

BiotaTec



Pisikesed näljased kaevurid

**Sirli Sipp Kulli,
juhatuse liige, omanik**

MÄEKONVERENTS

4.05.2017

Ajaloost – Rio Tinto, 1

- Vanimad teadaolevad biokaevandused on Hispaania Rio Tinto kallastel.
- Kasutusele võetud 5 000 a. tagasi ibeerlaste poolt.
- Vask, raud, mangaan, kuld, hõbe –roomalste esimesed mündid.
- Punase veega 92km pikkune jõgi tuleb pinnale Ibeeria püriidi vööndist, mis rikas raua- ja vasesulfiidide poolest, leidub ka tsinki, pliid.



Carol Stoker, NASA -

<http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2003/03images/tinto/tinto.html>

Jõevee pH 1,7-2,3; rikas metalliühendite ning ka mikroorganismide poolest – viimastega sarnaseid usutakse leiduvat Marsil ning Jupiteri kuul Europa.

Ajaloost, Rio Tinto, 2



Puugravüür Georgius Agricola
(Georg Bauer), raamatus De Re
Metallica, 1556
Metalliderikka vee kuivatamine
päikese käes, puuvannides.



Kirev ajalugu kaevanduste
unustamisest, taasavamisest,
inglastele müügist, jne
Jõe reostuses süüdistati aastaid
kaevandusi, projekt IPBSL 2011-
2015 tõestas, et „süüdi“ siiski veega
püriidivööndist pärinevad
kemolitotroofid – rauda ning
väävlit oksüdeerivaid bakterid, kes
oma normaalse elutegevusega
muudavad ümbritseva maagi
lahustumatud metallide sulfiidid
vees lahustuvateks sulfaatideks.

Mikroorganismide leidmine



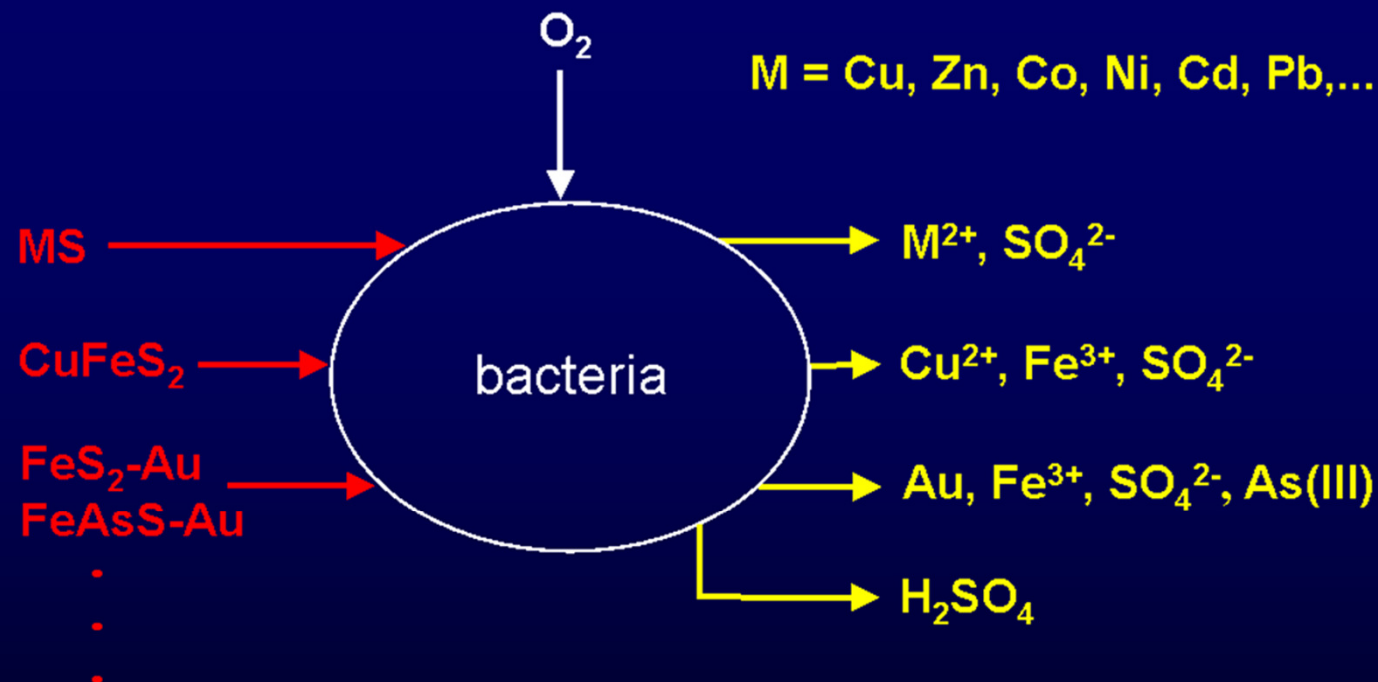
- 1947 - *Acidithiobacillus ferrooxidans*’i panuse selgumine kaevanduse happelisest nõrgveest - siiani uurituim / rakendatuim kaevur



- 1965 – esimese rauda ning väävliit oksüdeeriva arhe *Acidianus Brierlevi* identifitseerimine Yellowstone kuumaveeallikast
- Praeguseks identifitseeritud bioleostamises osalejatena üle
58 bakteri,
20 arhe (nn. ürgi),
20 seene
5 pärmi

Peamiselt KEMOLITOTROOFID – kasutavad energiaks keemiliste sidemete energiat, kasutades elektroni doonorina anorgaanilisi ühendeid.

Sulfiidsete toormete puhul



Biohydrometallurgy (biomining)

Extraction and recovery of metals from minerals (low-grade ores and concentrates) using microorganisms. In case of sulfides, insoluble metal sulfides are oxidized to soluble metal sulfates during bacterial leaching of the sulfide minerals. The metals are (bio)extracted from the minerals to be recovered from the leaching solution. In addition, acidophilic bacteria used in the above process have a bioremediation potential for controlled (bio)extraction of toxic metals from sulfide mine wastes.

Vijay
Singh Kunwar

bioleostamine - biooksidatsioon

Bioleostamise puhul leostatakse metall maagist välja.

Biooksidatsiooni e biorikastamise puhul leostatakse maagist välja ebasoovitavad metallid või muud ühendid.

1 – kahte erinevat liiki sulfiidsed maagid: vasakul – S (kollane) on seotud metalliga (nt Cu, roheline), paremal – S (kollane) on seotud metalliga (nt Fe, sinine).

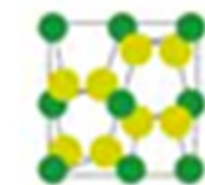
Elementaalne metall (nt Au, punane) on suletud sulfiidi maatriksis;

2 – bioleostamine ja biooksidatsioon on mõlemad oksüdatsiooniprotsessid, mis lõhuvad sulfiidi maatriksi;

3 – bioleostamise puhul leostatakse väärtuslik metall (Cu) vesifaasi.

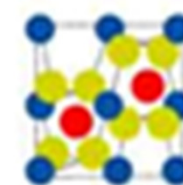
Biooksidatsioonis jääb väärtuslik metall (Au) tahkese faasi ja seda saab edasi töödelda, nt leostamisel tsüaniidiga

Bioleaching



Biooxidation

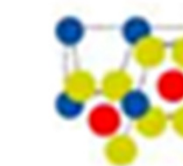
1.



2.

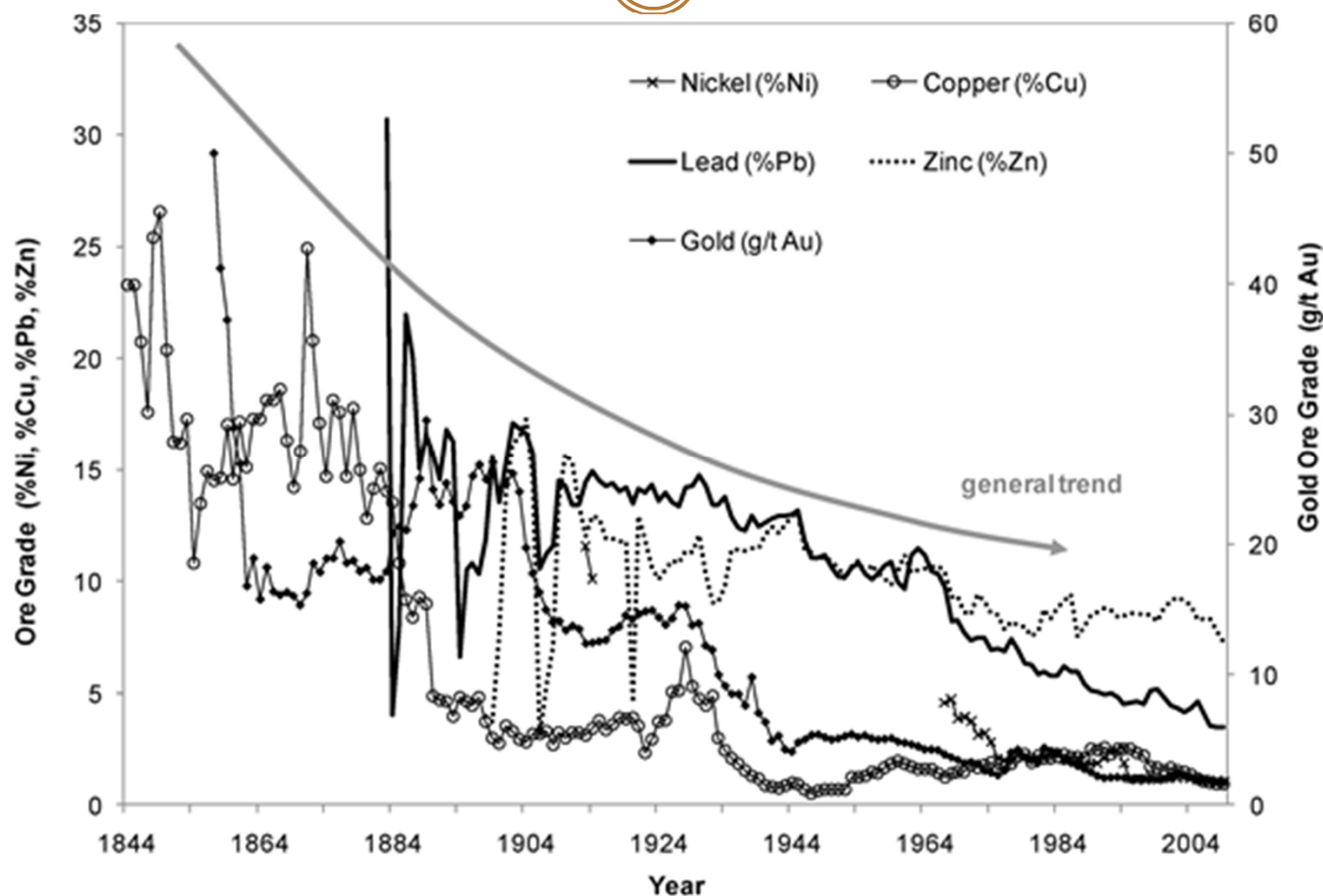


3.



<http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Biooxidation>

Rikkaid maake aina vähem



Põhi- ja väärismetallide sisalduse vähenemine Austraalia maakides, Pjotr 2012

Samas....



- Mitteraudmetallid kõrgtehnoloogilistes arendustes – kaitse-, arvuti-, elektroonikatööstuses ja telekommunikatsioonis.

Mobiiltelefonide müük kasvas 1997-2009

100 miljonilt kuni 1 miljardini. Niisuguse hulga telefonide tootmiseks on vaja toota aastas:

15 000 t Cu,

3000 t Fe/Al,

2000 t Ni,

1000 t Sn,

500 t Ag,

<100 t Au, ~15 t Pd,

~4 t Ta and ~2 In

(Prior, 2012)

Biokaevandamise tõus, 1



- 1985 raporteerisid Gentina and Acevedo vase bioleostajatest:

Kaevandus	Viis	Vase sis, %	Toodang, t/a
Duvai (USA)	Puistang (dump)	0,15-0,20	2500
Bluebird (USA)	Kuhi (heap)	0,5	6800
Degtyansky (NSVL)	Puistang /in- situ	teadmata	900
Kosaka (Japan)	In-situ	0,15-0,25	800
Rio Tinto (Hisp)	puistang	Varieerus	8000
Cananea (Mehhiko)	Puistang /in- situ	Varieerus	9000
St. Domingo (Portugal)	In-situ	teadmata	670

Biokaevandamise tõus, 2



- Tähelepanu aina kasvab – hetkeks tehased Lõuna-Aafrikas, Austraalias, Kasashtanis, Lõuna-Ameerikas, USA-s jne
- Biokaevandamist uuritakse peamiselt madala kontsentratsiooniga (alla 1kg/t) maakide puhul, lisaks kaevandusjääkide ja reostatud pinnase puhul
- Hiiglased MINTEK, CODELCO, jt
- >21% kogu maailma vasetoodangust, 5% kulla ja väiksemate koguste muude metallide, näiteks nikli ja tsingi toodangust saadakse biokaevandamise meetodeid kasutades.
- Bioleostamise tehnoloogia on maagi- ja koha-spetsiifiline. Sellest tulenevalt vajab iga väljatöötatav bioleostamise tehnoloogia kohapealset pilootfaasi.
- Siiski peetakse vähem kapitalimahukaks kui tavaline metallurgia.

Biokaevandamise tõus, 3



- Peetakse ka keskkonnasõbralikumaks kui tavaline pürometallurgia:
- Temperatuurid (20-80°C) - st madalamaid energiakulutusi, süsinikujalajälg väiksem;
- Puudub vajadus välise temperatuuriallika järele, sest mineraalide oksüdeerimine on eksotermiline protsess. Samas tihti on vajalik jahutamine, et säilitada sobiv temp;
- Atmosfäärirõhul;
- Peamised mineraalide oksüdatsiooni läbi viivad mikroorganismid on autotroofid, kes seovad sarnaselt taimedele atmosfäärist süsihappegaasi. Tavameetoditega eraldub sulatamisprotsessi käigus suur hulk CO₂.
- Arseeni sisaldavate maakide puhul jääb arseen vedelasse või tahkesse faasi, ei lendu nagu sulatamisel.

Bioleostamise viisid, 1



- **Puistangutes** (nn dump) - lihtsama variandina kujunes välja kaevandamisjäätmete mägede kõrgusega ka üle 100 m) järelkäitluseks. Puistangut kastetakse happelise lahusega. Reeglina ei õhutata. Protsess võib kesta aastakümneid. Happelise lahuse ja mikroorganismide koosmõjul leostatakse kaevandusjäätmete või maagi puistangust välja huvi pakkuvat metalli sisaldav lahus, mis kogutakse puistangu jalamil. Sageli ei ole puistangud keskkonnast vettpidava alusega isoleeritud.
- Sarnane protsess põlevkivi aheraine ja poolkoksi lademetes, ning argilliiti sisaldavas puistangus Maardus. Pinnases ja pinnavees kõrgeenenud arseeni, plii, tsingi ja nikli, molübdeeni ja vase sisaldused.

Bioleostamise viisid, 2



- **Aunades, kuhjades, vaaludes** (nn heap) -
peenestatud maak ettevalmistatud vettpidava aluse,
õhutussüsteemi ja lahuse drenaazisüsteemiga väljakul.
Üks tsükkel u 1 aasta.
- Bioleostamine aunades on paremini kontrollitav protsess
kui leostamine puistangus. Saab vältida puistangu
materjali temperatuuri liiga kõrgeks muutumist,
reguleerida leostatava materjali pH-d ja lisada vastavalt
vajadusele toiteaineid. Kogu filtraat kogutakse, mis aitab
välistada pinna ja põhjavee reostamist.
- Talvivaara – Terrafame Sotkamos (Ni, Zn, Cu)

Bioleostamise viisid, 3



- **In-situ** - metallide leostamine maa-alustes kaevandustes. Lõhkeainega purustatud (või poorsest) kivimist voolutatakse happelist ning mikroobikonsortsiumi sisaldavat leostamisvedelikku. Suhteliselt madal metalli saagis; protsess kestab kaua. Leostatav kivim peab olema poorsem kui teda ümbritsev kivim, põhjavee kihtidest allpool. Ontarios 1960-1990 U kaevandamine.
- 2015 algas H2020 projekt BioMore eelarvega 8,4M eurot, katsed Poolas, KGHM, >1,5 km sügavuste maakide bioleostamise võimalused, vase näitel.

Bioleostamise viisid, 4



- **Mahutis** (nn reactor) –kapitalimahukaim, kuid kiireim bioleostusviis (3-6 päeva); bioreaktoris keskkonna parameetrid kontrollitavad, leostus efektiivne. Bioreaktoris leostamise miinuseks on peetud suurt energiakulu jahutusele. Kasut. järjestikuseid aereeritavaid ja segatavaid mahuteid ($\geq 1000 \text{ m}^3$)
- Kasahstanis Nordgold Suzdali kaevanduses, 192t Au konts/päevas; arseen ja raud leostatakse lahusesse; järgneb naatriumtsüaniidiga leostus.
- Nt. al 2004 Chuquicamata kompleks, Tsiilis kalkopüriidi (CuFeS_2) termofiilidega bioleostamine ($70-80^\circ\text{C}$)

Biokaevandamis R&D projektid EU-s



- EU rahastusel viidud ellu viimase 12 a jooksul laialdased euroopa maakide uuringud, kus kokku eelarved üle 50 M euro:
 - BioMine (def. 9000 kohta),
 - BioShale (Talvivaara),
 - ProMine(mustad kildad),
 - EcoMetals (Kupferschiefer),
 - BioMore (>1,5km sügavus), jt
- Projekt BioShale andis soomlastele Sotkamo Terrafame (Talvivaara) – kuhjades leostatakse Ni, Zn, Co ja Cu – plaan 80 000 tonni/2017

Bioleostamist mõjutavad tegurid



- Pisikesed kaevurid on kapriissed - tootlikkust mõjutavate teguritena on välja toodud üle 30, sh :
pH, temp, hapniku ja/või CO₂ olemasolu ja kättesaadavus, redokspotentsiaal, toitained, mikroorganismidest kolleegid, nende hulk ja nende toodang, inhibiitorid, toorme koostis, toorme tüki suurus ning pindala, suspensiooni kontsentratsioon, segamise kiirus, valgus, leostusviis (vaalus/aunas/reaktoris) jne
Tundub, et naissoost? 😊

Ettevõtte BiotaTec OÜ (end. BiotaP OÜ)



- Loodud 2007, teadus- ja arendustegevus biotehnoloogias
 - 2010-2016 akrediteeritud metagneoomika katselabor
 - Omanikud: Arengufond, Bioinf OÜ, Sirli Sipp, Kadri Vunder.
-
- Teostatud RH >800 teuro
 - EAS R&D projekte 6, mahus >900 teuro
 - Alates 2016 põhirõhk bioleostamise arendusel



BiotaTec

IDEE



2010 talvel
mikrobioloog ja geoloog
saunalaval:
graptoliit-argilliit ja
mikroorganismid?



„Sirli, Sa oled hull,
Diktüoneemas on ju uraani!
Ja seal on ju lähedal fosforiit!
Sind süüakse elusalt!“

Näljased kaevurid Sillamäel, 1



- **Nn biorikastamine, 1948-1949:**
- Tehnoloogilised katsed, mis viidi läbi Narvas, näitasid, et kildast (fraktsioon <3 mm) eraldus ligi 3 kuu jooksul vesilahusesse bakterite *Thiobacillus ferrooxidans* ja *Thiobacillus thiooxidans* tegevusel U ja teisi metalle vastavalt: U 70–80%, Mo 40–60% ja V 15–20%.
- Need tulemused avaldati kinnises trükises (Альгаузен и др 1965) .
- Protsessi oli väidetavalt võimalik kiirendada vesilahusesse H_2SO_4 (kuni 6%) ja $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (kuni 100 g/l) lisamisega (Зверев и др. 1965) .

Näljased kaevurid Sillamäel, 2



- **„Tehnoloogia 5“ - 1960-1963:**

Idee Leningradi Tehnoloogiliselt Instituudilt:

- 25 mm jämedusega kilda „bakteriaalse leostamise“ katsed viidi läbi „spetsiaalsete bakterikultuuridega“.
- 2000-tonnises betoonist perkolaatoris saavutati uraani eralduseks kildast 50%.
- Sama jämedusega kilda tükkide leostamisel (pärast ligi kaheaastast seismist vabas õhus paiknevates kuhjades) spetsiaalselt ehitatud ja riiulitega varustatud puust perkolaatoris saadi uraani eralduseks 55%.

(Ello Maremäe, 2004)

Uuringud 2010-2016, 1

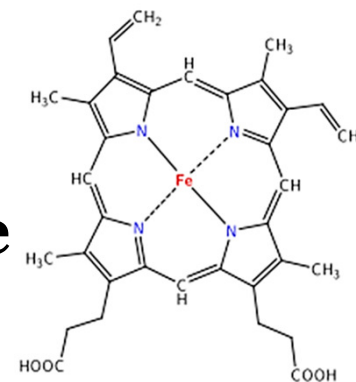


- Metallide bioleostus? Metaangaasi teke?
- Bioleostamine aeroobselt/anaeroobselt?
- Erinevad toitelahused?
- Metallide määramine, gaasi määramine
- MOde DNA järjestamine, metagenoomik
- 2014 – Biogeense metaani tootmise uuring EASi energiatehnoloogia programmi raames - riigihange
- 2016 – Keskkonnaministeriumi ja MKM tellimusel eeluuring argilliidi võimaliku bioleostamise kohta

Uuringud 2010-2016, 2



- Argillidis metallid sulfiididena ning ka geopolümeerides, nn porfüriinides.
- Publikatsioonides viidatakse antud metalloorgaaniliste kompleksidele ning orgaanikale kui efektiivset bioleostamist **takistavatele** teguritele.
- Komplekside mikrobioloogilise lagundamise kohta andmeid ülivähe.
- Nii „värvikirevaid“ maake kui argilliit vähe uuritud.
- Maailmas reeglina teostatud tööd on olnud hapniku juurdepääsuga – sellisel jääb juhul “lihtne orgaanika” (orgaanilised happed, aromaatsed ja alifaatsed süsivesinikud) aeroobses keskkonnas lahusesse, st takistab metallide bioleostumist.



Uuringud 2010-2016, 3



GA väliste omaduste muutus kasvukeskkonnas kultiveerimisel:

a) metaani eraldumisega katsetes tekkis mustjas suspensioon;
b) katsetes, milles metaani eraldumine oli tagasihoidlik või puudus üldse, jäi kasvu-keskkond läbipaistvaks.

1 – argilliidi puursüdamiku lõik,
2 – reaktor toitelahuse ja mikroobikooslusega,
3 – reaktor toitelahuse, argilliidi ja mikroobikooslusega.

A. Menert, 2016

Seni saavutatu, 1



- Prof. Maia Kivisaare ning Anne Menerti juhtimisel selekteeritud ja adapteeritud argilliidist metallorgaaniliste komplekside lagundamiseks **mikroobikooslus**, mis purustatud kildast **bioleostab metalle** ning **produtseerib metaangaasi** neutraalse pH juures.



Mikroobikooslus
deponeeritud
CELMS No EEUT
ARGCON₅

Seni saavutatu, 2

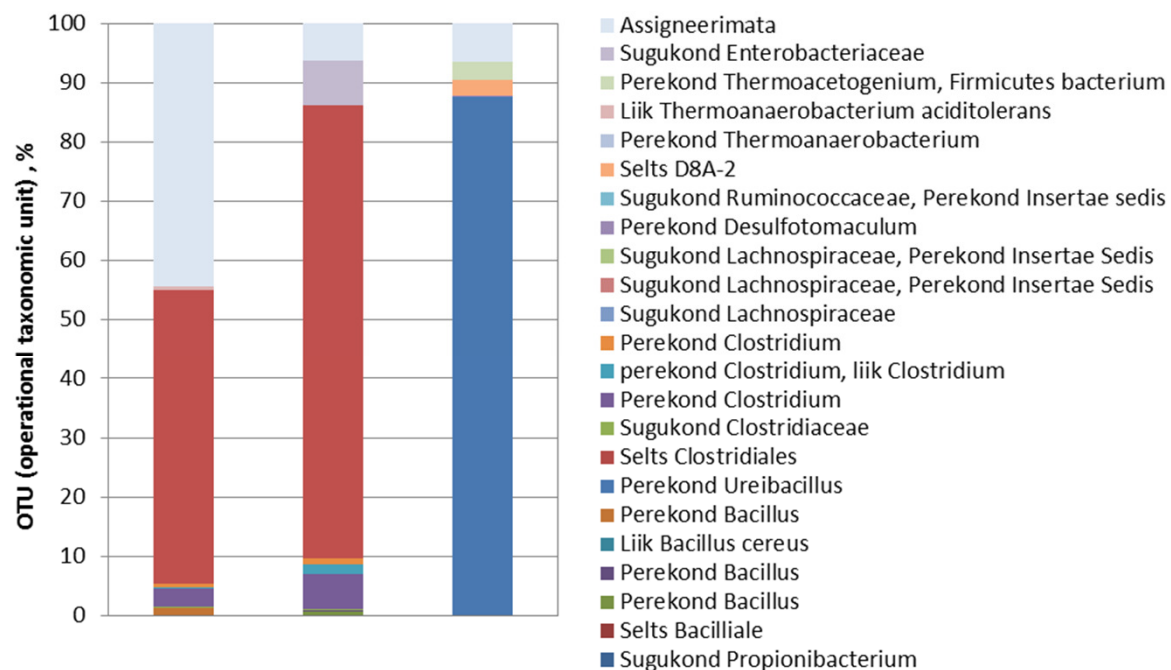


- **Kasvukeskkond** - valiti välja tõhusaim orgaanika lagundamist soodustav kasvukeskkond.
- Metanogeensete mikroorganismide kasvatamisel segakultuuris tähelepanu toitainelahuse piisavale **puhverdusvõimel**, sest fermentatiivsete mikroorganismide metabolismiproduktide tõttu hapustub kasvukeskkond kiiresti, metanogeenidele on aga soodne vaid aluseline kasvukeskkond (vahemikus pH 6,8–7,5).
- Oluline mikroelementide ja vitamiinide lisand, samuti soodustab metanogeenide kasvu metabolismi vaheproduktide ja **metanogeensete substraatide** lisamine.

Seni saavutatu, 3



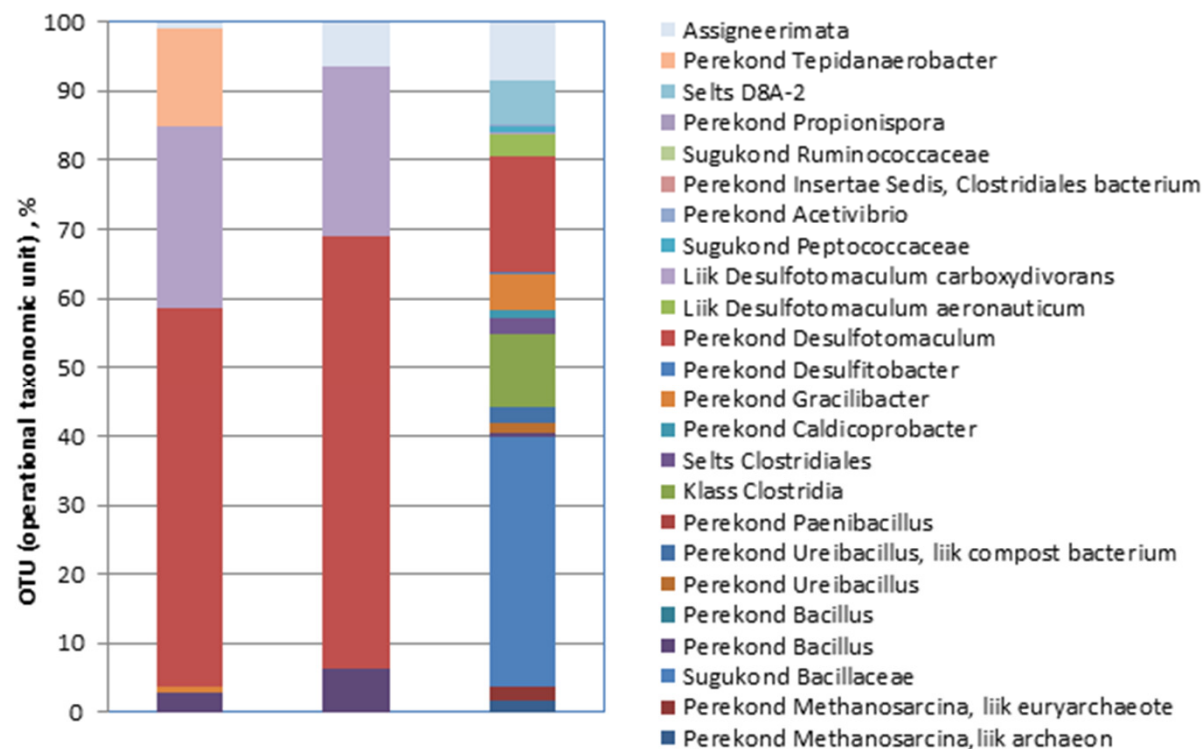
- BiotaTec kaevurite seltskond



Bakteritest
ülekaalus klassi
Bacilli esindajad –
perekonnast
Ureibacillus ja
arhedest/ürgidest
ülekaalus sugukond
Bacillaceae, kuid
samuti
metanogeenide
perekond
Methanosarcina.

Kooslustest pürosekveneerimisel tuvastatud liigid **bakterite** 16S rRNA V2 piirkonnale sobiva praimeripaariga BSR357-BSF8 (McKenna et al, 2008) erinevates kasvukeskkondades.

Seni saavutatu, 4



Ni-ensüümi ureaas sisaldav perekond Ureibacillus moodustas 87,43% ning Co- ja Ni-ensüüme sisaldav perekond Methanosarcina 3.69% kõigist taksonitest.

Kooslustest pürosekveneerimisel tuvastatud liigid **arhede** 16S rRNA V2 piirkonnale sobiva praimeripaariga Arch349F-A934b (Takai et al, 2000; Grosskopf et al, 1998) erinevates kasvukeskkondades.

Seni saavutatu, 5



- Metallorgaaniliste komplekside lagunemine, kuna:

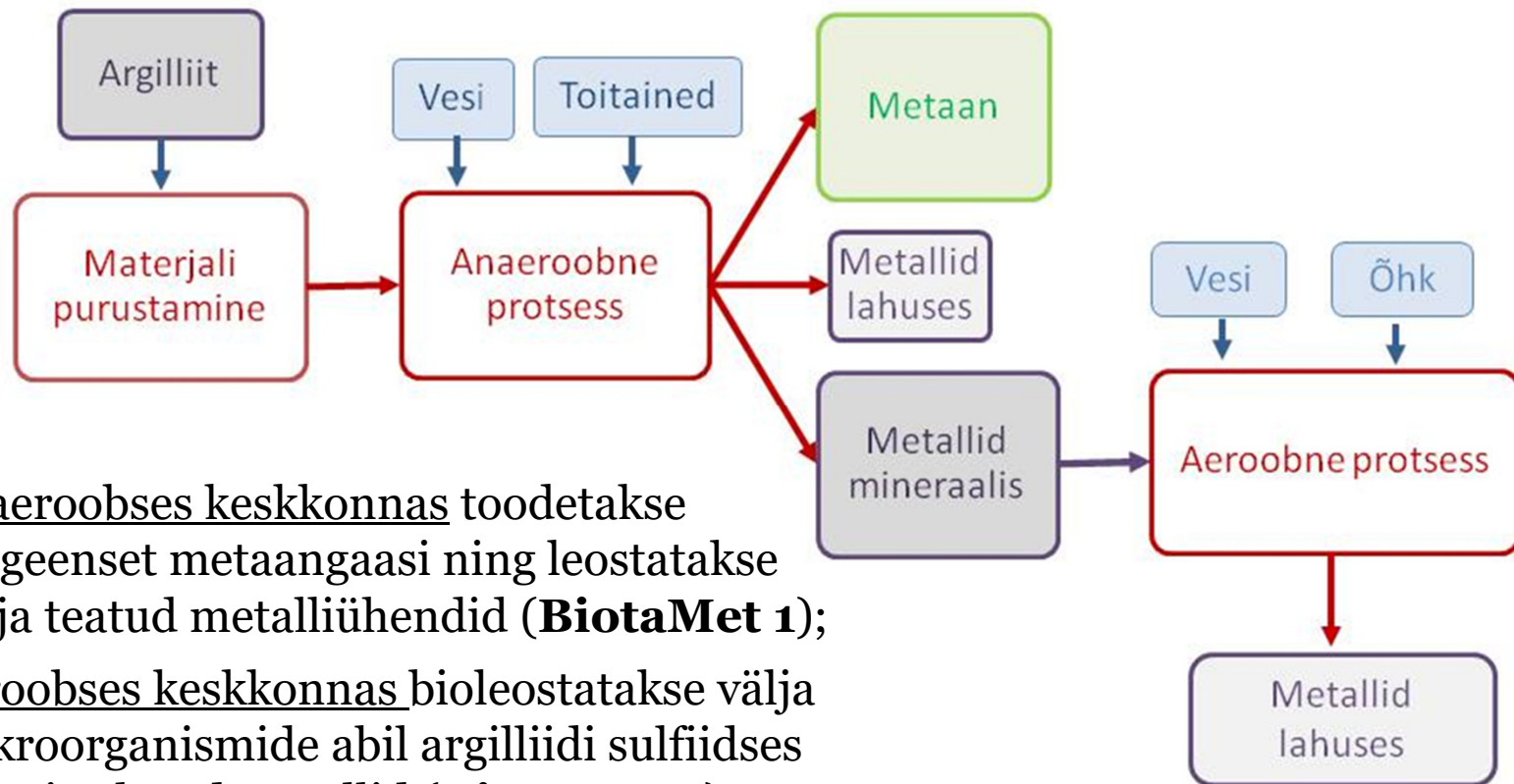
- metaani eraldumine gaasifaasi:

Arvutuslikult võib mikroorganismide abil mustast kildast eralduda 10-250 $\mu\text{mol CH}_4/\text{g}$ kivimi kohta. Katsetes kasutatud toitelahusega eraldus gaasifaasi aga tunduvalt rohkem metaani – maksimaalselt **14.46 $\pm$ 0.72 liitrit metaani kg** (645,5 $\pm$ 32 $\mu\text{mol/g}$) argilliidi kohta. Argilliidi orgaanika lagundatav osa moodustas üle 20% kogu orgaanilisest ainest.

Metaani päritolu argilliidi orgaanilisest osast kontrolliti isotoopanalüüsiga $\delta^{13}\text{C}$ (‰V-PDB) meetodil; tulemused -50 kuni -70 ‰ on tüüpilised kerogeensest materjalist pärit metaani väärtused.

- metallide leostumine kasvukeskkonda: kõige enam Co ja Ni. Katsetes kasutatud toitelahustega eraldus kasvukeskkonda vastavalt 26,2-28,1 % Co ja 9,1-14,6 % Ni nende metallide maksimaalsest sisaldusest argilliidis.

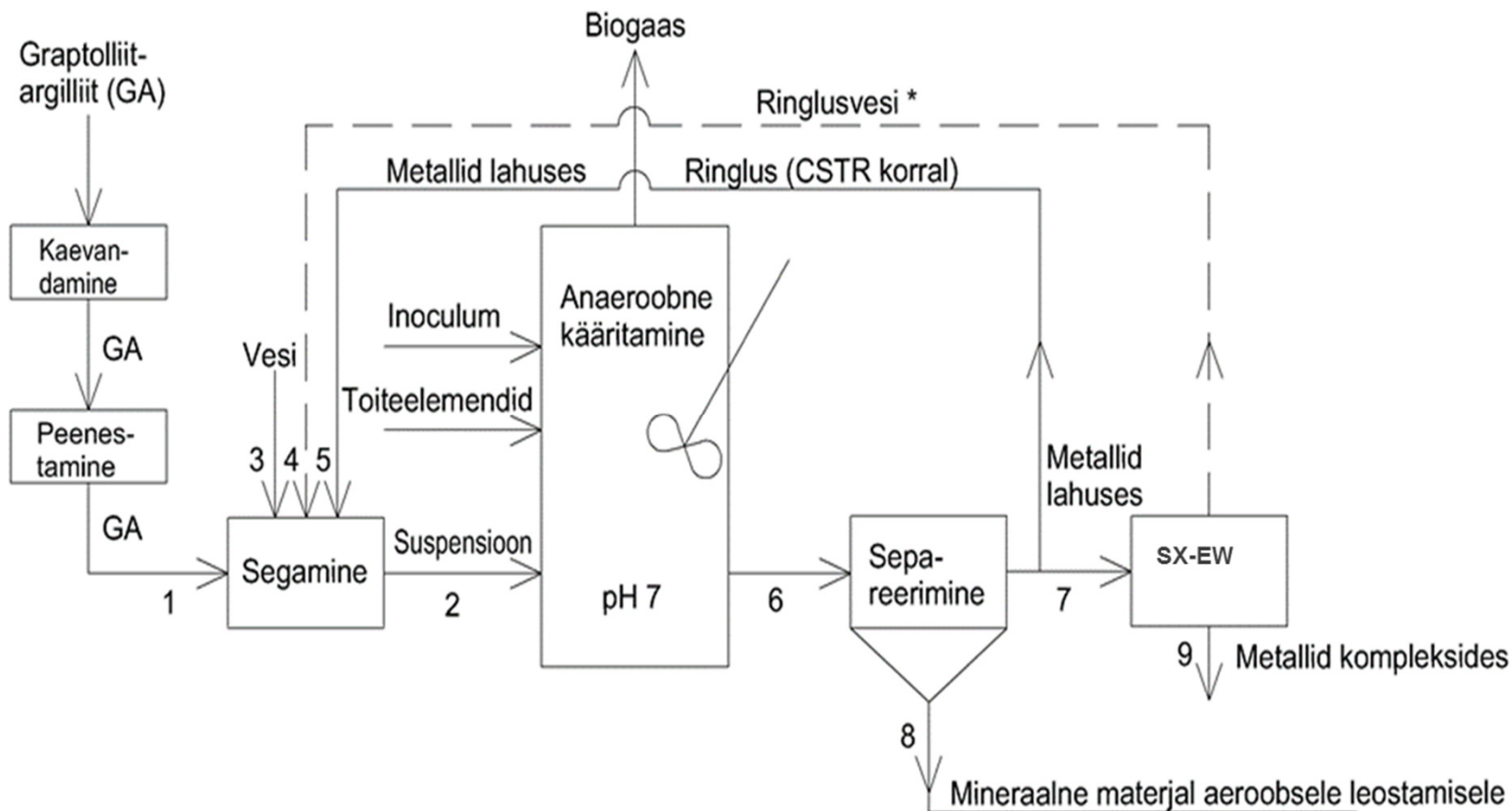
BiotaMet /GraptoMet



- anaeroobses keskkonnas toodetakse biogeenset metaangaasi ning leostatakse välja teatud metalliühendid (**BiotaMet 1**);
- aeroobses keskkonnas bioleostatakse välja mikroorganismide abil argilliidi sulfiidses vormis olevad metallid (**BiotaMet 2**).

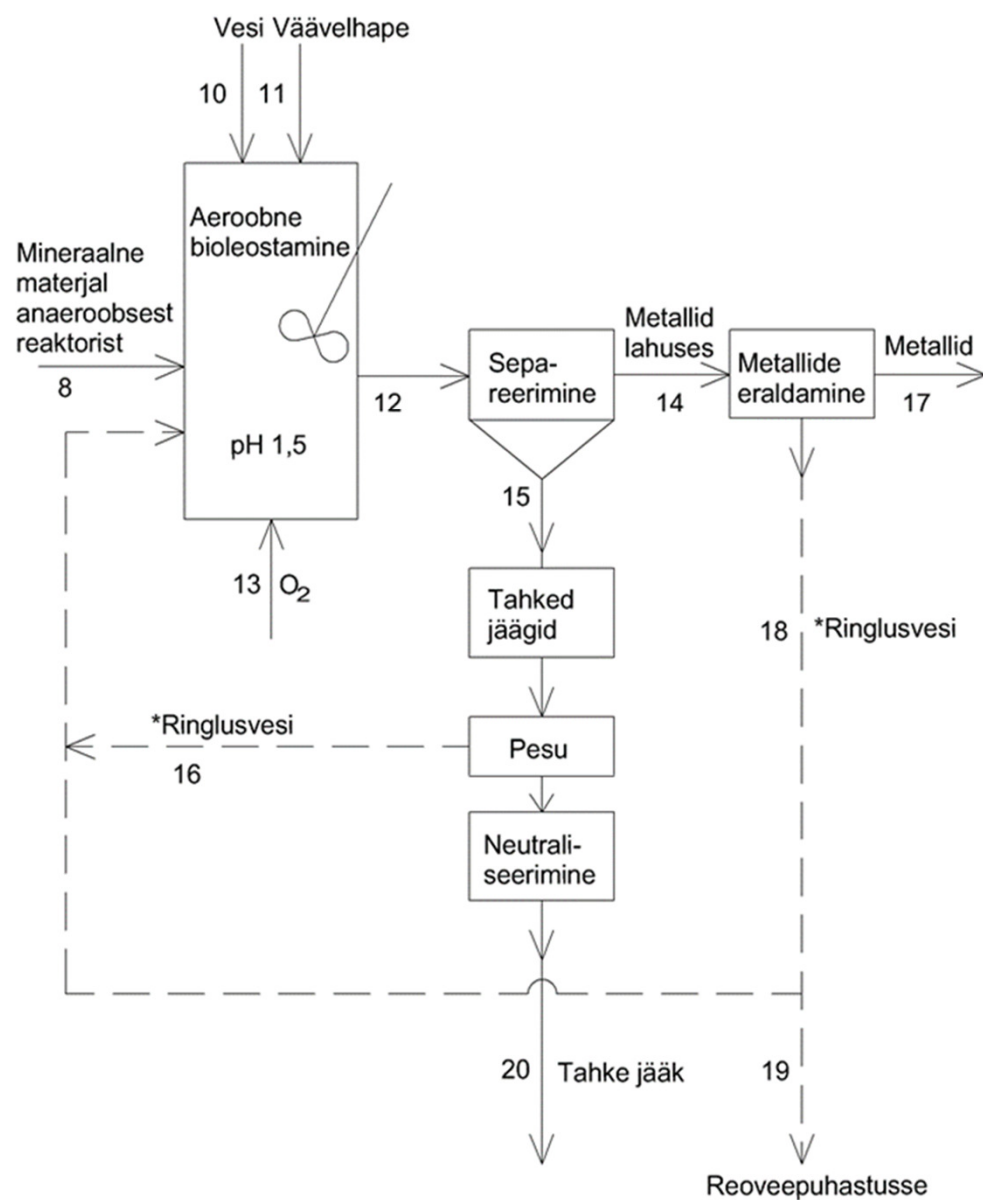
A Menert, 2016

BiotaMet 2 põhimõtteline skeem



Inna Kamenev, Sven Kamenev, 2016

BiotaMet 2



Inna Kamenev, Sven Kamenev, 2016

Argilliidi biokaevandamine Eestis?



- Nii keskkonnamõjude kui protsessi on olemasoleva informatsiooni kohaselt kõige parem kontrollida suletud reaktorite kasutamisel. Samas tuleb silmas pidada, et leostamine reaktorites on ka kõige ressursimahukam.
- **Selgeks teha:**
- argilliidis sisalduva orgaanilise aine maksimaalse energeetilise kasutamise võimalused, võimalikult vähese hulga ohtlike jäätmete ja ohtlike ainete heidete tekkimisega ; nn VÄÄVLIBILANSS
- kuna ligikaudu 80% kildast jääb jäätmeteks (juhul kui KÕIK orgaaniline aine saab kasutatud), siis taaskasutus või ohutu ladestamise meetod;
- pärast toodetavate metallide eraldamist järgi jääva saastunud lahuse käitlemise tehnoloogiat;
- õhu- ja veeheitmete iseloomu, mahtu ja käitlemise tehnoloogiat

Argilliidi võrdlus teiste orgaanikarikaste metallimaakidega



	Argilliit (ida-faatsies)	Maarjaskilt (Alum Shale)	Kupferschiefer vööndi kilt	Talvivaara kilt (Black schist)
Orgaaniline materjal, %	18,76	10,77	7,98	7,4
S, %	2,63	5,25	1,9-3,9	8,4
U, ppm	162-450	160		17
V, ppm	900-1040	920	943-1084,3	570
Mo, ppm	406-1100	470	168,9	45
Zn, ppm	356	790	26-117,6	5300
Ni, ppm	162	210	292,6-333,5	870-2600
Cu, ppm	122	140	34 958-77 300	910-1400
Pb, ppm	120-400	50	121,1	47
As, ppm	38-124	160	1598	86
Co, ppm	15	20	334,5-1287	93
Cd, ppm	1,6-4,7	10		10
Au, ppm	0,04-0,08			0,0095
Re, ppm	0,18			

Sarnaste kiltade kommertsialiseeritud projektid 2012.a



Projekt	Talvivaara	Kainuu	Viken	Stortsjon	SBH
Firma	Talvivaara Mining Co. (Talv:LSE)	Western Areas NL & Magnus Minerals (WSA:TSX)	Continental Precious Minerals (CZQ:TSX)	Aura Energy Ltd (ASX:AEE)	DNI Metals Inc. (DNI:TSX)
Riik	Soome	Soome	Rootsi	Rootsi	Kanada
Metallid	Ni, Co, Zn, Cu (Mn, U)	Ni, Co, Zn, Cu U, Mo, V (oil, Ni)	U, (Mo, V, Ni)	U, (Mo, V, Ni)	Mo, Ni, U, V, Zn, Cu, Co, Cd, Ag (Au, Li)
Algus	2003	2010	2006	2006	2008
Arendusjärg	Tootmine ja laienemine	Uurimine	Kaevandamine	Varud	Kaevandamine ja varud
Maagi ressurss	1,5 mld tonni		2,8 mld tonni	1 mld tonni	1,3-1,5 mld tonni
Kaevandamine / prognoos	164 000 tonni päevas		40 000 tonni päevas		100 000-500 000 tonni päevas
Turuosa (Market cap, C\$M)	1613	1034	16,30	29,36	16,15

Edasi, 1 - argilliidiga



- Optimeerime gaasi tootmist, uurime metallide leostamist töödeldud massist, sh tasuvuse tõstmiseks ka koos elektroonikajäätmetega
- Täpsema tasuvusuuringu jaoks on vajalik lisakatsetuste lõpuleviimine ning pilootskaalas arendustöö (nt erinevate mahutitüüpide katsetused jms).
- Kaasnevate maavarade säästliku ja kasumliku kasutamise võimalused – fosforiidi bioleostamine - (haruldased muldmetallid lantaani 40–800 gr/t; tseerium kuni 3kg/t; neodüünium kuni 1,8 kg/t; Soesoo 2017)
- Ringmajandus – vaatame sidumisvõimalusi toiduainetööstusega
põlevkivitööstusega
prügilast jäätmete töötlemisega
lisaks kaevandusvete kasutusvõimalused
- Sotsiaalne tegevusluba

Edasi, 2



Ja kui EI saavuta Eesti kapitalil põhineva tööstuskompleksi rajamist, siis vähemalt kogume kompetentsi väljastpoolt pakutavate lahenduste hindamiseks.

SUURE TÄHELEPANU ALL:

Sobivate toormete otsingud orgaanikat sisaldavate maakide hulgast maailmas – nt Poola mustas kildas orgaanikat 5-14%, metalloorgaanilistes kompleksides on Ni, Pb, Co, Cu, Mg, Zn, V, Al, Cr, Sn, Te, W, Pt.

Esmased katsetused põlevkividega Jordaaniast ja Marokost.

Koostöö ja abi on oodatud!



Sirli Sipp Kulli
Juhatuse liige ja omanik
BiotaTec OÜ
555 30 790
sirli@biotatec.com
www.biotatec.com

SUUR AITÄHH



Anne Menert
Prof. Maia Kivisaar
Jana Lillo
Triin Lillsaar
Prof. Enno Reinsalu
Valter Petersell
Rein Raudsep
Kalev Kallemets
Peep Siitam
Tiit Maidre
Prof. Ain Heinaru
Prof. Anto Raukas
Prof. Mihkel Veiderma
Ello Maremäe
Rein Palvadre



Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia



 **Eesti Maaülikool**
Estonian University of Life Sciences

www.emu.ee



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Eeva Heinaru
Kaja Orupõld
Inna Kamenev
Sven Kamenev
Prof. Vahur Oja
Kalle Kirsimäe
Prof. Erik Puura
Hella Riisalu
Prof. Jaak Truu
Ando Leppiman
Jaanus Sakh
Arvo Veskimets
ja paljud teised



KESKKONNAMINISTEERIUM

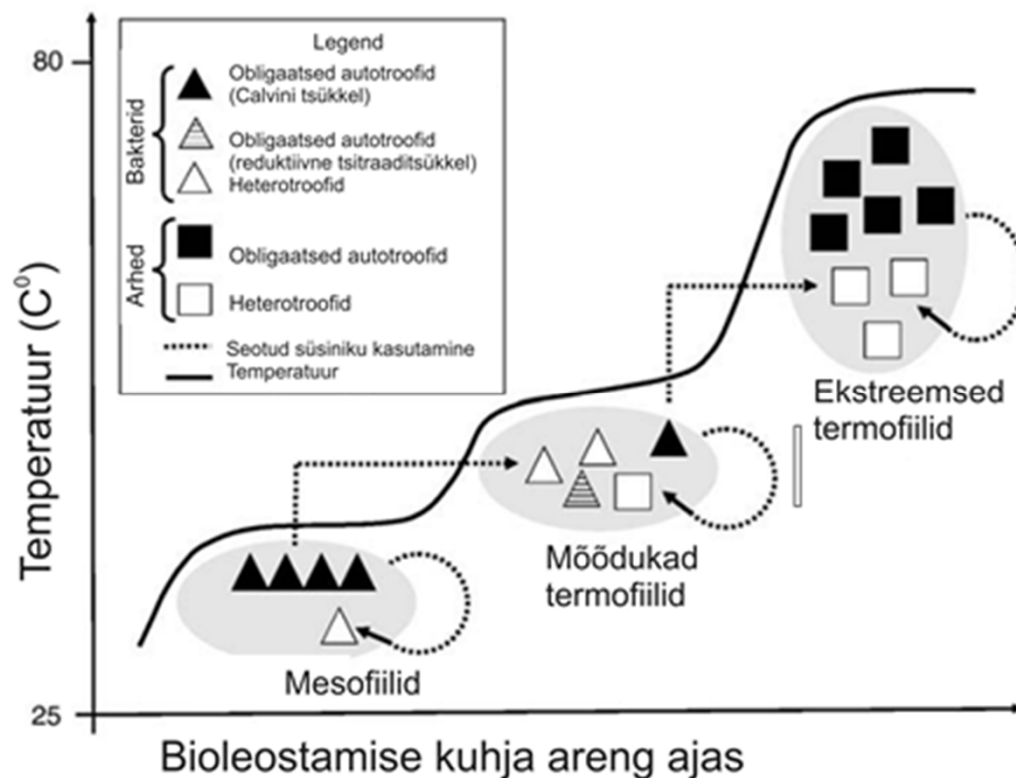


EAS
Enterprise Estonia



MAJANDUS- JA
KOMMUNIKATSIOONI-
MINISTEERIUM

LISA 1 Mikroorganismide muutus kuhjas



Mikroobikoosluse liigilise koosseisu muutumine bioleostamisel. Näidatud on olulisemad mikroobide funktsionaalsed rühmad (bakterid, arhed, autotroofid, heterotroofid) ja CO₂ sidumise erinevad variandid

Lisa 2 Metallid fosforiidis



Concentrations in ppm.... g/ton

Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
1676	227	1079	246	181	21	96	15	36
751	84	352	75	86	12	73	13	34
589	64	275	56	70	10	57	11	28
704	81	350	73	86	12	67	12	32
496	63	289	66	68	10	50	9	21
507	102	479	100	94	12	59	10	21
748	88	387	83	100	14	83	15	39
588	76	334	74	83	12	69	12	30
1294	186	855	199	234	34	199	36	89
540	72	323	72	83	12	72	14	34
418	51	216	44	56	8	50	10	25
3070	409	1889	413	417	56	293	49	112
1,8	0,3	1,4	0,3	0,3	0,0	0,3	0,1	0,2
Modern shells								

Eesti Strateegiliste Maavarade konverents

DATA: Soesoo, 2014

16. okt 2015