



## Reovee puhastamise tehnoloogilised võimalused

Kristo Kärmas  
AS Infragate Eesti  
+372 5561 3243  
kristo.karmas@infragate.ee

---

---

---

---

---

---

---

---



## Ettekande teemad

- Reoveepuhastuse etapid
- Reoveepuhastuse tehnoloogiate jaotus lähtuvalt toimuvatest protsessidest
- Aeroobne vs anaeroobne tehnoloogia – eelised ja võimalused
- Aeroobse reoveepuhastuse tehnoloogiate kirjeldus
- Majanduslikud aspektid – rajamine ja eksploatatsioon

Reoveepuhastite operaatorite koolitus

28. august 2012. a.

2

---

---

---

---

---

---

---

---



## Reoveepuhastuse etapid

**Mehhaaniline puhastus** – lahustumatute võõraste eraldamine füüsikaliste meetoditega. Selleks kasutatakse võresid, sõelasid, setiteid ja liivapüüniseid.

**Bioloogiline puhastus** – orgaanilise aine ja toitainete ärastamine mikroorganismide poolt. Orgaanilise aine lagunemine toimub nii aeroobses (hapnikurikas), anoksilises (hapnikuvabas) kui ka anaeroobses keskkonnas.

**Keemiline puhastus** – puhastamisel sadestatakse lahustunud ained välja kemikaalide abil. Levinum on fosforiühendite sidumine raua- ja alumiiniumisoolade abil.

**Järeld puhastus** – biotiigid, desinfektsioon (UV, kloorimine)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus

28. august 2012. a.

3

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

## Reoveepuhastuse tehnoloogiate jaotus

Jaotatakse toimivate bioloogiliste protsesside järgi:

**Anaeroobne töötlus**

- Orgaanilise aine lagunemine anaeroobses keskkonnas lahustunud hapniku puudumisel

**Aeroobne töötlus**

- Orgaanilise aine lagunemine aeroobses keskkonnas lahustunud hapniku juuresolekul

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

## Anaeroobne töötlus

Orgaanilise aine lagunemine anaeroobses keskkonnas:  
Sulfaatne hingamine:  
 $orgaaniline\ aine + SO_4^{2-} \rightarrow H_2S + CO_2 + biomass$

Metaankäärimine:  
 $orgaaniline\ aine \rightarrow CO_2 + CH_4 + biomass$

- Sissevool 100% süsinikku (C)
  - väljavool C 1 – 5%
  - liigmuda C 1 – 5%
  - metaan, süsinikoksiidid (C 90 – 95%)
- Energia tootmine ~ 2kWh/kg BHT
- 0.1 kg kuivainet/kg BHT (stabiliseeritud muda)
- Vajalik järelpuhastus

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 5

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

## Aeroobne töötlus - protsessid

Reoainete lagunemine aeroobses keskkonnas:  
 $org.\ aine + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + biomass$

Nitrifikatsioon:  
 $NH_4^+ + O_2 \rightarrow NO_3^- + H_2O + biomass$

Sulfiidi oksüdatsioon:  
 $H_2S + O_2 \rightarrow SO_4^{2-} + H_2O + biomass$

Orgaanilise aine lagunemine hapnikuvabas (anoksiises) keskkonnas:  
 $org.\ aine + NO_3^- \rightarrow CO_2 + H_2O + N_2 + biomass$

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

### Aeroobne töötlus

- Sissevool 100% süsinikku (C)
  - 30-50% CO<sub>2</sub>
  - 40-45% C liigmudas
  - ~10% C heitvees
- Aeratsioon 0.5-1.5 kWh/kg BHT
  - põhjaaeratsioon
    - peenmulliline 1.7-3.0 kgO<sub>2</sub>/kWh
    - jämemulliline < 1.5 kgO<sub>2</sub>/kWh
  - pindaeratsioon 1.3-2.2 kgO<sub>2</sub>/kWh
  - Celpox aeraatorid 2.5-3.5 kgO<sub>2</sub>/kWh
- Lisaenergia tootmine – 0
- Liigmuda 0.2 – 1 kg kuivainet/kg BHT kohta

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

### Aeroobne vs anaeroobne töötlus (1)

#### ANAEROOBNE TÖÖTLUS

Eelised:

- Biogaasi teke (300-400 l/kgKHT)
- Liigmuda teke väiksem
- Madalamad eksploatatsioonikulud
- Väiksem ruumivajadus (~1m<sup>3</sup>/250 ie kohta)
- Võimalus käidelda erinevaid tüüpi biojätmeid (haljastus-, köögijätmed, rooveesete)

Puudused:

- Suur rajamismaksumus (tasuvuspiir ~100 000-150 000 ie)
- Keerukam eksploatatsioon
- Toitainete (N ja P) ärastust ei toimu
- Järelpuhastuse vajadus

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

infragate

### Aeroobne vs anaeroobne töötlus (2)

#### AEROOBNE TÖÖTLUS

Eelised:

- Kõrge (95%) puhastusefektiivsus
- Paindlikumad võimalused protsessi juhtimiseks
- Lihtsam opereerimine
- Väiksem rajamismaksumus

Puudused:

- Suurem elektrienergia kulu (aeratsioon)
- Suurem liigmuda teke
- Suurem ruumivajadus

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Reoveepuhastuse tehnoloogiad

- Aktiivmudapuhastus
- Biokilesüsteemid (nõrg- ja sukelbiofiltrid)
- Kombineeritud kandjatega aktiivmudapuhastus
- Membraantehnoloogia
- Imb- ja filtersüsteemid
- Biotiigid
- Tehismärgalad ja taimestikpuhastid

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Aktiivmudapuhastus

...aktiivmudaorganismide võime siduda biomassi lahustunud orgaanilisi aineid ja biogeene

Aktiivmuda – vees hõljuvad bakterid ja teised mikroorganismid, mis moodustavad mineraalsete osakeste ümber helbelisi struktuure.

Protsessi juures on oluline:

- Toitainete - BHT : N : P – suhe. Optimaalne 100 : 5 : 1
- Degradeeritavuse indeks BHT/KHT (D)
  - kergestilagunevad ained  $D > 0.43$
  - raskestilagunevad ained  $D < 0.43$
- Temperatuur
- Keskkonna pH

Võimalikud erinevad protsessiskeemid – väljatõrjesüsteem (*pluq flow*), täieliku läbisegamisega ja annusreaktor (SBR)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Aktiivmudapuhastite läbivoolutehnoloogia skeem

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 12

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Aktiivmudapuhasti SBR-tehnoloogia skeem

Reovee puhastamine annuspuhastustehnoloogia (SBR - *sequent batch reactor*) korral:

- 1 h - täitmine ja segamine - fosforiärastuse anaeroobne faas
- 2 h - aereerimine - orgaanilise aine degradatsioon
- 1 h - segamine ja aereerimine vaheldumisi - anoksiiliste ja aeroobsete tingimuste vaheldumine
- 1 h - aereerimine
- 1,5 h - settimine ja sellele järgnev liigmuda eraldamine
- 1,5 h - puhastatud heitvee väljapumpamine

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Biokilesüsteemid

...tahkele substraadile kinnitunud mikroorganismide kogumid, millele juhitakse (perioodiliselt) reovett

- Nõrgbiofiltrid – reovesi nõrgub aeglaselt läbi biokile tugimaterjali
- Sukelbiofiltrid – tugimaterjalile kinnitunud biokile on kas perioodiliselt või pidevalt reovee sees
  - biorootorid
  - aereeritavad sukkelbiofiltrid (fikseeritud või hõljuvas olekus)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Biokile puhastusprotsess

0,3 – 3 mm paksune biokile kiht:

- **Aeroobne tsoon** – 1-3 mgO<sub>2</sub>/L
- **Anoksiiline tsoon** – orgaanilist aine degradatsiooniks kasutatakse NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- **Anaeroobne tsoon** - orgaanilist aine degradatsiooniks kasutatakse SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 15

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Biokilepuhastid

Kasutamine

- Vajalik tõhus eel- ja järelpuhastus, kui kasutatakse põhipuhastina (järelsetiti, biotiik)
- Puhastusefekt väiksem kui aktiivmudapuhastil (HA, BHT)
- Sobib suure reostuskoormusega tööstusreovee eelpuhastamiseks
- Väiksem energiatarve võrreldes aktiivmudapuhastitega
- Väiksem mudateke võrreldes aktiivmudapuhastitega (tekib lisaks eelsetiti sete)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 16

---

---

---

---


---

---

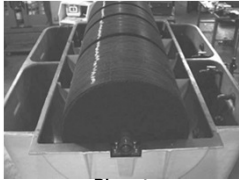
---

---

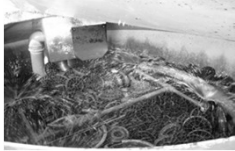
**Infrogate**



Nõrgbiofilter



Biorootor



Nõrgbiofilter

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 17

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Kombineeritud kandjatega aktiivmudapuhastus

- Fixed activated sludge technology (FAST®)
- Aktiivmudapuhastussüsteemi on paigaldatud erinevad kandja elemendid eesmärgiga suurendada organismide kasvupinda.
- Sisuliselt on ühendatud aktiivmuda ja biokiletehnoloogial baseeruv bioloogiline puhastustehnoloogia, millega tagatakse:
  - suhteliselt kõrge lämmastikuärastuse efektiivsus;
  - puhastusprotsessi stabiilsus muutavas hüdraulilise- ja reostuskoormuse tingimustes;
  - oluline puhastusprotsessiks vajaminev ruumala kokkuhoid
  - suhteliselt väike liigmuda kogus;

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 18

---

---

---

---

---


---


---

---

**infragate**

### Kombineeritud kandjatega aktiivmudapuhastus





**DOUBLE THE TREATMENT CAPACITY**

[Link IFAT tehnoloogia videole](#)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Membraantehnoloogia

- Membraantehnoloogia rakendustest kasutatakse tänapäeval 60% ulatuses joogivee ja 30% ulatuses reovee puhastamisel
- Võimaldab vajadusel reovee puhastamist joogivee kvaliteedini, kuid eeldab korralikku eelpuhastust
- Tehnoloogia on energiamahukas, kuna vesi surutakse rõhu all läbi väikeste pooridega membraanide
- Reoveepuhastuses kasutatakse membraane:
  - nitraatide, kloriidide ja teiste soolade ning looduslike ja sünteetiliste orgaaniliste ainete eemaldamiseks
  - järelpuhastuseks tavapärasele reoveepuhastussüsteemile (võimaldab kokku hoida pindala järelsetiti ehituse arvelt)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 20

---

---

---

---

---

---

---

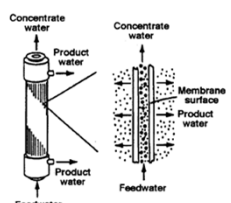
---

---

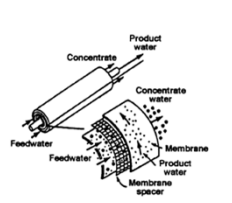
---

**infragate**

### Membraantehnoloogia



1) õõnesmembraan



2) spiraalmembraan

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

## Membraantehnoloogia

Membraantehnoloogia tüüp				
Parameeter	MF	UF	NF	RO
Poori suurus (mikromeetrites)	0,08-2,0	0,005-0,2	0,001-0,01	0,0001-0,001
Kinnipeatud osakesed	Hõljuvained, kolloidid, enamik baktereid	Viirused, bakterid, kolloidid	Lahustunud ained	ioonid
Rakendatav rõhk (PSI)	1-15	10-100	80-125	125-1000
Algselt veest töötuse käigus alles jääva vee kogus (%)	100	75	85	50-85

MF – mikrofiltratsioon  
 UF – ultrafiltratsioon  
 NF – nanofiltratsioon  
 RO – pöördosmoos (reverse osmosis)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

## Imb- ja filtersüsteemid

- Imbsüsteem – septikus puhastatud reovesi immutatakse torustiku abil maapinda, kus toimub vee edasine puhastumine
- Filtersüsteem – septikus puhastatud reovesi juhitakse imborustikku, mille alla rajatakse liivast või killustikust filterkiht. Filterkihi läbinud vesi kogutakse drenaaži-torustiku abil ja juhitakse edasi suublasse

Süsteemide rajamisel on olulised:

- Hüdrogeoloogilised tingimused
- Süsteemi paigutus krundil (kuja)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

## Biotiigid

... reovee bioloogiliseks puhastamiseks mõeldud madalad veekogud, kus toimub sümbioos bakterite ja vetikate vahel.

Bakterid – lagundavad orgaanilist ainet  
 Vetikad – kasutavad vabanenud mineraalaineid ja süsihappe-gaasi oma kudede ehitamiseks. Fotosünteesi tulemusel eraldavad nad vette hapniku, mida bakterid orgaanilise aine degradeerimisel kasutavad.

Biotiigid:

- Iseseisva puhastina ei rahulda tänapäeva nõudeid
- Puhastusefektiivsuse suurendamiseks võimalik kasutada pindaeraatoreid (suvine lahendus)
- Otstarbekas rakendada avariide korral (elektrikatkestused, suured vihmavahingud) ja ka järelpuhastuseks.

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**Infrogate**

### Tehismärgalad ja pinnasfiltersüsteemid

Puhastusprotsessid samad, mis intensiivsetes puhastites

Jaotatakse vee voolamise suuna ja iseloomu järgi:

- Avaveelised süsteemid
- Horisontaalse vee läbivooluga
- Vertikaalse vee läbivooluga
- Kombinatsioonid

Eelisteks:

- (Väiksemate) süsteemide puhul madalam rajamismaksumus
- Madalamad eksploatatsioonikulud
- Lihtsam opereerimine
- Ökoloogiliselt sobivam (elupaigad, maastikuilme)
- Taluvad koormuste kõikumisi

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Eestis kasutatavad reoveepuhastid

Peamised reoveepuhastid Eesti väikeasumites (kuni 2000 ie):

- Aktiivmudapuhastid
  - Vähem allesjäänud tüüpprojektid (BIO, OXYD, MRP)
  - Tänapäevased individuaallahendused
- Reovee kompaktpuhastid (biofiltrid)
- Reovee kompaktpuhastid SBR tehnoloogia
- Tehismärgalapuhastid ja pinnasfiltersüsteemid

Peamised reoveepuhastid Eesti väikeasumites (kuni 2000 ie):  
Vaidavalt läbivoolurežiimil baseeruvad aktiivmudapuhastid  
Vähem SBR tehnoloogial baseeruvad aktiivmudapuhastid

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 26

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Infrogate**

### Eestis kasutatavad reoveepuhastid

Reoveepuhastite jaotust reoveepuhastuse tehnoloogia järgi ja erinevate tehnoloogiate osakaal (KTK 2009 a.).

Reoveepuhastite tüüp	Arv	%-line jaotus
Mehhaanilised puhastid	72	9,8
Aktiivmudapuhastid	445	60,8
Biokilesüsteemid	80	10,9
Biotiigid	122	16,7
Imb- ja filtersüsteemid	19	2,6
<b>Kokku</b>	<b>738</b>	<b>100</b>

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 27

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**infragate**

### Pinnasfiltersüsteemide ja aktiivmudapuhastite majanduslik võrdlus – rajamismaksumus

**Erineva reostuskoormusega roveepuhastite rajamismaksumused tehnoloogiate lõikes**

Reostuskoormus, ie	aktiivmuda	PF kergkruus	PF killustik+kruus	PF killustik+liiv
50	1.2	1.0	0.8	0.7
100	1.8	1.5	1.2	1.0
150	2.5	2.0	1.5	1.3
200	3.2	2.5	1.8	1.6
300	4.0	3.0	2.2	1.9
400	5.0	3.8	2.8	2.4
500	6.5	4.8	3.5	3.0

- Pinnasfiltersüsteemi rajamismaksumus sõltub oluliselt kasutatavast filtermaterjalist
- Aktiivmudapuhasti on käsitletud rajamismaksumuse poolest soodsam reostuskoormusest alates 200-300 ie

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 31

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Pinnasfiltersüsteemide ja aktiivmudapuhastite majanduslik võrdlus – eksploatatsioonikulud

**Ekspluatatsioonikulud erineva reostuskoormusega roveepuhastite rajamisel tehnoloogiate lõikes**

Reostuskoormus, ie	aktiivmuda	PF kergkruus	PF killustik+kruus	PF killustik+liiv
50	100	80	60	50
100	150	120	90	70
150	200	160	120	100
200	250	200	150	130
300	300	250	180	160
400	350	300	220	190
500	450	400	280	250

- Pinnasfiltersüsteemi eelis alla 400 ie koormusega roveepuhastite korral
- Killustiku ja kruusa/liiva kasutamisel eksploatatsioonikulud oluliselt madalamad (amortisatsioonikulud)

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 32

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**infragate**

### Pinnasfiltersüsteemide ja aktiivmudapuhastite majanduslik võrdlus – roveepuhastuse omahind

**Ühe kuupmeetri rovee puhastamise omahind erineva reostuskoormusega roveepuhastite rajamisel tehnoloogiate lõikes**

Reostuskoormus, ie	aktiivmuda	PF kergkruus	PF killustik+kruus	PF killustik+liiv
50	55	45	35	30
100	45	35	25	20
150	35	25	18	15
200	30	20	15	12
300	25	18	12	10
400	22	15	10	8
500	20	12	8	7

- Pinnasfiltersüsteemide roveepuhastuse omahinna vahe võrreldes aktiivmudapuhastitega väiksemate puhastite puhul suurem

Reoveepuhastite operaatorite koolitus 28. august 2012. a. 33

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---