

Mg(OH)₂-lisäyksen vaikutus biojätettä syötteenä käyttävän biokaasureaktorin toimintaan

Tulosraportti 1.9.2025



Koereaktorit

- Nestetilavuudeltaan 5 litraa. Reaktoreita oli käytössä kolme kappaletta.
- Reaktoreiden lämmitys tapahtuu vesivaipalla. Kokeessa reaktoreiden lämpötila oli 40 °C.
- Muodostunut biokaasu johdetaan kaasukennostolle. Jokaisen (n. 10 ml) kennon aukeaminen rekisteröityy. Tuloksena saadaan biokaasun kumulatiivinen muodostuminen.
- Kaasun koostumusmääritykset tehdään useamman tunnin aikana kaasupussiin kerätystä näytteestä.

Reaktoreiden syötöt

- Reaktori 1
 - pelkkää biojätettä
- Reaktori 2
 - ajettu ylös biojätteellä, jonka jälkeen saanut $\text{Mg}(\text{OH})_2$ lisää 150 mg/l.
- Reaktori 3
 - ajettu ylös biojätteellä, jonka jälkeen saanut $\text{Mg}(\text{OH})_2$ lisää. Aluksi 300 mg/l, joka on nostettu 500 mg/l ja lopulta 750 mg/l

Aika	vrk	R1	R2	R3
1.4.-28.4.	0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
29.4.-21.5.	18-40	-"-	3 kgVS/m3d 150 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$	3 kgVS/m3d 300 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$
22.5.-11.6.	41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$	4 kgVS/m3d 300 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$
12.6.-2-7.	62-82	-"-	-"-	4 kgVS/m3d 500 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$
3.7.-22.7.	83-102	-"-	-"-	4 kgVS/m3d 750 mg/l $\text{Mg}(\text{OH})_2$



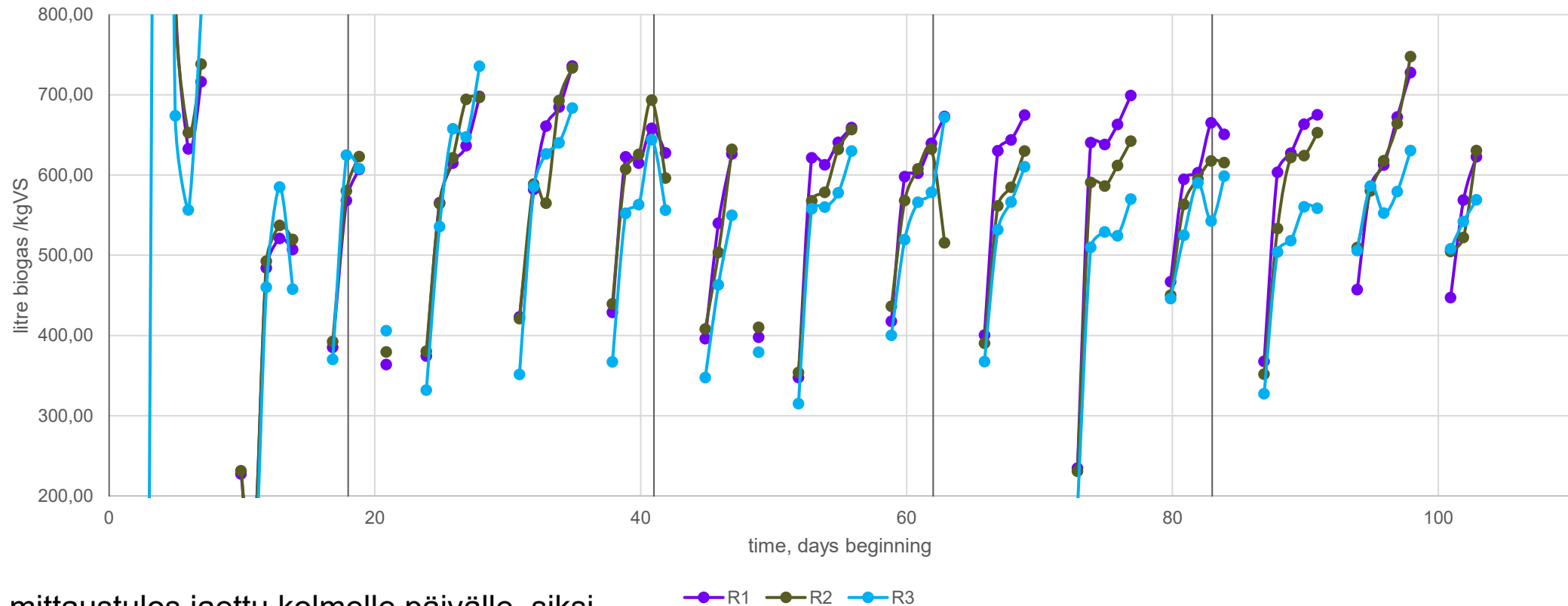
Koereaktoreiden syöttö

- Syötettäessä koereaktoreiden sekoittaja käynnistettiin, ja se oli päällä joitain minutteja ennen poistoa ja syöttöä.
- Reaktoreista otettiin massaa, joka palautettiin reaktoriin (sekoitettiin poistoputken pituus reaktori massaan).
- Reaktorimassaa poistettiin syöttömäärää vastaava määrä.
- Syöte kaadettiin reaktoriin syöttöputken kautta, nestepinnan alle.
- Reaktorit syötettiin arkipäivisin suurin piirtein samaan kellonaikaan.

vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

Biokaasun tuotto litraa/kgVS

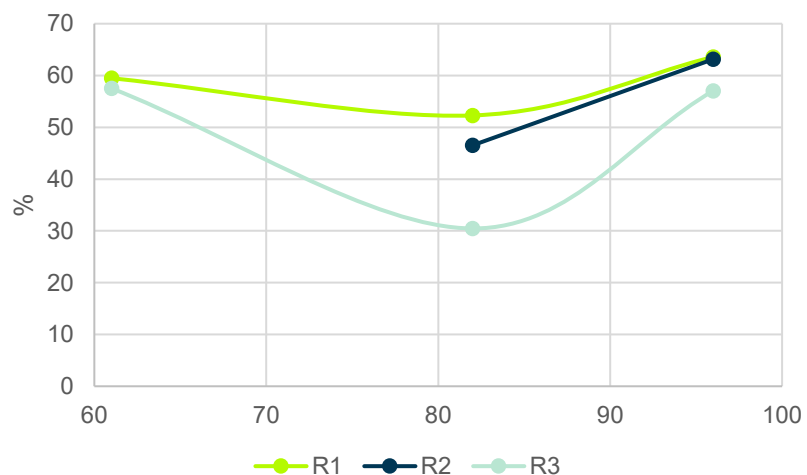
Biogas liters / kgVS (based on daily VS-feed and gas production)



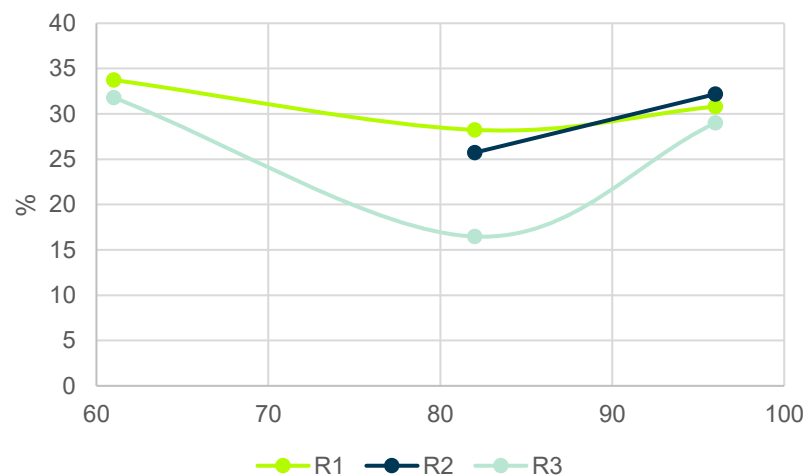
Viikonlopun mittaustulos jaettu kolmelle päivälle, siksi kaasun määrä näennäisesti pienempi maanantaisin

Kaasun koostumus

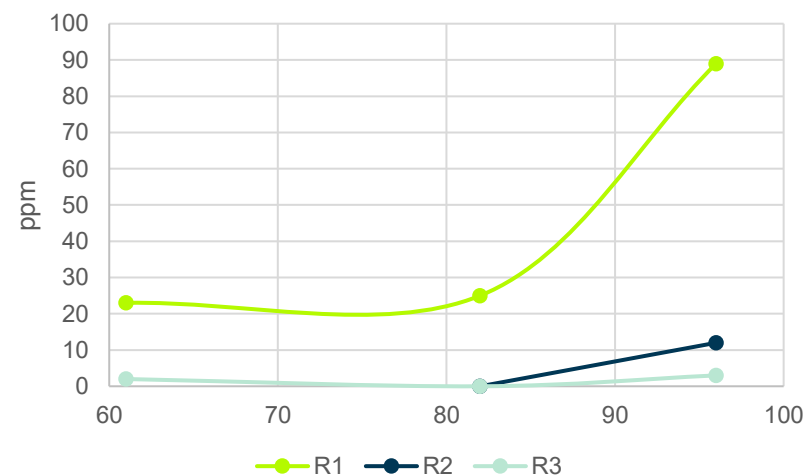
CH₄



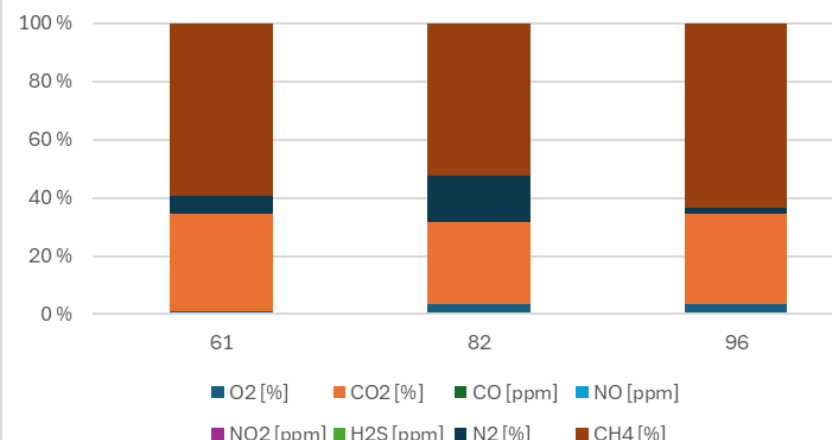
CO₂



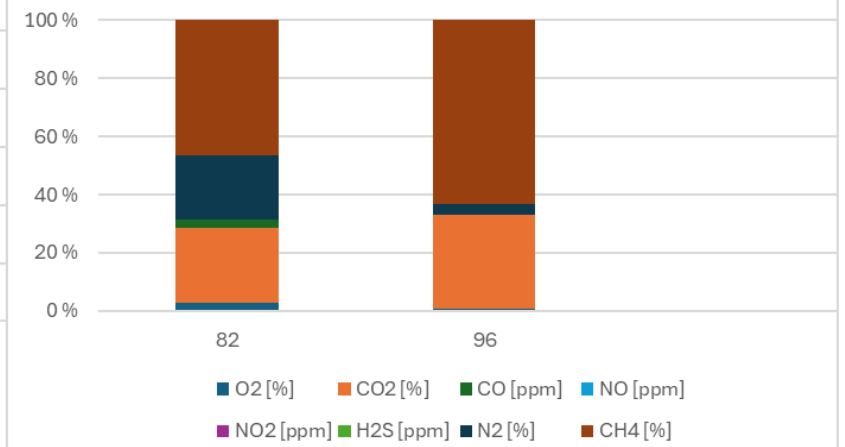
H₂S



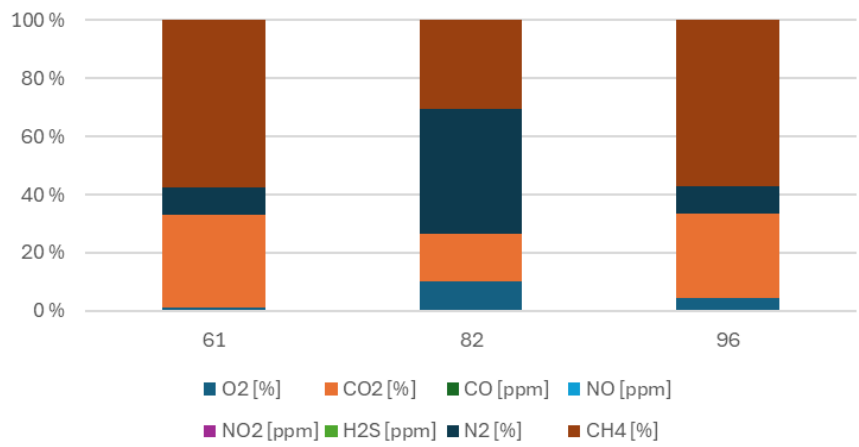
R1



R2

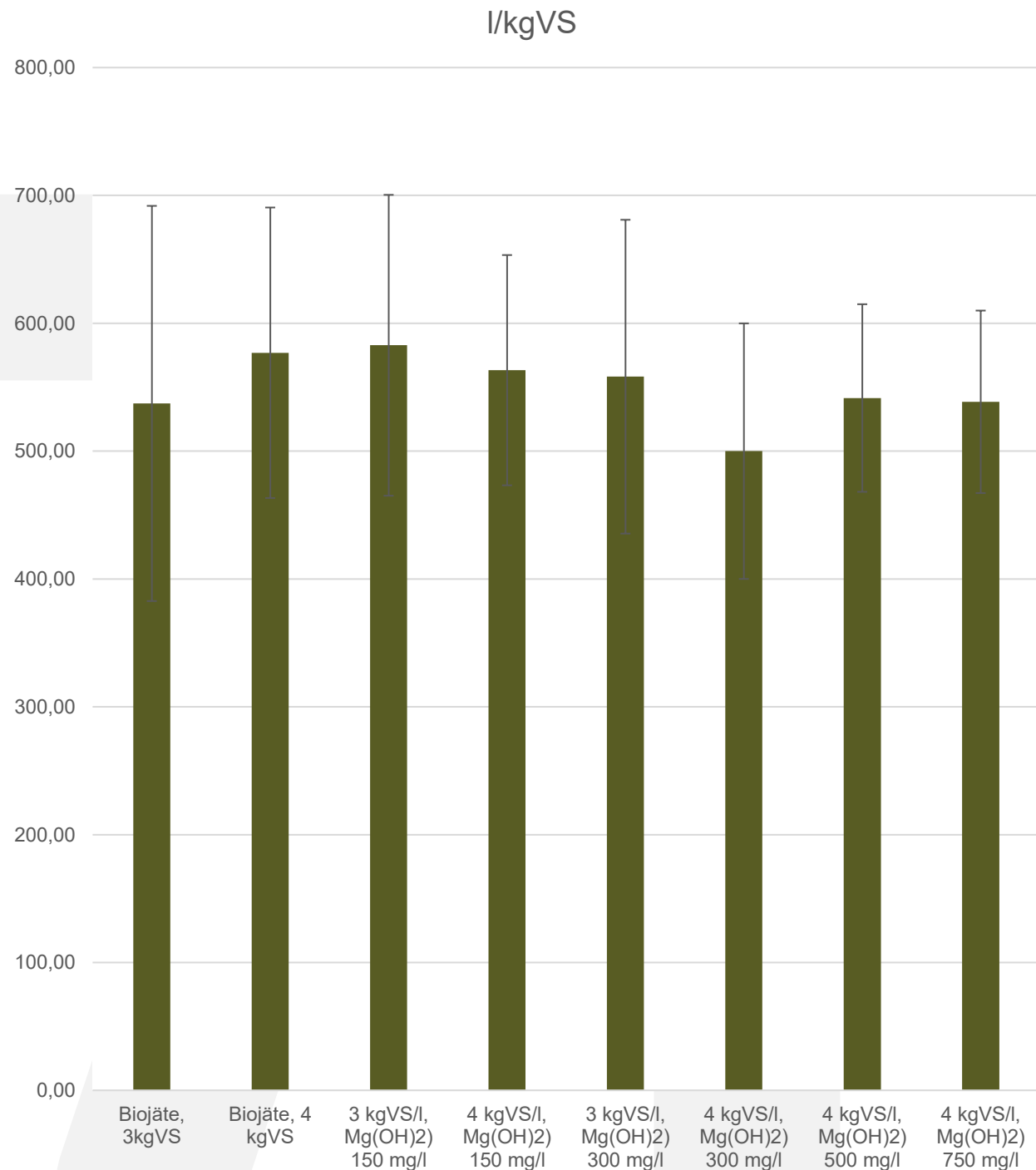


R3



Magnesiumhydroksidi- lisäyksen vaikutus biokaasun tuottoon

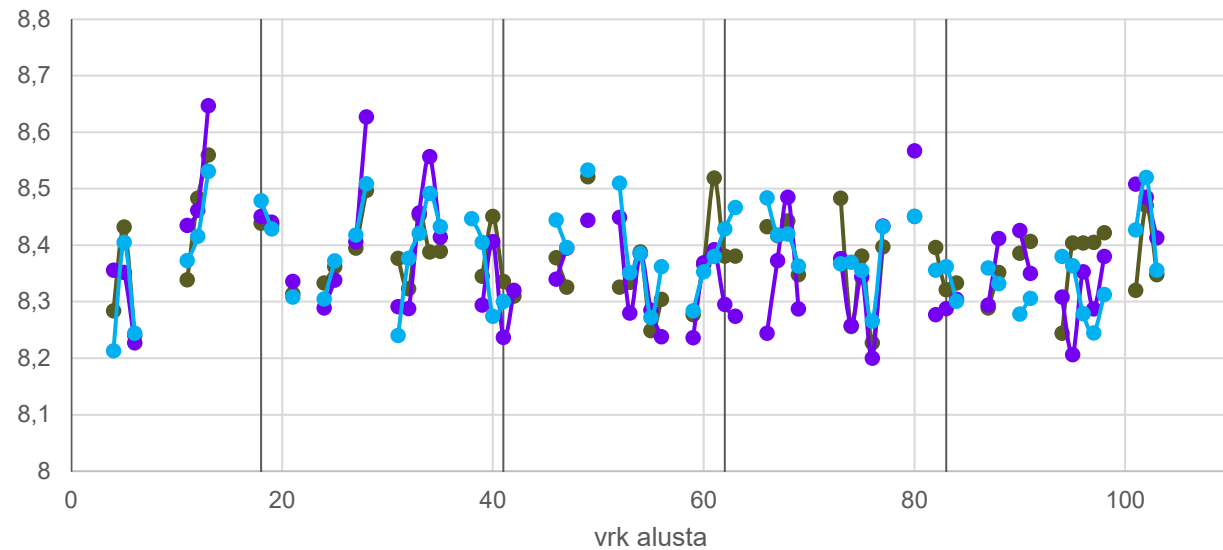
- Kuvaajien suuret hajonnat tulevat viikon sisäisestä vaihtelusta. Alkuviikosta (kun reaktori on ollut viikonlopun syöttämättä) biokaasutuotto on alhaisempi kuin loppuviikosta.
- Laskennallisesti kuormitukset ja magnesiumhydroksidipitoisuudet eivät tuo merkittävää muutosta biokaasun määrään.



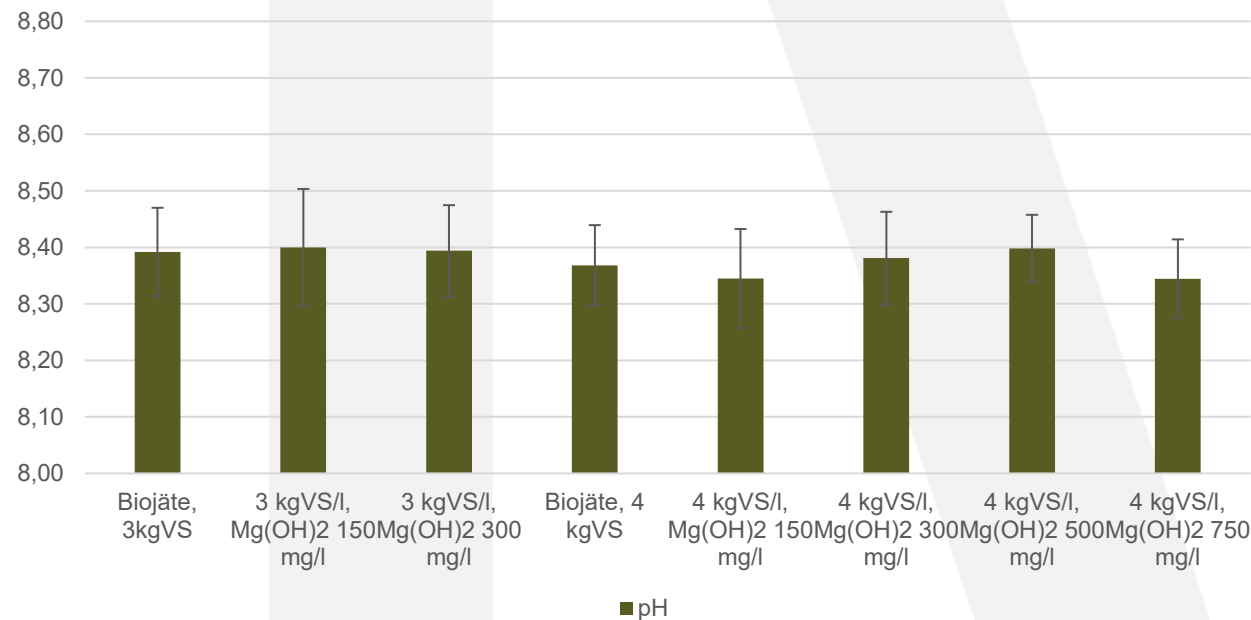
Prosessiseuranta

- Poisteesta mitattiin pH lähes päivittäin.
- Alkaliteetti ja haihtuvat rasvahapot (VFA) määritettiin titraamalla fuugatusta ja dekantoidusta näytteestä kerran viikossa modifioidulla SFS 3005 (Veden alkaliteetin ja asiditeetin määrittäminen. Potentiometrinen titraus) standardilla.
- Ammoniumtyppi määritettiin suoraa näytteestä kerran viikossa Kjeldahl-menetelmällä.
- Liukoinen fosfori määritettiin 0,2 µm suodatetusta näytteestä kerran viikossa Hach Langen kyveti-menetelmällä.
- Kuiva-aine ja orgaaninen aines määritettiin suoraa näytteestä kerran viikossa modifioidulla SFS 3008 (Veden, ja lietteen sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen) standardilla.

pH



pH



vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

pH

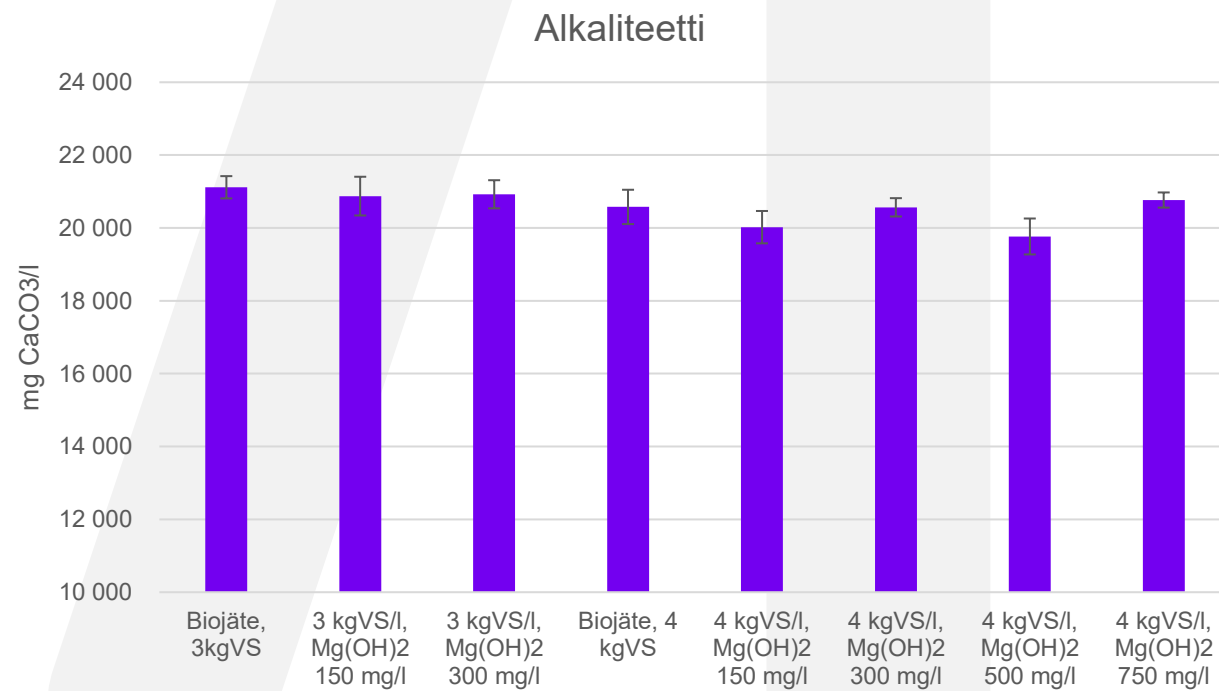
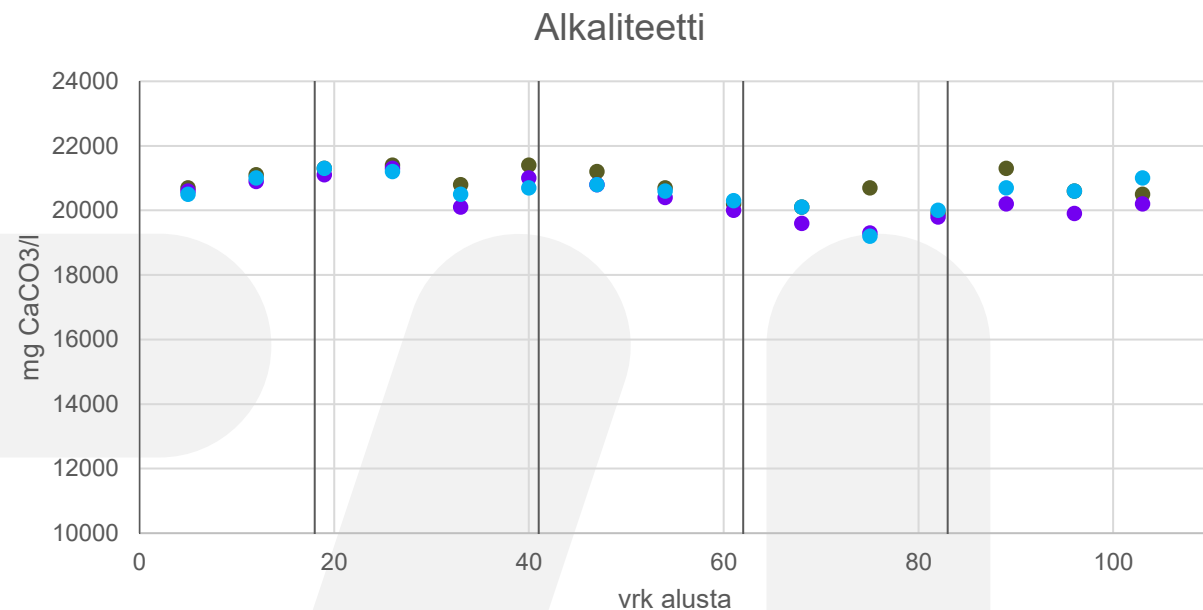
- pH vaihteli koejakson ajan 8,2 ja 8,6 välillä. Käytetyillä kuormituksilla eikä magnesiumhydroksidilisillä ollut merkittävää vaikutusta reaktoreiden pH arvoihin.

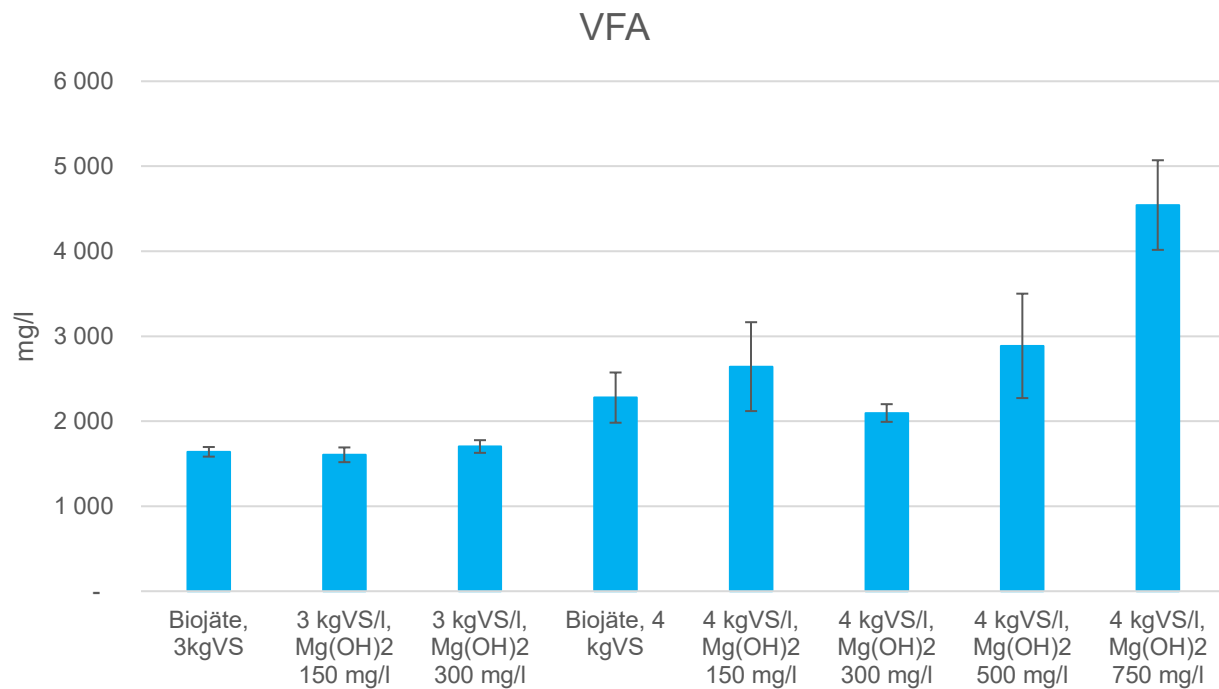
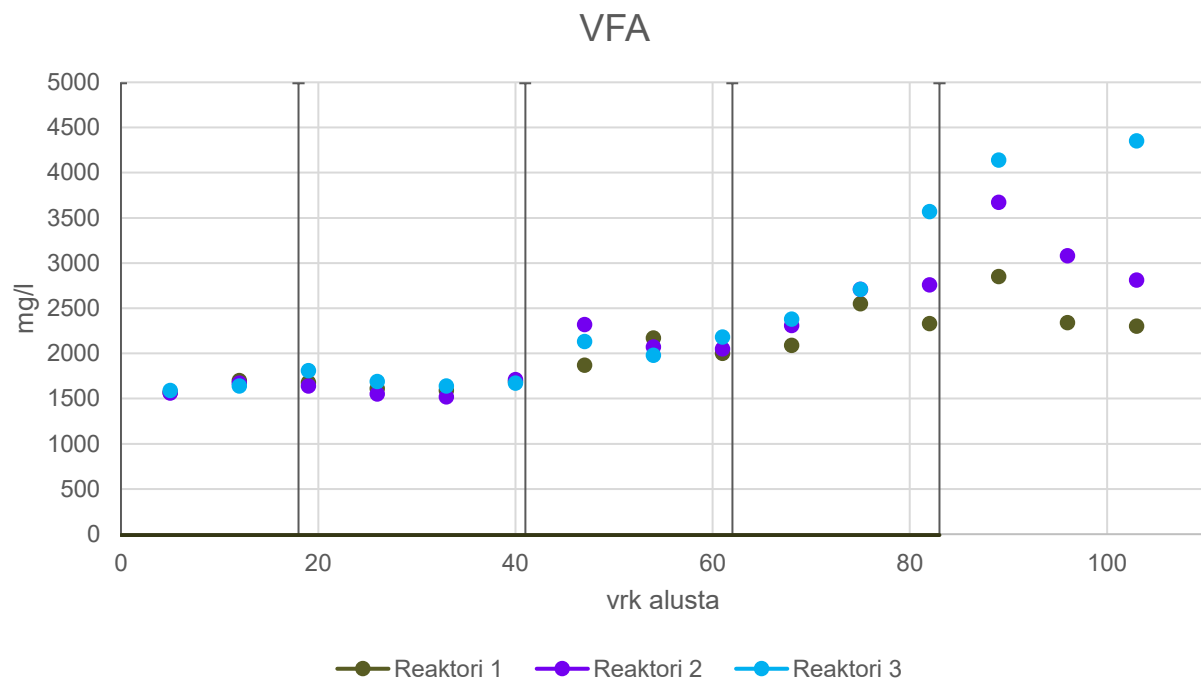
vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

REGIONAL
UNIVERSITY
NETWORK
AN UNIVERSITY

Alkaliteetti

- Alkaliteetissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia kuormitus- ja magnesiumhydroksidimuutosten myötä.
- Alkaliteetin vaihteluväli koejaksolla oli 19 000 – 21 400 mgCaCO₃/l.





vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

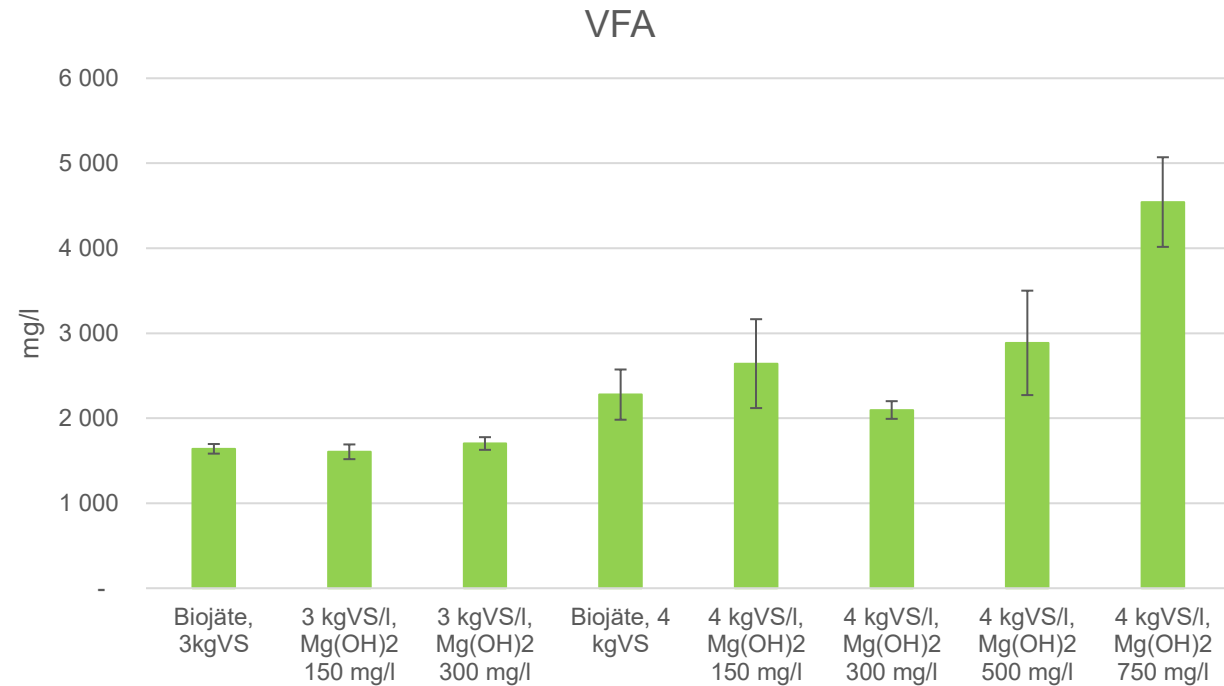
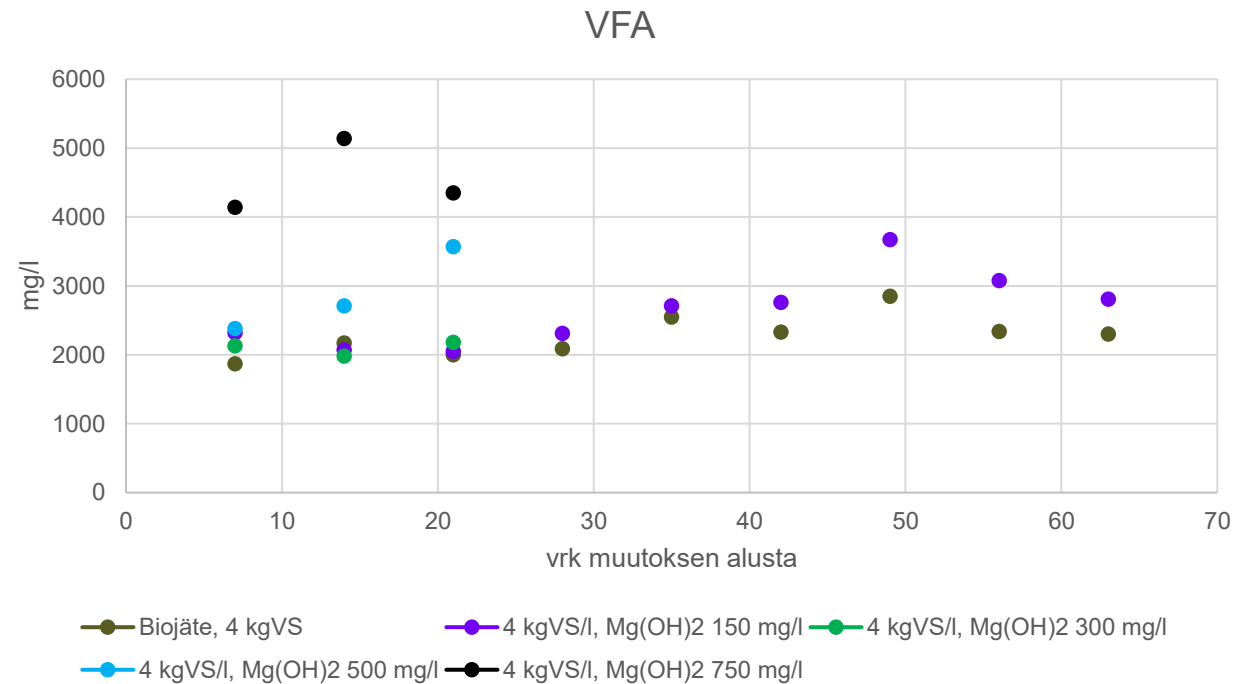
Haihtuvat rasvahapot (VFA)

- Verrattaessa kuormituksen 3 kgVS/m³d VFA pitoisuuksia, ei merkittäviä eroja ole havaittavissa pelkän biojätteen, 150 mg Mg(OH)₂ /l ja 300 mg Mg(OH)₂ /l lisäyksen välillä.
- Siirryttäessä kuormitukseen 4 kgVS/m³d, eroja on löydettävissä. (Seuraava dia)

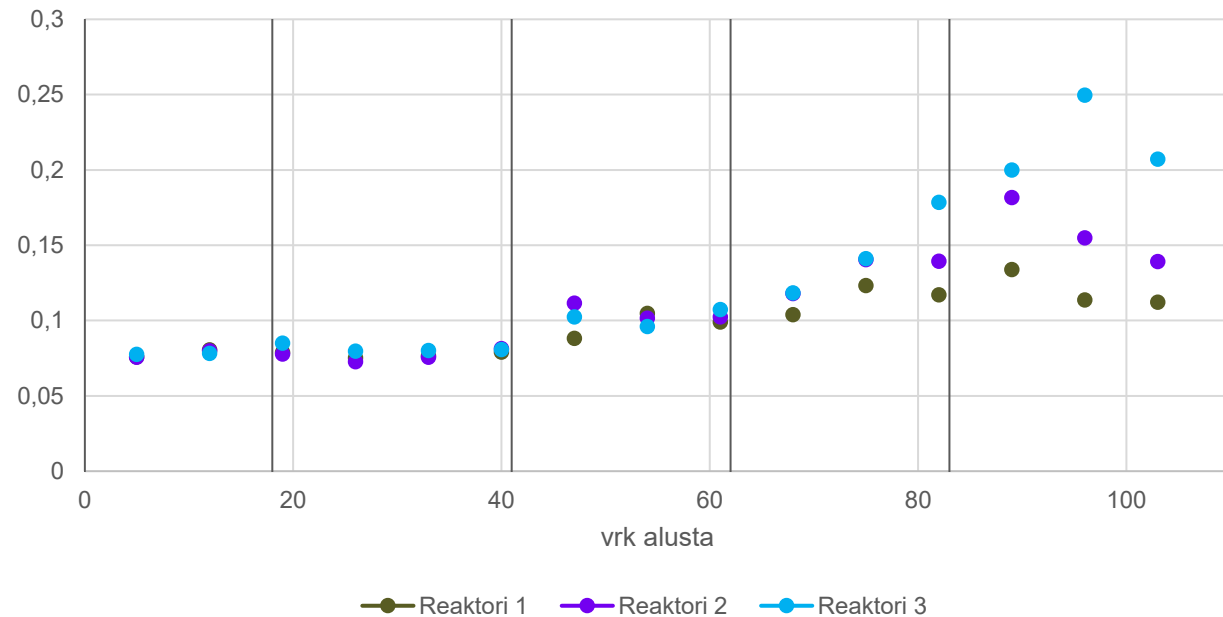
vrk	R1	R2	Vrk muutoksesta (VS-kuormitus)	Vrk muutoksesta (MgOH ₂ - annostus)	R3	Vrk muutoksesta (VS-kuormitus)	Vrk muutoksesta (MgOH ₂ - annostus)
0-17	3 kgVS/m ³ d	3 kgVS/m ³ d	0-23	0-17	3 kgVS/m ³ d	0-17	0-23
18-40	-''-	150 mg/l Mg(OH) ₂		0-85	300 mg/l Mg(OH) ₂	0-23	
41-61	4 kgVS/m ³ d	4 kgVS/m ³ d 150 mg/l Mg(OH) ₂	0-61		4 kgVS/m ³ d 300 mg/l Mg(OH) ₂	0-20	0-61
62-82	-''-	-''-			500 mg/l Mg(OH) ₂	0-20	
83-102	-''-	-''-			750 mg/l Mg(OH) ₂	0-19	

Haihtuvat rasvahapot (VFA)

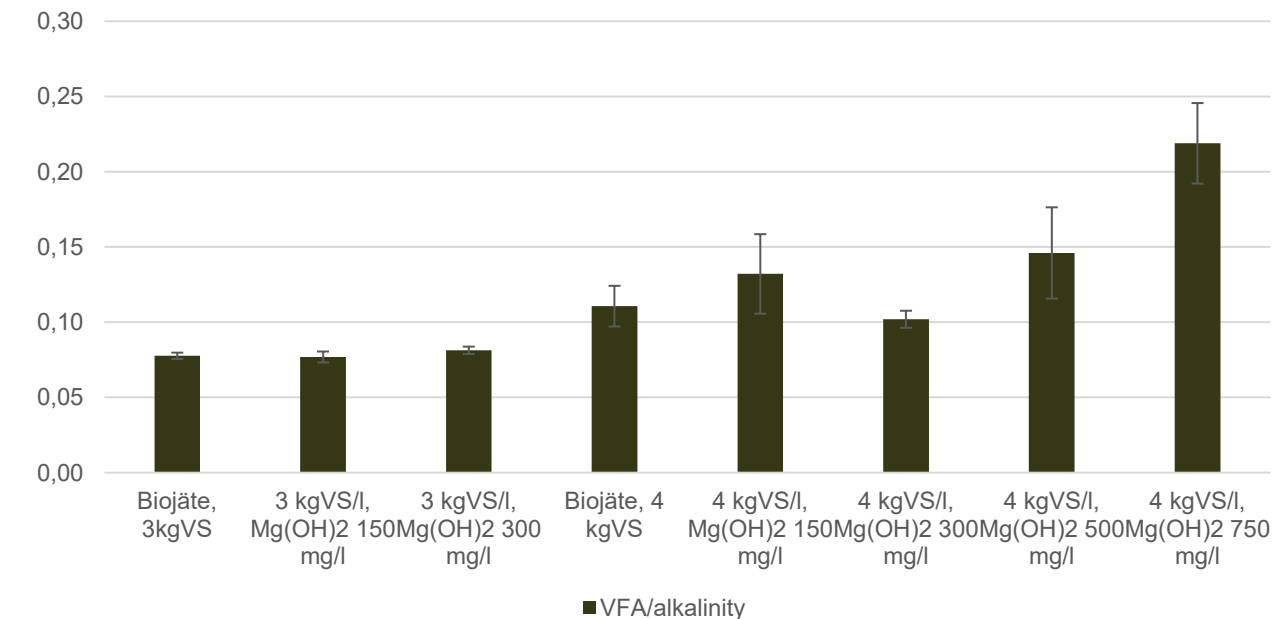
- Siirryttäessä kuormituksesta 3 kgVS/m³d kuormitukseen 4 kgVS/m³d:
 - Syötettäessä pelkällä biojätteellä VFA-pitoisuus nousee noin 600 mg/l.
 - Syötettäessä 150 mg Mg(OH)₂ /l lisällä VFA-pitoisuus nousee noin 1 000 mg/l.
 - Syötettäessä 300 mg Mg(OH)₂ /l lisällä VFA-pitoisuus nousee vain 300 mg/l.
- 4 kgVS/m³d kuormituksella eri Mg(OH)₂ lisäyksien välillä eroja muodostuu.
 - Alhaisimmat VFA-pitoisuudet olivat 300 mg Mg(OH)₂ /l, keskiarvo 2 100 mg/l.
 - 150 mg Mg(OH)₂ /l lisäyksellä VFA-pitoisuus oli n. 2 600 mg/l
 - 500 mg Mg(OH)₂ /l lisäyksellä VFA pitoisuus oli keskiarvolta 2 900 mg/l. Tästä on kuitenkin huomioitavana, että pitoisuus ei ehtinyt kunnolla tasaantua ennen seuraavaa muutosta. Joten se olisi saattanut pidemmällä koejaksolla asettua tätäkin korkeampaan arvoon.
 - 750 mg Mg(OH)₂ /l lisäyksellä VFA pitoisuus oli keskiarvolta 4 500 mg/l. Tämäkään pitoisuus ei ehtinyt kokeen aikana tasaantua.



VFA/Alkaliteetti



VFA/alkaliteetti



vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

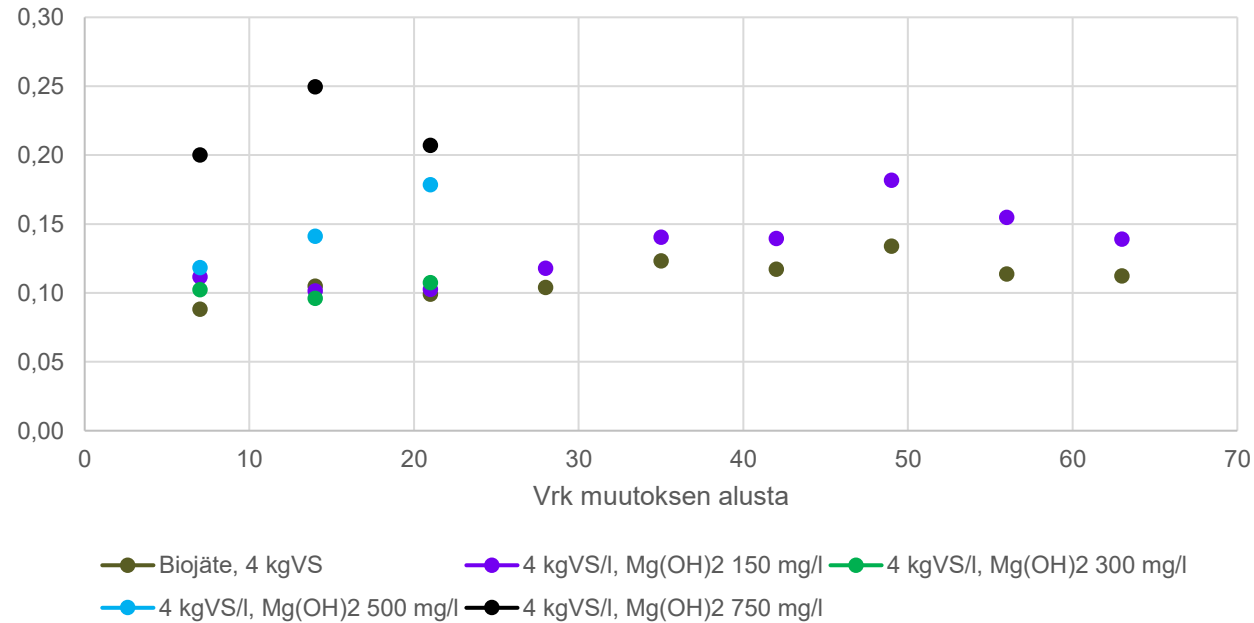
VFA/Alkaliteetti - suhde

- 3 kgVS/m³d kuormituksella VFA/alkaliteetti-suhteessa ei ollut merkittäviä muutoksia. Suhdeluku pysyi 0,08 tasolla kaikissa reaktoreissa. (Tämä on hyvä suhdeluku.)
- VFA/alkaliteetti-suhteen muutokset 4 kgVS/m³d koejaksolla olivat merkittäviä. (Seuraava dia)

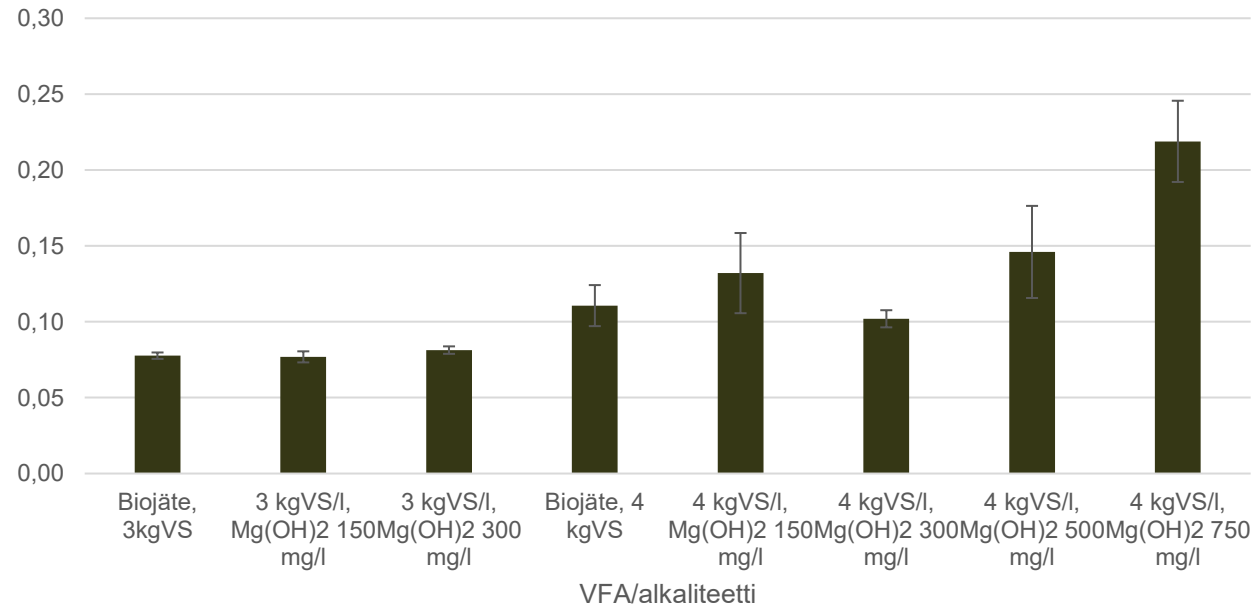
VFA/Alkaliteetti - suhde

- Siirryttäessä kuormituksesta 3 kgVS/m³d kuormitukseen 4 kgVS/m³d, reaktoreiden VFA/alkaliteetti-suhdeluku nousi pysyen kuitenkin vielä erittäin hyvällä tasolla:
 - Syötettäessä pelkällä biojätteellä suhdeluku nousi 0,08:sta 0,11:een.
 - Syötettäessä lisäksi 150 mg Mg(OH)₂ /l suhdeluku nousi 0,08:sta 0,13:een.
 - Syötettäessä lisäksi 300 mg Mg(OH)₂ /l suhdeluku nousi 0,08:sta 0,10:een.
- 4 kgVS/m³d-kuormituksella eri Mg(OH)₂-lisäyksien välillä eroja muodostuu:
 - Alhaisimmat suhdeluvut olivat lisäyksellä 300 mg Mg(OH)₂ /l, keskiarvo 0,10.
 - 150 mg Mg(OH)₂ /l -lisäyksellä suhdeluku oli 0,13.
 - 500 mg Mg(OH)₂ /l -lisäyksellä suhdeluku oli 0,15. Tästä on kuitenkin huomioitava, että pitoisuus ei ehtinyt kunnolla tasaantua ennen seuraavaa muutosta, joten suhdeluku olisi saattanut pidemmällä koejaksolla asettua korkeampaan arvoon.
 - 750 mg Mg(OH)₂ /l -lisäyksellä suhdeluku oli 0,22. Tämäkään pitoisuus ei ehtinyt kokeen aikana tasaantua.

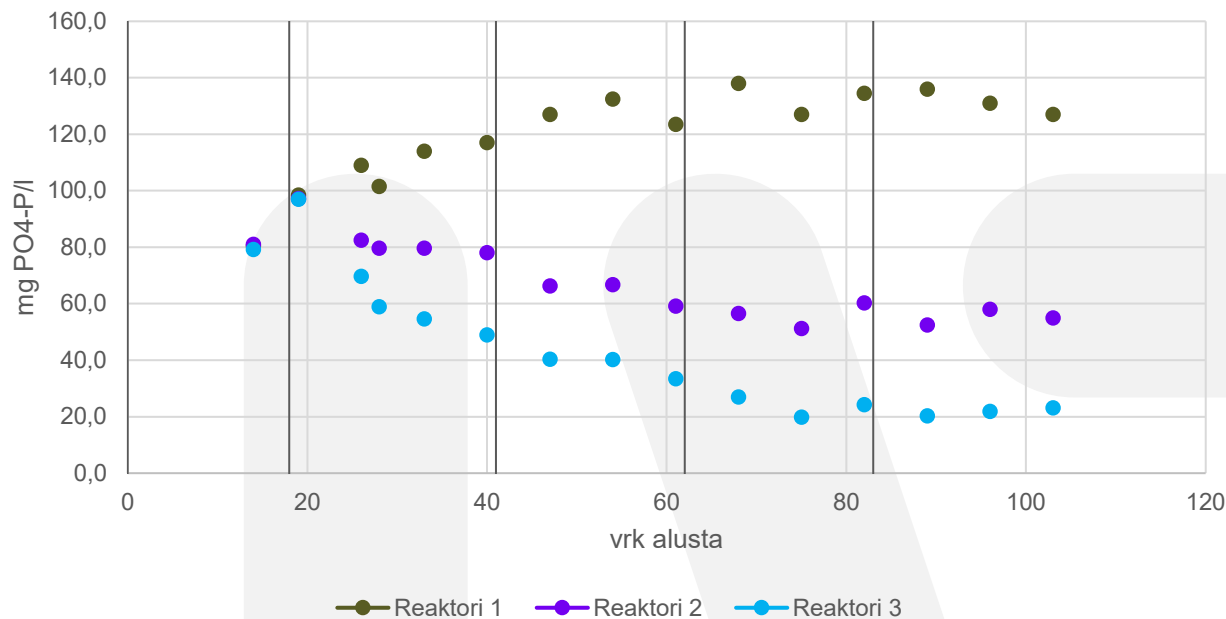
VFA/alkaliteetti



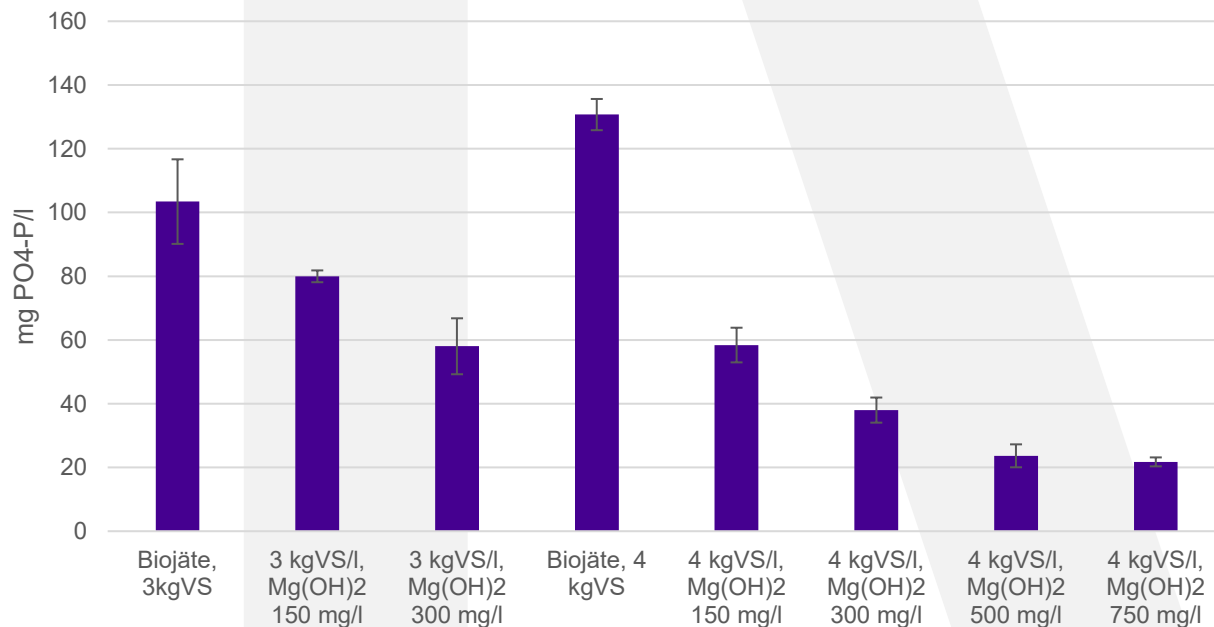
VFA/alkaliteetti



Liukoinen fosfori



Phosphorus soluble



vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

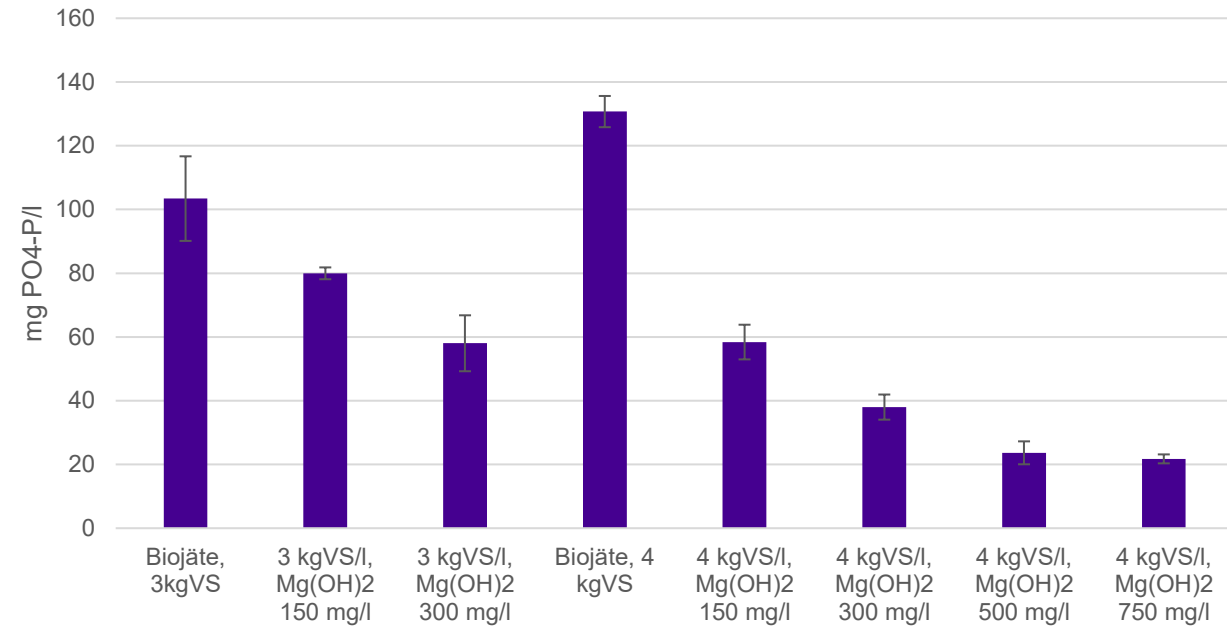
Liukoinen fosfori

- Mg(OH)₂ -lisällä oli merkittävää vaikutusta reaktorin liukoisen fosforin pitoisuuteen.
- 3 kgVS/m³d -kuormituksella, 150 mg Mg(OH)₂ /l lisällä liukoisen fosforin määrä laski 22 %, 300 mg Mg(OH)₂ /l lisäyksellä jopa 44 %.
- Kuormitusta nostettaessa ilman Mg(OH)₂ -lisäystä liukoisen fosforin määrä kasvoi 26 %.

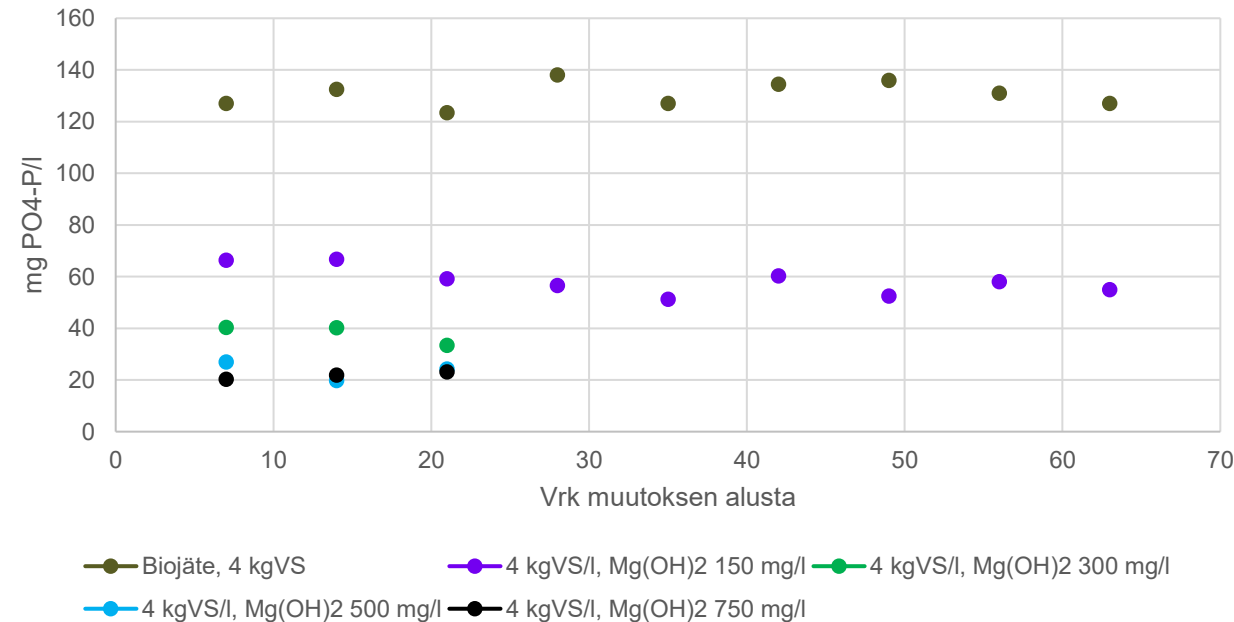
Liukoinen fosfori

- Tarkasteltaessa 4 kgVS/m³d -kuormitusta pelkällä biojätteellä liukoisen fosforin määrä oli 130 mg PO₄-P/l.
- 150 mg Mg(OH)₂ /l -lisällä liukoisen fosforin määrä pieneni 55 % verrattuna pelkällä biojätteellä syötettyyn reaktoriin.
- 300 mg Mg(OH)₂ /l -lisällä liukoisen fosforin määrä pieneni 71 %...
- 500 mg Mg(OH)₂ /l -lisällä liukoisen fosforin määrä pieneni 82 %...
- 750 mg Mg(OH)₂ /l -lisällä liukoisen fosforin määrä pieneni 83 %...
- Muutokset olivat huomattavissa heti ensimmäisissä analyyseissä, joita reaktoreista tehtiin syötemuutosten jälkeen.

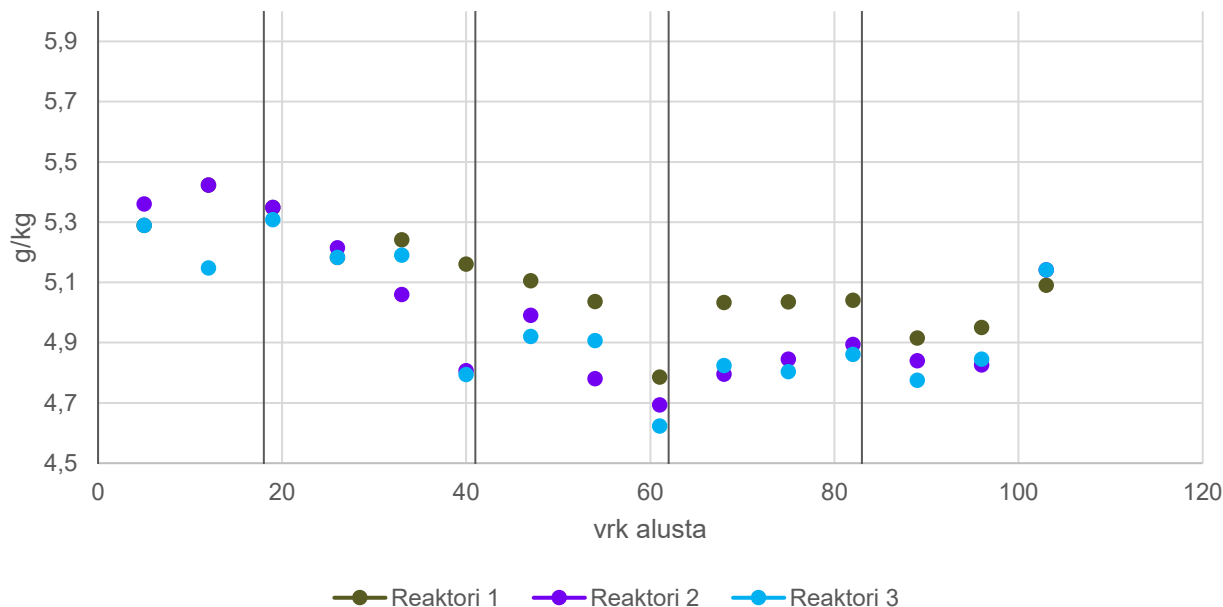
Liukoinen fosfori



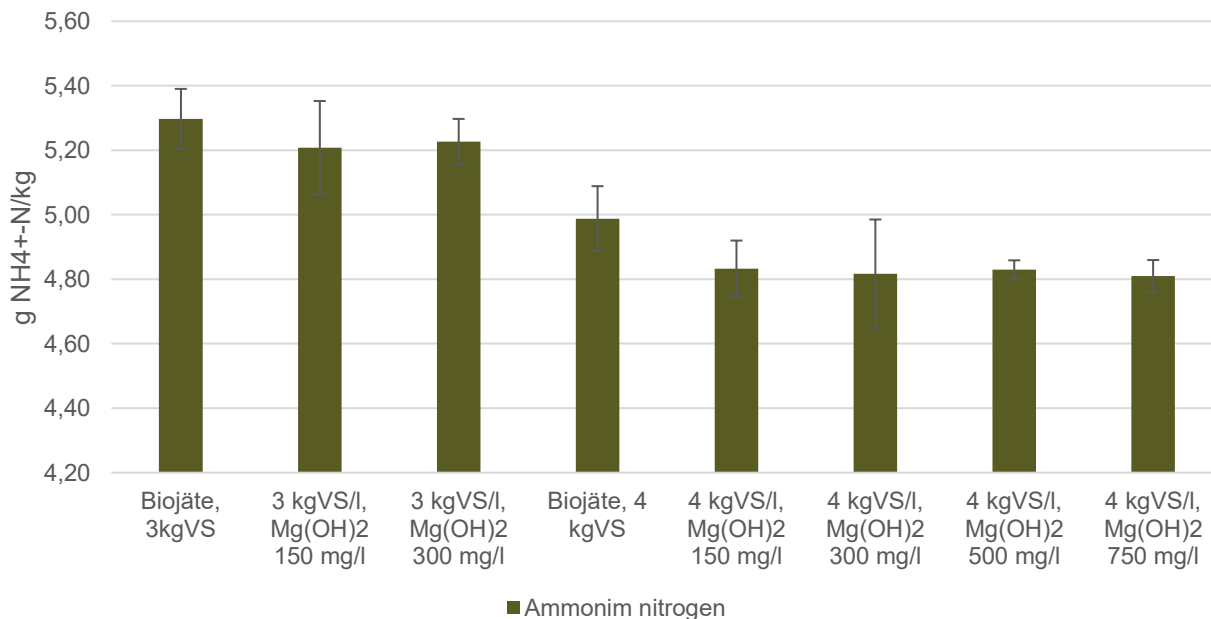
Liukoinen fosfori



Ammoniumtyppi



Ammoniumtyppi



vrk	R1	R2	R3
0-17	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d	3 kgVS/m3d
18-40	-"-	150 mg/l Mg(OH) ₂	300 mg/l Mg(OH) ₂
41-61	4 kgVS/m3d	4 kgVS/m3d 150 mg/l Mg(OH) ₂	4 kgVS/m3d 300 mg/l Mg(OH) ₂
62-82	-"-	-"-	500 mg/l Mg(OH) ₂
83-102	-"-	-"-	750 mg/l Mg(OH) ₂

Ammoniumtyppi

- 3 kgVS/m³d kuormalla, Mg(OH)₂ –lisäykset eivät vaikuttaneet ammoniumtyppipitoisuuteen. Pitoisuus oli jokaisessa reaktorissa n. 5,2 g NH₄⁺-N /kg
- Kuormituksen nosto laski kaikkien reaktoreiden ammoniumtyppipitoisuutta.
- Pelkällä biojätteellä ammoniumtyypin määrä pieneni n. 0,3 g NH₄⁺-N /kg.
- Mg(OH)₂ –lisäystä saavilla reaktoreilla ammoniumtyppipitoisuus pieneni yhtä paljon, n. 0,47 g NH₄⁺-N /kg. Sillä, kuinka paljon reaktori sai Mg(OH)₂ –lisäystä ei ollut merkitystä ammoniumtyppipitoisuuteen.

Johtopäätöksiä

- Kooreaktorit toimivat hyvin koko koejakson ajan, ja kuormitus saatiin nostettua 4 kgVS/m³d:een, mikä on enemmän kuin tutkimuksessa käytetyn ympin ja syötteen alkuperäisen biokaasulaitoksen normaali kuormitus.
- Merkittävin muutos oli liukoisen fosforin määrässä, joka pieneni merkittävästi jo pienemmällä kuormituksella ja pienimmällä Mg(OH)₂-lisäyksellä, ja vaikutus korostui kuormituksen ja magnesiumhydroksidi-annostuksen kasvaessa
- Magnesiumhydroksidin lisäys vaikutti biojätettä syötteenä käyttävän biokaasureaktorin toimintaan, kun reaktoreiden kuormitusta nostettiin pääosin suurentamalla haihtuvien rasvahappojen määrää ja kasvattamalla VFA:n ja alkaliteetin suhdetta. Suhdeluku pysyi kuitenkin maltillisena.
- Magnesiumhydroksidin lisäyksellä ei ollut vaikutusta syntyvän biokaasun määrään, mutta rikkivetyä vapautui vähemmän Mg(OH)₂-lisätyistä reaktoreista. Rikkivedyn määrä kokonaiskaasumäärään verrattuna oli pieni.