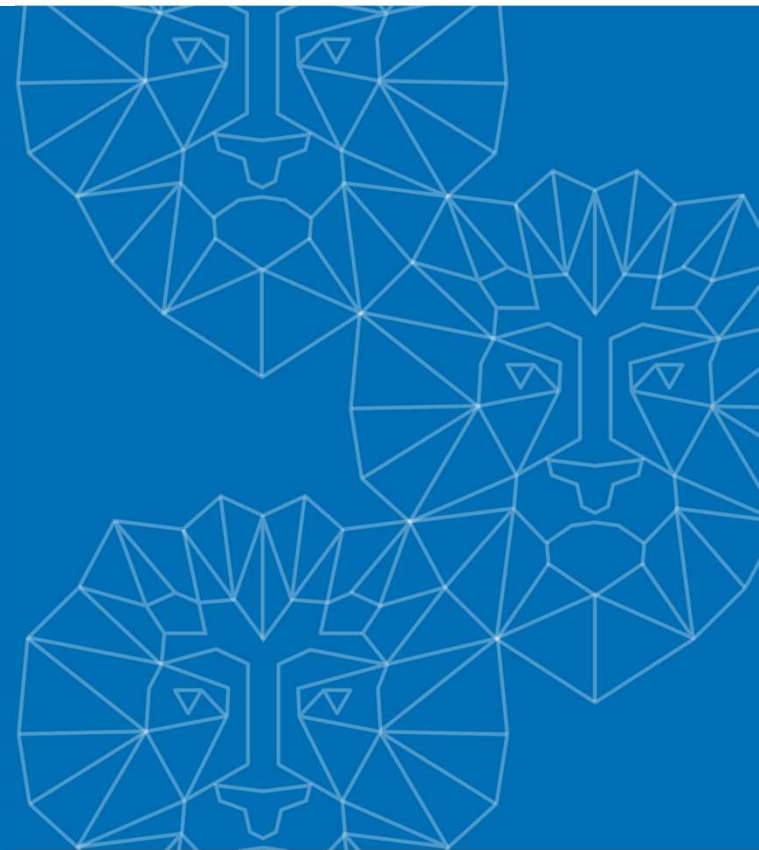
EESTI
GEOLOOGIAATEENISTUS

Täna kuulamast!

Birgit Mets

Tehnoloogiaekspert | Maavarade osakond

birgit.mets@egt.ee



Eesti fosforiidi uuringute hetkeseis

Eesti fosforiit on seni huvi pakkunud eelkõige oma fosfori sisalduse tõttu, mida enim kasutatakse väetise toorainena. Fosforiidis leidub aga ka märkimisväärt kogustes haruldasi muldmetalle (HMM), näiteks tseeriumi, praseodüümi, neodüümi, düsproosiumi ja terbiumi, mistõttu saaks fosforiit olla tulevikus ka haruldaste muldmetallide toormeks. HMM on vaja magnetites, laserites, kõiksugu ekraanides kuni tuuma- ja kosmosetööstuseni välja. Hetkel on Euroopa Liit HMM tarne osas sõltuv Hiinast. Praegusel ajastul kus tehnoloogiliste seadmete kasutamine aina tõuseb, kasvab seetõttu vajadus nende tootmiseks kuluvate materjalide järele. Kuna kõrgekvaliteedilise toormega maardlad hakkavad end üha rohkem ammendama, vaadatakse üha rohkem selliste varude poole, kus huvipakkuvate elementide või ainete sisaldus veidi madalam on. Seega ongi Eesti Geoloogiateenistusel käsil projekt, mille fookuseks on just Aru-Lõuna alal asuva fosforiidi ja sellega kaasnevate ressursside väärimise potentsiaali väljaselgitamine.

Eesti Geoloogiateenistus on fosforiidi ja kaasnevate ressursside uuringutega tegelenud juba alates 2018. Uuringu esimeses etapis tegeleti peamiselt ajalooliste andmete korrastamise ja kontrollimisega. Teises, ehk praegu toimivas etapis, keskendutakse peamiselt Eesti fosforiidi väärimise võimaluste ning majandusliku potentsiaali uurimisele. Samuti on praeguses etapis tähelepanu all hüdrogeoloogilised uuringud ning laiemalt võimaliku kaevandamise ja väärimisega seotud keskkonnamõjude väljaselgitamine. Täpsemalt, leiame vastused küsimustele, kuidas on tehnoloogiliselt võimalik eraldada fosforiidist haruldasi muldmetalle ning mustast kildast (e graptoliit-argilliidist) vanaadiumit ja milliseid lõpptooteid on fosforist otstarbekas toota. Tehnoloogiliste uuringute käigus kaardistame tekkivad keskkonnamõjud ning hindame majanduslikku perspektiivi, samuti teostatakse ka parima tehnoloogia skaleerimise katsetused. Kuna fosforiidi väärimine on otseselt sõltuv lähtematerjali omadustest, on kavas detailselt analüüsida Aru-Lõuna uuringualal leviva fosforiidilasundi mäetehnilisi ja geokeemilisi omadusi. Samuti on kavas täiendada hüdrogeoloogilist mudelit, mille abil on võimalik täpsemalt hinnata võimaliku kaevandamise mõju põhjaveele.

Tihti räägitakse fosforiidi võimaliku kaevandamise puhul „saadavast kasust“, ent ära ei tohi unustada ka kaasnevaid kahjusid – küsimused selle kohta, et mida kaevandamine keskkonnale, maakasutusele ja põhjaveele tähendaks, on vaid üksikud näited kõigest sellest millega Geoloogiateenistuse projekt tegeleb. Seega ongi oluline vaadata kogu väärimise eesmärki kompleksena, pöörates tähelepanu ka kaasnevatele ressurssidele nagu graptoliit-argilliit (selle ohutu käitlemine või ladustamine) ja glaukoniit-liivakivi (kõrgenenud kaaliumisisalduse tõttu selle rakendamise potentsiaali uurimine).

B. Mets

Tehnoloogiaekspert | Maavarade osakond

Eesti Geoloogiateenistus

Olemas olevate andmete, teaduskirjanduse ja varasemate uuringute põhjal jõudsime tulemuseni, et Eesti fosforiidi puhul on kõige mõistlikum katsetada soolhappelist ja väävelhappelist töötlemist. Mõlemal meetodil on oma miinused ja plussid, ent seda kuidas protsessid just meie fosforiidi puhul toimivad, saame täpselt teada alles siis kui katsed läbi viidud ja tulemused käes on. Erinevat päritolu fosforiiti on maailmas küll palju testitud, aga kõik need on oma omadustelt erinevad. Seetõttu ei saa me enne spekuloida ka selle üle mida tekkivate kaasnevate voogudega (väävelhappelisel töötlusel nt tekib fosfokipsi) teha – kõik sõltub materjali koostisest ja spetsiifilistest omadustest.

Soolhappelise töötluse jaoks on fosforiidiproovid saadetud Belgiasse, ent väävelhappelise töötluse läbiviimiseks läbirääkimised alles käivad. Uuringu tulemused valmivad 2026. aasta juuni lõpuks.