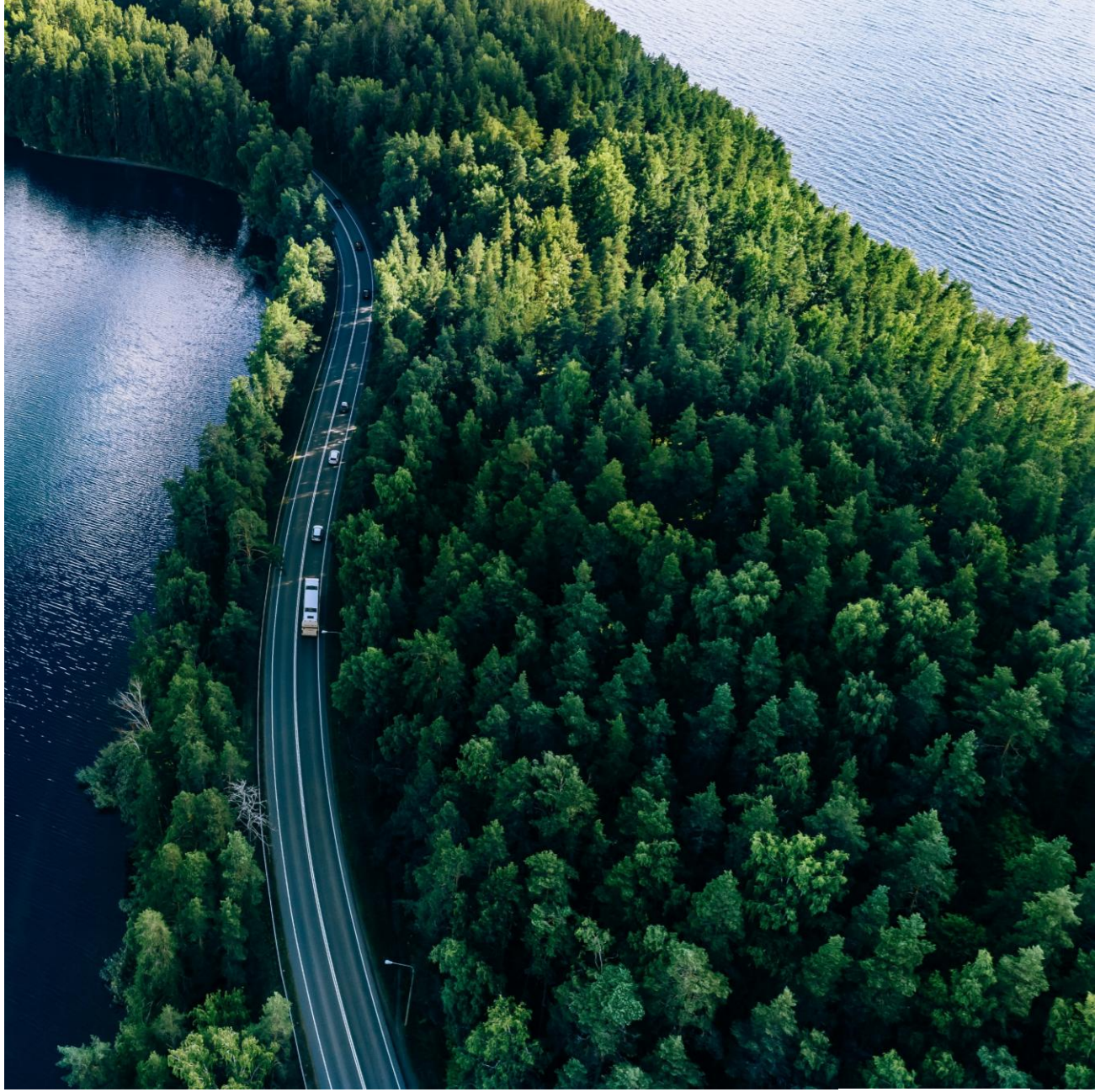
Jätevedenkäsittelyn uudet vaatimukset ja tulevaisuuden suuntaukset Aija Jantunen 12.11.2026

© Berner Oy | Aija Jantunen

JÄTEVEDENKÄSITTELYN UUDET VAATIMUKSET JA TULEVAISUUDEN SUUNTAUKSET

1. Jätevesikäsittelyn energianeutraalisuus
2. Kemikaalit ja vähähiilisyyskartta
3. Kemikaalien hiilijalanjälkiä
4. Typpioksiduuli ja sen muodostumisen esto prosessissa
5. Kemikaalit tukemassa kiristyviä lupaehtoja typen poiston osalta
6. Esimerkki Caseja



© Berner Oy | Aija Jantunen

voda NORDIC Oy
BERNER

YHDYSKUNTAJÄTEVESIEN KÄSITTELY (VUODESTA 2027 ALKAEN) JÄTEVESIEN ENERGIANEUTRAALIUS

Artikla 11 Yhdyskuntajätevedenpuhdistamojen energianeutraalius

- Vähintään 10 000 AVL:n laitoksilla, kansallinen energianeutraaliustavoite tuottaa energia uusiutuvista lähteistä vuoteen 2045 mennessä sekä asteittaisia välitavoitteita alla.
- Laitosten vuosittain käyttämästä kokonaisenergiasta vähintään:
- 20 % (31.12.2030)
- 40 % (31.12.2035)
- 70 % (31.12.2040)
- 100 % (31.12.2045)

Keinovalikoima

- Kiintoainemuodossa olevan BOD_7:n esisaostus vähentää ilmastusenergian kulutusta ja lisää biokaasun tuotantoa.
- Lämmöntalteenotto lähtevästä jätevedestä säästää energiaa, mutta onnistuakseen edellyttää riittävän puhdistustuloksen.

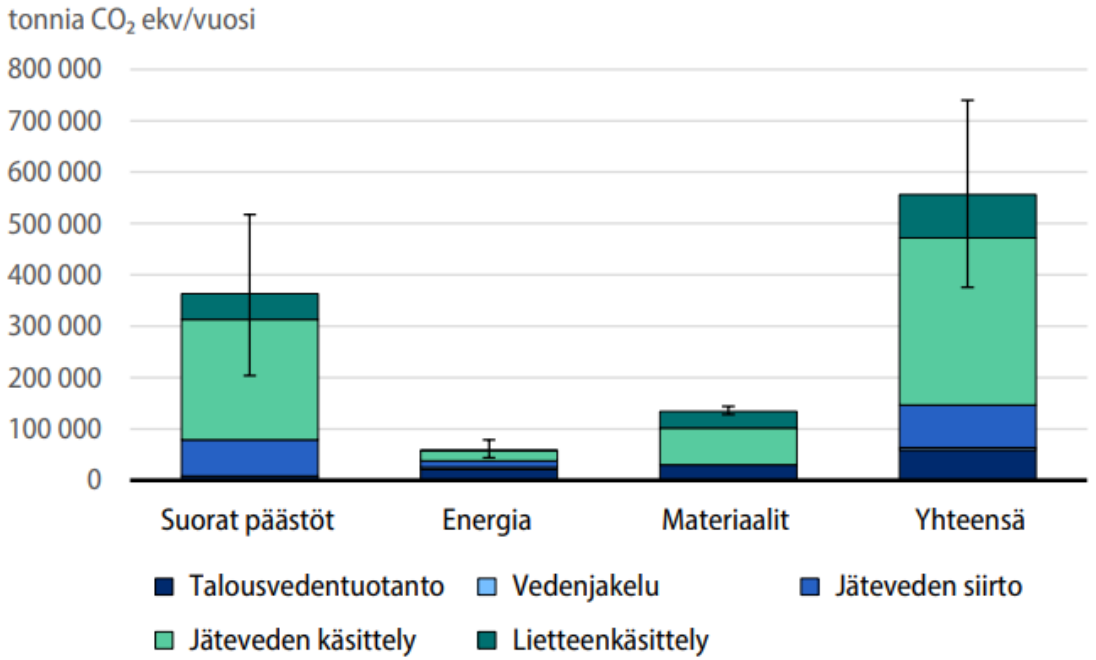
- **Siirtymäaika on pitkä; kuitenkin Suomessa päivitettäviin kansallisiin ympäristölupiin on odotettavissa kiristyviä vaatimuksia.**
- **Vähähiilisyystiekartta Suomen vesihuoltoa varten on jo luotu.**

© Berner Oy | Aija Jantunen

voda NORDIC Oy
BERNER

SUOMELLE LAADITTU VÄHÄHIILISYYSTIEKARTTA

- Vähähiilisyystiekartta
  - Vesihuollon kasvihuonekaasujen vähentäminen valtakunnallisella tasolla
  - Tavoitteena 30 % päästövähennys nykytilasta vuoteen 2035 mennessä
  - Päästöjä tarvitaan vähentää 167 000 tonnia CO2-ekv nykytilaan verrattuna
  - Esitetyt tavoitteet ja toimenpiteet on jaettu viiteen oikealla olevaan kategoriaan.
- Merkittävin osa päästöistä tulee jätevesien ja lietteen käsittelystä ja muodostuu suorista **typpioksiduuli- ja metaanipäästöistä**

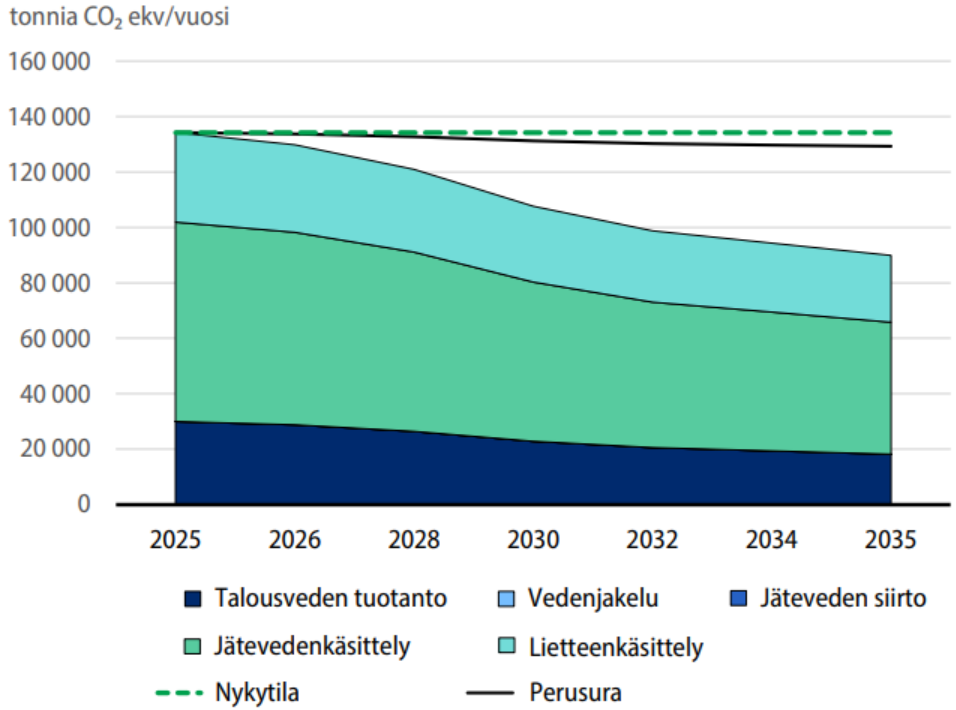


Kaavio 1. Vesihuollon elinkaariset käytön aikaiset kasvihuonekaasupäästöt (tonnia CO2-ekv/vuosi) (Laukka et al. 2025)

© Berner Oy | Aija Jantunen

KEMIKAALIT JA VÄHÄHIILISYYSTIEKARTTA

- Kemikaalien käytön päästöjen vähentäminen (D2 kategoria)
  - Kemikaalien käytön optimointi
  - Kemikaalien korvaaminen **vähäpäästöisemmillä** vaihtoehdoilla
- Kemikaalien aiheuttamat päästöt ovat noin 30 % kokonaispäästöistä
  - Kemikaaleista aiheutuvat
    - Kulutushyödykkeiden, mm. kemikaalien tuotanto ja kuljetukset
    - Jätteiden ja lietteen käsittely ja kuljetukset



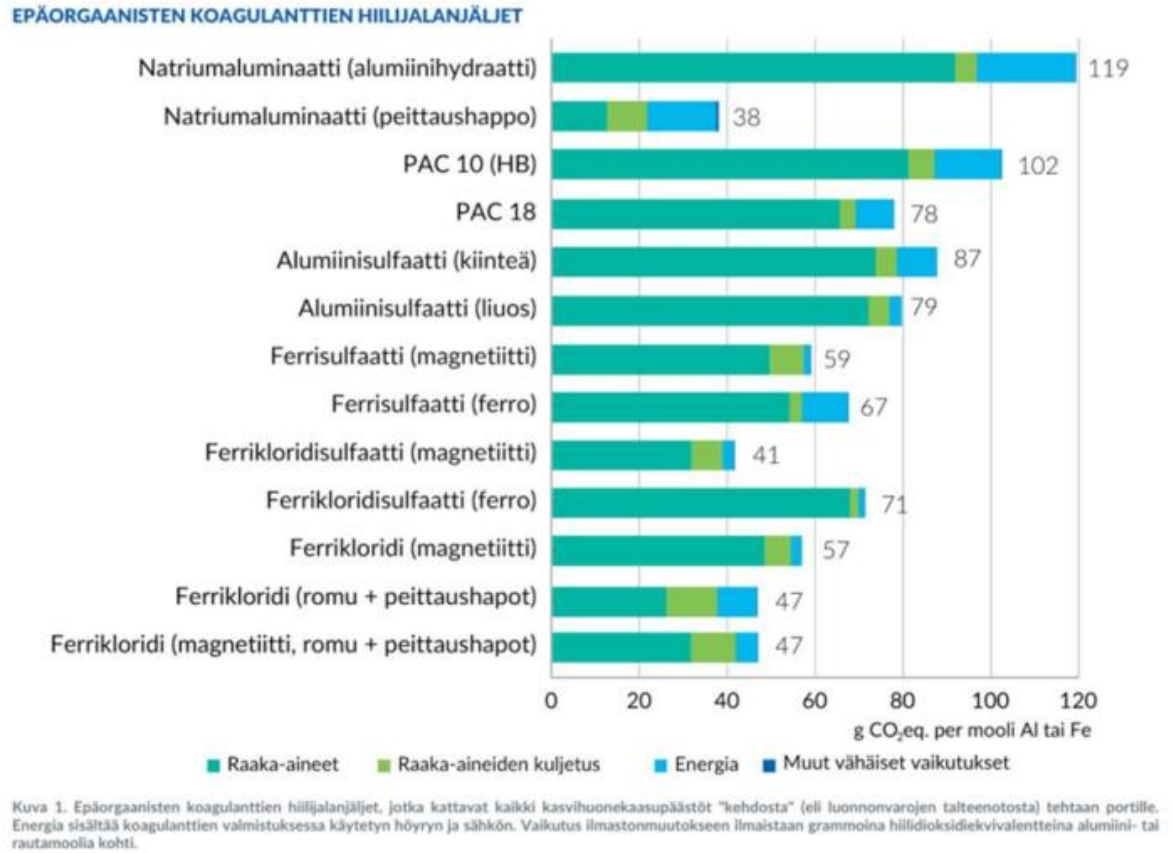
Kaavio 2. Vesihuollon materiaalien kulutukseen liittyvien päästövähennystoimenpiteiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin vesihuollon osa-alueittain vuoteen 2035 mennessä. (Laukka et al. 2025)

© Berner Oy | Aija Jantunen

KEMIKAALIEN HIILIJALANJÄLKI

Saostuskemikaalit

- Laskennan systeemiraja
  - “Kehdosta tehtaan portille”
- Tuotannon raaka-aineiden hiilijalanjälki on merkittävämpi suhteessa raaka-aineiden kuljetuksiin
- Hiilijalanjäljen allokointi päätuotteelle
  - Titaanidioksidin valmistuksessa ferrosulfaatti kantaa taloudellisen merkittävyyden osalta vaikutuksen hiilikuormasta



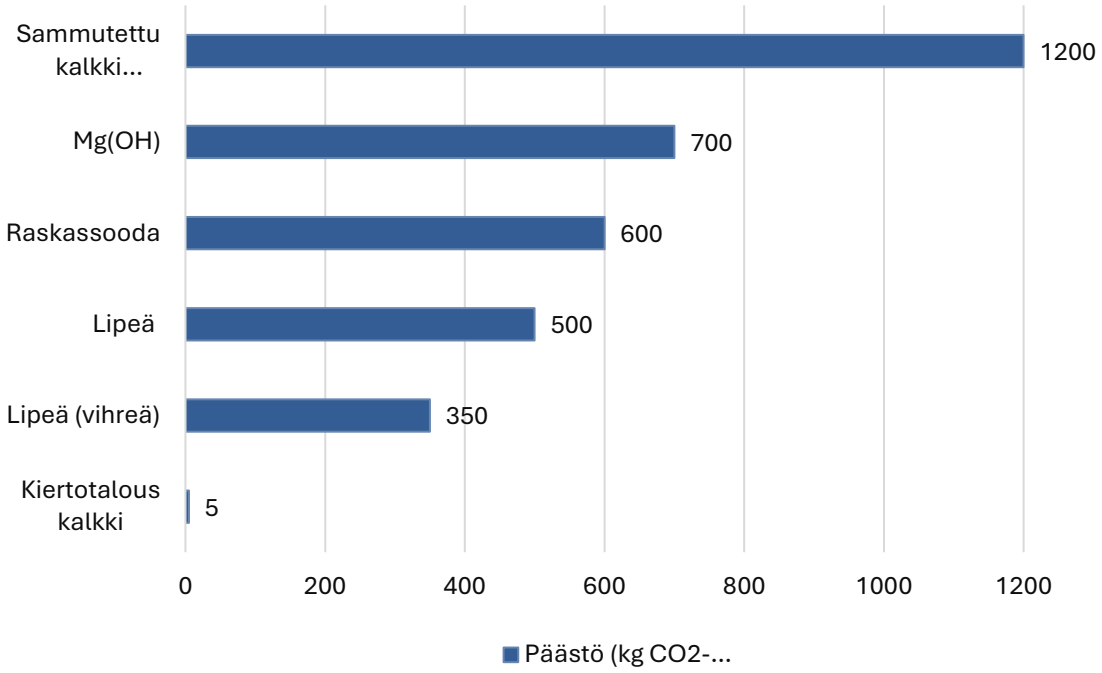
Kaavio 3. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. 2024. Carbon footprints of inorganic coagulants produced by INCOPA member organisations – an executive summary.

© Berner Oy | Aija Jantunen

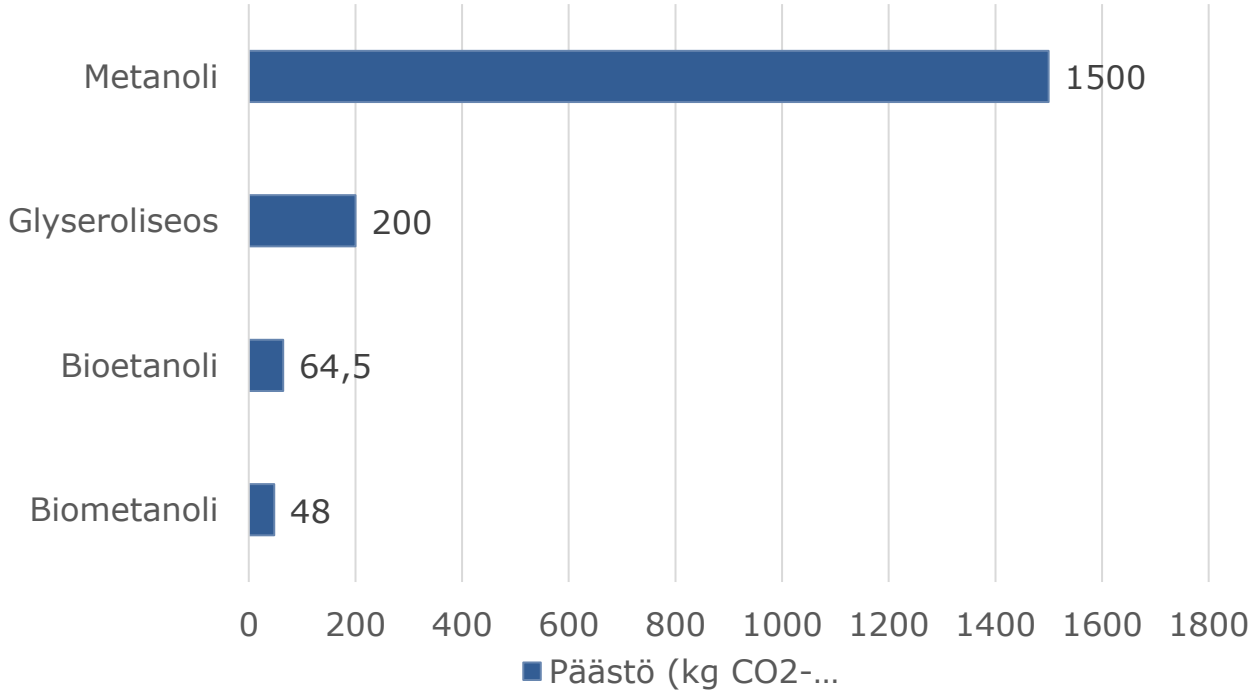
voda NORDIC Oy
BERNER

Kemikaalien hiilijalanjälkiä

PH:n säätökemikaalien hiilijalanjälki



Lisähiilenlähteiden hiilijalanjälki



Bioetikkahappo -221 to -603 kg CO_2e/kg

>Valmistuksessa sidottu CO2 riippuu valmistukseen käytetystä raaka-aineesta

- **Seuraamme useiden asiakkaidemme säiliöiden täyttöastetta liuoskemikaalien osalta.**
- **Logistiikka-asiantuntijamme maksimoi asiakkaan kuormakoon ja järjestää tarvittaessa jakokuormat**

voda NORDIC Oy
BERNER

Kemikaalien käytön optimointi ja vähähiilisyys

Prosessivaihe	Kemikaali	Vähähiilisyyttä edistävä toimenpide	Vaikutus päästöihin
pH:n säätö	Kalkki, sooda	pH:n säätökemikaalin vaihto kiertotaloustuotteeseen	Vähentää kemikaaleista aiheutuvia päästöjä
Esisaostus	Ferrisulfaatti	Kiintoaine muodossa olevan BOD_7 esisaostus	Lisää raakalietettä, vähentää energian kulutusta ilmastuksessa ja lisää lietteen biokaasutuotantoa
Denitrifikaatio	Lisähiilenlähteet	Denitrifikaation tehostaminen lisähiilenlähteellä	Kokonaistypenpoisto-ajotapa voi vaikuttaa prosessin suoriin päästöihin joko lisäävästi tai vähentävästi **(N_2O). Vaikutusten ymmärtäminen edellyttää päästömittauksia eri ajotilanteessa ja eri vuodenaikoina**
	Lisähiilenlähteet	Metanolin vaihtaminen kiertotalous tai biopohjaisiin lisähiilenlähteisiin	Vähentää kemikaaleista aiheutuvia päästöjä
Jälkisaostus	PAC	Lämmön talteenotto lähtevästä vedestä edellyttää riittävän puhdistustuloksen	Laitoksen energiatehokkuuden nostaminen
Lietteenkuivaus	Polymeerit	Kuiva-aineen pitoisuuden maksimointi	Vähentää kuljetuksista aiheutuvia päästöjä
Koko laitos	Kaikki kemikaalit	Reaaliaikainen mittaus ja säätö	Prosessitehokkuus

© Berner Oy | Aija Jantunen

voda NORDIC Oy
BERNER

Lupaehtojen mukainen typen poisto

Lupaehdot Suomessa

- Yleisesti 60-70 % kokonaistypen poistovaatimus. Kylmän veden aikana nitrifikaatio jää usein vajavaiseksi.
- Yleensä denitrifikaatio omalla hiililähteellä, mutta oman hiililähteen riittävyys ja sen hitaus rajoittavat kuitenkin lupaehtojen saavuttamista.

- Esisaostus vapauttaa biologiassa tilaa nitrifioivalle biomassalle. Jalostetut rautasaostuskemikaalit (FESU-200 ym.) fosforin saostamisen ohella tehostavat kiintoaineen poistoa.
- Esisaostettu rautapitoinen (esim. lingottu) raakaliete mädätyksessä maksimoi biokaasun tuotannon.
- Rikkivety inhiboi mädätystä. Rautasaostetussa lietteessä mukana ferrihydroksidia, joka sitoo rikkivetyä ja estää inhiboinnin mädätyksessä.

- Ulkoiset hiililähteet ovat nopeita, mikä nopeuttaa denitrifikaation ja varmistaa riittävän typenpoistoasteen.
- Sivuvirtoina muodostuville tuotteille hiilijalanjälki allokoidaan pääasiassa sivutuotteelle.

- Denitrifikaation sisäistä hiililähdettä täydennettynä ulkoisella hiililähteellä. Fosforin vaatimustaso edellyttää Suomessa kemiallista saostusta. Esisaostus vapauttaa tarvittaessa allastilavuutta nitrifikaatiolle ja yhdistettynä jälkisaostukseen varmistaa tehokkaan fosforin poiston

© Berner Oy | Aija Jantunen

TYPPIOKSIDUULI - VOIMAKAS KASVIHUONEKAASU

Seurattavat kasvihuonekaasut

- Yhdyskuntajätevesidirektiivi velvoittaa jäsenvaltiot seuraamaan vähintään 10 000 avl:n puhdistamojen kasvihuonekaasujen päästöjä (CO_2, N_2O, CH_4).
- Uusi direktiivi (EU) 2024/3019 ei aseta typpioksiduulille (N_2O) päästöraja-arvoa, mutta nostaa sen seurattavaksi kasvihuonekaasuksi
- Sulamisvaiheet ja niiden tuoma valumavesi, voivat häiritä nitrifikaatio/denitrifikaatio prosessia, jolloin typpioksiduulipäästöissä esiintyy lyhytaikaisia, mutta määrältään huomattavia päästöpiikkejä.

Typpioksiduulin muodostuminen

- Denitrifikaatio tuottaa välituotteena typpioksiduulia (N_2O).
- Denitrifikaatiossa nitraatin pelkistäminen typpikaasuksi (N_2) saakka, jotta typpioksiduulia - reaktion välituotetta, ei pääsisi muodostumaan.

Riski Typpioksiduulin muodostumiseen

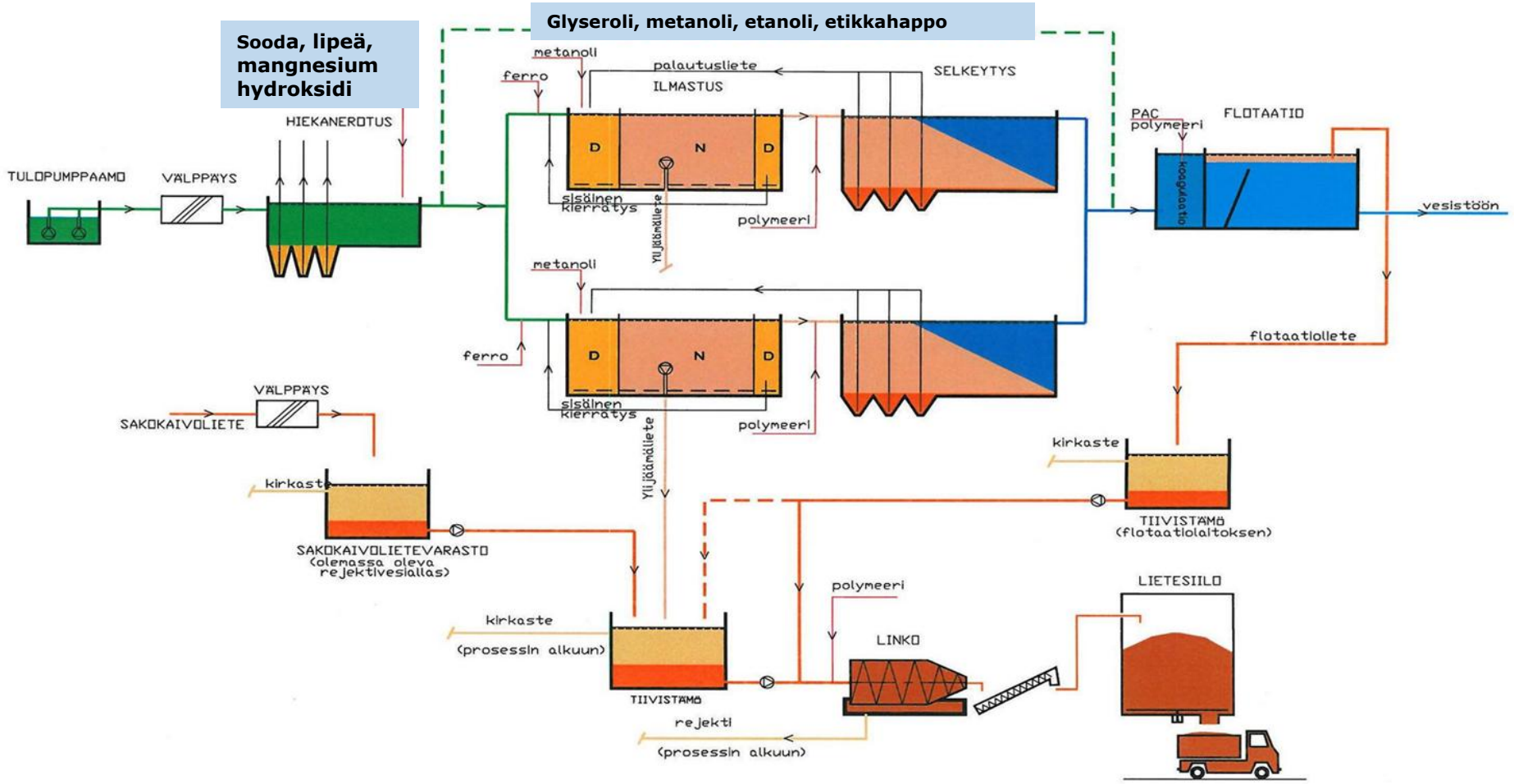
- Riittämätön hiililähde eli liian matalan C/N-suhde.
- Matala liuennut happi nitrifikaation aikana.

- **Täydellinen nitrifikaatio (jos biologian tilavuus ei riitä niin esisaostus BOD_7 kuorman leikkaajana)**
- **Hallittu happitaso sekä riittävä, mutta ei ylen määrin hiililähdettä. (ulkoiset hiililähteet)**

© Berner Oy | Aija Jantunen

KOKONAISTYPEN POISTOA TUKEVIA KEMIKAALEJA

- **BOD:tä lisäämään glyserolia, etikkahappoa tai biometanolia ja bioetanolia**



PH:N/ALKALINITEETIN SÄÄTÖKEMIKAALIT

- Raskassoodaa, lipeää ja magnesiumhydroksidia pH:n säätöön
- Markkinoilla olevien pH-säätökemikaalien ominaisuuksien vertailu:

Kemikaali	Turvallisuus	Reaktioaika	pH ylianostuksessa	Huomioita
NaOH (Lipeä)	Vaarallinen	Erittäin nopea	14	Helposti yli toivotun pH:n, vaatii tarkkaa annostelua
Na_2CO_3 (Sooda)	Kohtalaisen vaarallinen	Suhteellisen nopea	>11	Pölyävä ja holvaantuva, vaatii hyvän sekoituksen
$Ca(OH)_2$ (Sammutettu kalkki)	Pölyävä, kohtalaisen vaarallinen	Hidas	12	Kiinteä tuote, erityisvaatimuksia liuotukselle
$CaCO_3$ (Kalkkikivi)	Vaaraton, pölyävä, kierrätystuote	Suhteellisen nopea	–	Turvallinen, käsittely vaativa
$Mg(OH)_2$ (Magnesiumhydroksidi)	Vaaraton kierrätystuote	Hidas	9	Kotimainen ja energiatehokas varastointi ja annostelu suunniteltava

© Berner Oy | Aija Jantunen

voda NORDIC Oy BERNER

MAGNESIUMHYDROKSIDI PH:N/ALKALINITEETIN SÄÄTÖKEMIKAALI

Magnesiumhydroksidi ($Mg(OH)_2$) – turvallinen ja kotimainen vaihtoehto

- Kotimainen kierrätysraaka-aine, kaivosteollisuuden sivutuote
- Vaaraton ja turvallinen annostella
- Kulutus n. 2/3 verrattuna lipeään
- Hinnoittelu ei perustu kvartaalihintoihin, kuten lipeä
- Hidas reaktioaika, mutta hallittu pH:n nousu (yliannostuksessa pH 9)
- Valmistuksessa energiankulutus vähäistä



Kuva: $Mg(OH)_2$ koeajokontti

voda NORDIC Oy
BERNER

VAIHTOEHTOINEN KIERRÄTYS HIILILÄHDE DENITRIFIKAATIOON

Glyseroliseosta lisähiilen lähteeksi typenpoistoon

- Luokittelematon kemikaali:
  - Vältytään Atex-tilan rakentamiselta.
  - Ei vaadi lupalaitosta, joten laitteet pumput, mittarit, rakentaminen toteutettavissa normaalilla puhdistamoiden turvallisuuskäytännöillä.
  - Ei ole Tukesin valvonnan alaista toimintaa.
- Kotimainen kiertotaloustuote

Case esimerkki

- Asukasvastineluku 16 300
- Kemikaalin annostelu kalvopumpulla
- Annostelu 0,07 l/m3
- Kokonaistypen poistotehoksi parhaimmillaan yli 80 %, keskimäärin 73 % kun aiemmin poistoteho oli keskimäärin 65 %.
- Lähtevän veden kokonaistyppipitoisuus saatiin alle tavoite arvon 15 mg/l (lupaehto 20 mg/l) ja typenpoiston tehokkuuden vaihtelua saatiin tasoitettua



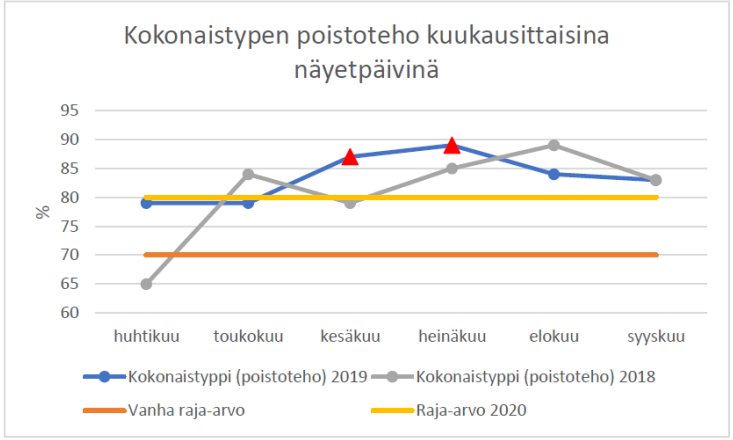
Lähde: Anni Vilkki. 2024. Kokonaistypen poiston tehostaminen yhdyskuntajätevedenpuhdistamolla

voda NORDIC Oy
BERNER

GLYSEROLISEOS VERRATTUNA METANOLIIN/ETANOLIIN

- Kotimainen kierrätystuote/sivutuote
- Riittävä orgaanisen aineen saatavuus denitrifikaatiossa estää typpioksuiduulin (kasvihuonekaasu) muodostumista.
  - Haasteena korkea viskositeetti ja sekoittuminen sekä kylmetessään jähmettyminen. Linjojen ja säiliöiden saattolämmitys.
  - Biologisissa suodattimissa limoittuminen/hapenpuute voi johtaa rihmamaisten (filamenttien) kasvuun ja suodattimien tukkeutumiseen.

- Glyseroli hiililähteenä viimeistelemässä riittävää denitrifikaatiota
- CODcr-pitoisuudet pysyivät koko jakson raja-arvon alapuolella vaihdellen 26–36 mg/l, eivätkä ammoniumtyppi- tai fosforipitoisuudet nousseet. Kokonaistypen poistoteho jopa parani koejakson aikana.

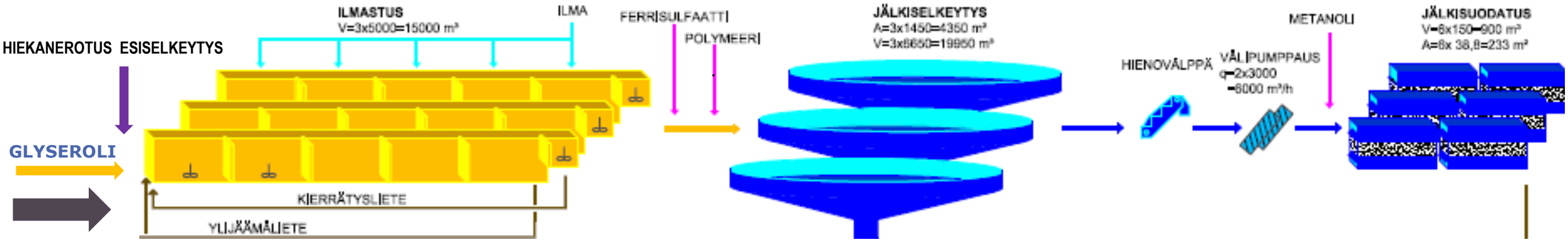


Kuva 12. Kokonaistypen poistoteho kuukausittaisina näytepäivinä ja raja-arvot. Käytössä metanoli lukuun ottamatta punaisella merkattuja näytepäiviä, jolloin käytössä glyseroli.

Lähde: Maiju Idman 16.11.2020

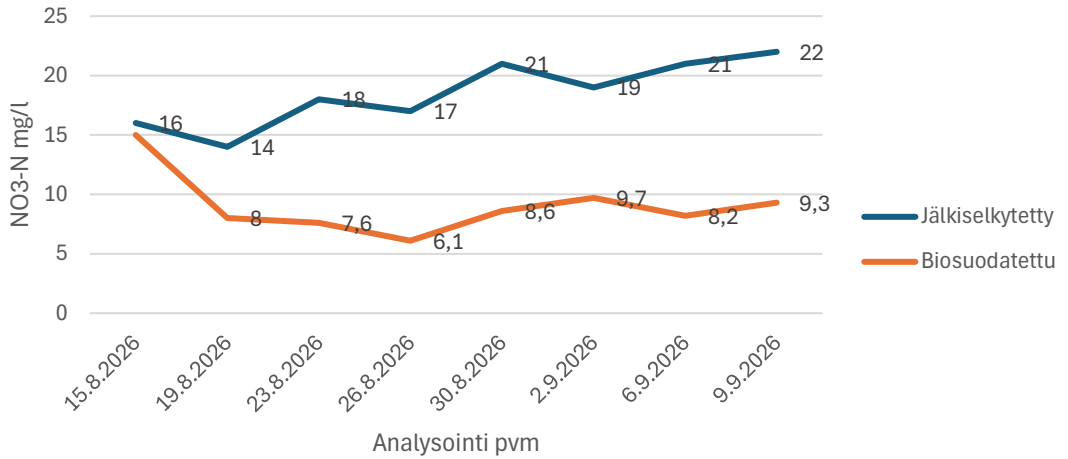
voda NORDIC Oy
BERNER

KOEAJOJA GLYSEROLISEOS JA ETIKKAHAPPO



Glyseroliseosta koeajettiin esiselkeytyksestä lähtevään veteen ja jälkiselkeytyksen jälkeen jälkisuodattimiin.

- Denitrifikation käynnistyminen vaati adaptointiajan.
- **Glyseroli hiililähteeksi jälkisuodattimeen**
  - Glyserolilla jäteveden pH ja alkaliniteetti nousivat, mikä vahvistaa denitrifikaation toiminnan. Nitraattia (NO3) poistui denitrifikaatiolla n. 10 mg/l, mutta suodattimet tukkeutuivat. Hapettomat olosuhteet, sulfaattipitoinen vesi ja niukkuus fosforiravinteesta loivat edulliset olosuhteet suodatinta tukkivan rihmamaisen biomassan kehittymiselle.
  - Etikkahapolla denitrifikaatio toimi tukkimatta suodattimia.



Denitrifikaatio glyserolilla jälkisuodatuksessa

voda NORDIC Oy
BERNER

GLYSEROLIKOEAJOJA: ANOXSINEN SELEKTORI

- Glyseroliseosta annosteltiin esiselkeytyksestä tulevan veden altaaseen, johon kierrätettiin myös ilmastettua nitraattipitoista jätevettä.
- Glyserolin annostuksella alas muutetiin anoksiseksi altaaksi.
- Flokinmuodostajat pystyvät denitrifioimaan ja selviävät ravinnekilpailussa anoksisissa olosuhteissa rimoja muodostavia paremmin (Rihmaopas Iina Hakala, Johanna Myllymäki Risto saarinen.)
- Kuvissa vasemmalla linja, johon on syötetty glyserolia esiselkeytyksen jälkeen ja oikealla kuva samasta kohtaa linjasta, johon ei syötetty glyserolia.
- Pintavaahdon muodostuminen loppui glyseroliannostuksella ja lietteen laskeutuvuus parani.
- Varsinaista hiililähdettä ei normaalisti altaaseen annostella.

Glyseroli hiililähteenä



Ilman glyserolia



- Alhainen liuenneen hapen pitoisuus ja rikkiyhdisteet aiheuttavat rihmojen kasvua (Thiothrix?). Rikkiyhdisteitä muodostuu mm. viemäriverkostossa alhaisessa happipitoisuudessa.
- Hapeton tuleva jätevesi ja nitrifikaatiosta palautettu jätevesivirta sekä glyserolin suuri annostelu todennäköisesti mahdollistivat denitrifioivan anoksisen selektorin prosessin alkuun. Hapettomuus suosi nitraattityppeä pelkistäviä bakteereita suhteessa rihmoihin, sillä vain harvat rihmat pystyvät denitrifioimaan.

© Berner Oy | Aija Jantunen