



mat i cirkulära ro-  
busta system

# Slutrapport



## Systemutveckling av lokala sorterande avloppssystem

2023-03-22

MACRO 3 är ett Vinnovafinansierat aktörsöver-  
skridande projekt med målsättningen att skapa  
förutsättningar för införande av sorterande av-  
loppssystem i storstad



## mat i cirkulära robusta system

### MACRO 3

**Löptid:** 2020–2022

Projektet **Mat i cirkulära robusta system** (MACRO) är ett Vinnova steg 3-projekt. Vi dokumenterar processer för utveckling av källsorterande system i urban miljö genom att sammanställa erfarenheter från systemet som byggs och tas i drift under våren 2020 i Oceanhamnen i Helsingborg och applicerar det i planering och projektering av system som ska utvecklas för Norra Djurgårdsstaden (Louden) i Stockholm och Visborg i Visby.

Hemsida: [www.macrosystem.se](http://www.macrosystem.se)

### Partners



### Med stöd av



### MACRO 3

**Kontaktperson:** Maria Lennartsson, projektledare

**Kontaktuppgifter:** maria.lennartsson@extern.stockholm.se

[www.macrosystem.se](http://www.macrosystem.se)

**Omslagsfoto:** Stockholm Vatten och Avfall

# Sammanfattning

Projektet Mat i cirkulära robusta system (MACRO) är ett Vinnova steg 3-projekt. Projektet MACRO består av totalt fyra arbetspaket. Denna rapport sammanställer arbetspaket 3 (AP3), Systemutveckling och projektering. I AP3 sammanställs processer för utveckling av källsorterande system i urban miljö och har dokumenterats genom att sammanställa erfarenheter från systemet som byggs och tas i drift under våren 2020 i Oceanhamnen i Helsingborg och applicerar det i planering och projektering av system som ska utvecklas för Norra Djurgårdsstaden (Louden) i Stockholm och Visborg i Visby. De medverkande inom AP3 är VA-organisationerna i Helsingborg, Stockholm och Visby.

Inom AP3 har även ett kommunikations- och förankringsarbete genomförts genom ett antal studiebesök och medverkande i olika nätverksaktiviteter. Arbetsmöten har också genomförts i olika grupperingar och med olika grupper av deltagare från Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA), Region Gotland, DHI, Sweco och Tyréns. Studiebesöken har gett deltagarna stora insikter och förbättrad kunskap inom området sorterande avloppssystem. Tester av olika återföringstekniker har genomförts i RecoLab (NSVA - Helsingborg) och tillsammans med Luleå tekniska universitet (Stockholm Vatten och Avfall).

## Helsingborg, Oceanhamnen

Drivkraften i Helsingborg har varit höga miljökrav samt önskan om att tänka nytt. De största nyttorna som först lyftes vad möjlighet till ökad biogasproduktion samt näringsåtervinning. Under projektets gång har frågor om vatten- och energiåtervinning också blivit viktiga.

I Helsingborg har tre-rör-ut konceptet implementerats vilket är ett källsorterande avloppssystem. Konceptet innebär i stället för traditionella avlopps- och insamlingssystem byggs Oceanhamnen i Helsingborg med tre separata avloppsledningar (svartvatten/gråvatten/matavfall) implementerats. Inkluderat i detta finns vakuumsystem för transport av svartvatten samt matavfallskvarnar som leds i ett separat rör. Området Oceanhamnen kommer fullt utbyggt motsvara ca 2500 person ekvivalenter och de första boende flyttade in i mars 2020. I Helsingborg fortsätter projektet med utbyggnad av Oceanhamnens etapper samt planer på att implementera källsorterat avlopp i en ny stadsdel i utkanten av Helsingborg, Östra Ramlösa, för ca 10 000 boende.

## Visby, Visborg

Region Gotland har flera konkreta mål kring kretslopp och källsortering i de visioner och mål som berör den allmänna VA-försörjningen. När det blev dags att utveckla bostäder och verksamheter i Försvarsmaktens tidigare område, P18 söder om Visby, har visioner och mål börjat konkretiseras i en skala som inte tidigare varit aktuell på Gotland. I det planerade Visborgsområdet ska 4000 nya bostäder samt verksamheter anslutas till ett källsorterande spillvattensystem där svartvatten samlas upp med vakuumtoaletter medan gråvatten är tänkt att ledas bort med självfall.

På Gotland är den största utmaningen den begränsade tillgången till sötvatten. Därför är huvudsyftet med ett källsorterande spillvattensystem i Visborg att spara dricksvatten och att hitta sätt att recirkulera vatten. Detta är tänkt att förverkligas genom att bygga ett gråvattenreningsverk dit gråvattnet från hela Visborgsområdet ska ledas och renas till dricksvattenkvalitet. Dessutom ska vakuumtoaletter hålla nere mängden spolvatten.

Region Gotland har tydliga politiska beslut kring källsorterande system i Visborg med sig och ett flertal utredningar har genomförts som grund för olika vägval. Många steg återstår ännu innan ett system med

källsortering kan vara i drift men förhoppningen är att en första etapp av ledningsnätet kan börja byggas ut under år 2024 och att därefter kunna inleda utvärdering av gråvattenrening i pilotskala.

### **Stockholm, Loudden**

SVOA har inom ramarna för MACRO 3-projektet och arbetspaket 3 (AP3) undersökt möjligheterna att öka återföringen av olika produkter från avloppsvatten i ett planerat exploateringsområde i Loudden. Området är en del av stadsbyggnadsprojektet Norra Djurgårdstaden där det finns möjlighet att införa ett mer lokalt sorterande avloppssystem (LSA). Ett LSA-system återför eller använder lokalt, nära brukaren, olika produkter från avloppsvatten.

De stora utmaningarna inom avloppsreningen framåt för SVOA är framför allt den stora mängd (ca 40%) tillskottsvatten som når dagens reningsverk. För ledningsnätet är utmaningen även den ökade mängden bräddningar. Framtida myndighetskrav handlar om bättre total energieffektivitet och exempelvis läkemedelsrening. En övergripande målsättning med ett LSA-system i Stockholm är därför att systemet bör prestera bättre än nuvarande centrala avloppsrening samt anpassas för framtida myndighetskrav. Detta innebär bland annat högre grad av biogasproduktion, högre grad av användning av värme i avloppsvattnet, högre återföring av näringsämnen, högre självförsörjandegrad och mindre energianvändning och kemikaliebehov för behandlingsstegen. Även mängden och därmed kostnaden för underhåll och reinvesteringar i anläggningen bör över tid vara lika eller gärna mindre.

Inom AP3 har studier genomförts kring hur ett helt nytt avloppssystem kan byggas i Loudden. Stort fokus har varit på transportsystem samt hur en lokal näringsfabrik kan fungera. Under projektets gång har det även blivit känt att stiftelsen Hammarby sjöstadsverket flyttar sin verksamhet till platsen för gamla Loudens reningsverk. Anläggningen kommer att vara färdigställd under år 2023.

Etableringen av Hammarby sjöstadsverket i området ger mycket goda möjligheter att fortsätta utveckla teknik inom LSA-området samt bidrar på sikt till möjlig export av svensk vattenteknik inom området. En intressant nytta med ett LSA-system i Loudden för SVOA är att det nuvarande avloppssystemet inte påverkas. Fullt utbyggt skulle Loudden inte belasta det befintliga systemet över huvudtaget. Denna utveckling ger i sin tur stora fördelar vid utbyggnad av andra framtida bostadsområden och minskar behovet av ökad kapacitet i avloppsledningsnätet samt de centrala avloppsreningsverken.

SVOA konstaterar även att det pågår en stor teknikutveckling inom området. Troligen kommer det inom en snar framtid att finnas än bättre autonoma lösningar än de som beskrivs i AP3 där även svartvatten kan omhändertas närmare brukaren. En utmaning med autonoma lösningar är hur nyttorna i avloppsprodukterna används på bästa vis.

### **Arbetet har genomförts av en arbetsgrupp bestående av:**

Tommy Giertz, Stockholm Vatten och Avfall (projektledare)

Amanda Widén, Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp

Louise Ringqvist, Region Gotland

Susanne Pettersson, Region Gotland

Åsa Flydén, RISE

Respektive deltagare är författare och ansvarig för innehållet av respektive huvudkapitel.

Caroline Eliasson från Sweco har sammanställt rapporten.

**Dessutom har följande övriga medarbetare och konsulter medverkat i arbetet:**

Kristina Stark Fujii, Stockholm Vatten och Avfall

Max Alm, Stockholm Vatten och Avfall

Mikael Eriksson, Stockholm Vatten och Avfall

Mats Ohlsson, Stockholm Vatten och Avfall

Lennart Andersson, DHI

Lennart Berglund, Tyréns

Tore Strandberg, Tyréns

Ida Gustafsson, Sweco

Karin Book Emilsson, Sweco

Elisabeth Kvarnström, Luleå tekniska universitet

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>8</b>
1.1	Bakgrund .....	9
1.1.1	<i>Nyttigheter från källsorterade system.....</i>	<i>10</i>
1.1.2	<i>Fördelning av vattenanvändningen enligt Svenskt Vatten .....</i>	<i>12</i>
1.2	Syfte och mål.....	12
1.3	Ordlista .....	13
<b>2</b>	<b>Helsingborg .....</b>	<b>15</b>
2.1	Områdesbeskrivning - Helsingborg.....	15
2.2	Vision och mål .....	16
2.2.1	<i>Miljöprofil .....</i>	<i>16</i>
2.2.2	<i>EVAA-projektet.....</i>	<i>18</i>
2.3	Beslutsprocess .....	19
2.4	Kommunikation och förankring.....	20
2.5	Tekniska vägval.....	20
2.5.1	<i>Ledningsnät och pumpstation .....</i>	<i>20</i>
2.5.2	<i>Teknikspecifikation – Oceanhamnen etapp 1 .....</i>	<i>21</i>
2.5.3	<i>Transportfickor .....</i>	<i>21</i>
2.5.4	<i>Rensbrunnar/tillsynsbrunnar .....</i>	<i>23</i>
2.5.5	<i>Avstängningsventiler .....</i>	<i>23</i>
2.5.6	<i>Centrala pumpstationen .....</i>	<i>24</i>
2.5.7	<i>Erfarenheter och lärdomar .....</i>	<i>24</i>
2.5.8	<i>Återvinningsanläggning .....</i>	<i>25</i>
2.5.9	<i>Installerad processteknik.....</i>	<i>27</i>
2.5.10	<i>Erfarenheter och resultat.....</i>	<i>29</i>
2.5.11	<i>Ekonomi .....</i>	<i>31</i>
2.6	Fortsättning Källsorterat avlopp i Helsingborg? .....	31
<b>3</b>	<b>Visby .....</b>	<b>33</b>
3.1	Områdesbeskrivning - Visborg.....	33
3.2	Vision och mål .....	34
3.2.1	<i>Vårt Gotland 2040 – regional utvecklingsstrategi för Gotland ..</i>	<i>34</i>
3.2.2	<i>Regionen Gotlands styrmodell .....</i>	<i>34</i>
3.2.3	<i>Vision och strategi för Gotlands VA-försörjning 2030 .....</i>	<i>35</i>
3.3	Beslutsprocess .....	36
3.3.1	<i>Den politiska processen .....</i>	<i>36</i>
3.4	Kommunikation och förankring.....	37
3.4.1	<i>Förvaltningen.....</i>	<i>37</i>
3.4.2	<i>Exploatörer och allmänhet .....</i>	<i>38</i>
3.5	Tekniska vägval.....	39
3.5.1	<i>Utredningar ledningsnät .....</i>	<i>40</i>

3.5.2	<i>Förstudie huvudledningsnät</i> .....	44
3.5.3	<i>Behandlingsanläggning</i> .....	48
3.5.4	<i>Ekonomi</i> .....	49
<b>4</b>	<b>Stockholm</b> .....	<b>50</b>
4.1	Områdesbeskrivning - Norra Djurgårdsstaden .....	50
4.1.1	<i>Tidigare MACRO-projekt</i> .....	51
4.2	Vision och mål .....	52
4.2.1	<i>Vision och mål – Norra Djurgårdsstaden</i> .....	52
4.2.2	<i>MACRO 3</i> .....	53
4.3	Beslutsprocess .....	55
4.4	Kommunikation och förankring.....	58
4.4.1	<i>Inom Norra Djurgårdsstaden-projektet</i> .....	58
4.4.2	<i>Inom Stockholm Vatten och Avfall</i> .....	58
4.4.3	<i>Annan förankring och erfarenhetsutbyte</i> .....	58
4.4.4	<i>Omvärldsanalys</i> .....	59
4.5	Tekniska vägval .....	63
4.5.1	<i>Teknisk utveckling och utmaningar</i> .....	63
4.5.2	<i>Utmaningar för ett LSA - självfallssystem</i> .....	65
4.5.3	<i>Påverkan av teknikvalet i näringsfabriken beroende på flödet</i> .	66
4.5.4	<i>Behandlingstekniker för resursåtervinning i LSA-systemet</i> .....	67
4.5.5	<i>Produkter från näringsfabriken</i> .....	71
4.5.6	<i>Självförsörjande näringsfabrik</i> .....	72
4.5.7	<i>Ekonomi</i> .....	73
4.6	Möjlig utformning av ett LSA i Louden .....	75
4.6.1	<i>Hammarby sjöstadsverket</i> .....	75
4.6.2	<i>Utformning av ett LSA-system med dagens existerande teknik</i>	76
4.6.3	<i>Marknadsanalys - vakuumsystem</i> .....	78
4.6.4	<i>Förslag på utformning av näringsfabrik</i> .....	83
4.7	Stockholm Vatten och Avfalls roll.....	85
4.8	Retrofittlösningar .....	86
	<b>Referenser</b> .....	<b>87</b>
<b>5</b>	<b>Bilagor</b> .....	<b>91</b>
	Bilaga 1 .....	91
	Bilaga 2.....	95
	Bilaga 3.....	105
	Bilaga 4.....	108
	Bilaga 5.....	110
	Bilaga 6.....	118
	Bilaga 7.....	136
	Bilaga 8.....	149



# 1 Inledning

Projektet Mat i cirkulära robusta system (MACRO) är ett Vinnova steg 3-projekt. MACRO kommer att dokumentera processer för utveckling av källsorterande system i urban miljö genom att sammanställa erfarenheter från det system som byggs och i drift tas under våren 2020 i Oceanhamnen i Helsingborg och applicera det i planering och projektering av system som ska utvecklas för Norra Djurgårdsstaden (Loud- den) i Stockholm och Visborg i Visby. Projektet MACRO består totalt av fyra arbetspaket, där denna rapport behandlar arbetspaket 3 (AP3). AP3 syftar till att beskriva samt utveckla möjligheterna till att bygga lokala sorterande avloppssystem (LSA-system) i tre faktiska exempel. De medverkande är VA-organisationerna i Helsingborg, Stockholm och Visby. Av naturliga skäl har de tre städerna hunnit olika långt i arbetet med LSA-system och därför har arbetet i huvudsak haft följande inriktningar under respektive avsnitt i rapporten:

- Helsingborg:

Arbetet har bestått i att driftsätta den första etappen av Oceanhamnen. Avsnittet består i huvudsak av erfarenheter från driftsättningen och den första tiden av operativ drift.

- Visby:

I Visby ska stadsdelen Visborg byggas med LSA-system. Motivet för Region Gotland är att framför allt minska vattenanvändningen. Avsnittet redovisar arbetet med planering av stadsdelen.

- Stockholm:

Från början var inriktningen att planera ett LSA-system i en av etapperna av Norra Djurgårdsstaden, i delen Södra Värtan. Etappen drabbades dock av förseningar och fokus för planeringen är i stället på etappen Loud- den. I Loud- den planeras ca 4000 bostäder samt även lokaler för kontor, skolor och handel. Avsnittet tar upp de utmaningar som Stockholm Vatten och Avfall arbetat med i projektet.

AP3 består av två huvuddelar:

- *Del A (del 3.1 i MACRO 3) - Systemutveckling och projektering*

Syfte: att ta fram en systemdesign och identifiera fortsatt utvecklingsbehov för fullskaligt system i Stockholm och Visby

- *Del B: (del 3.2 i MACRO 3) - Kommunikation och förankring*

Syfte: Förutom att tekniskt utforma systemet krävs en förankring av system- och teknikval i organisationen.

Inom AP3 har även ett kommunikations- och förankringsarbete genomförts genom ett antal studiebesök och medverkande i olika nätverksaktiviteter. Arbetsmöten har också genomförts i olika grupperingar och med olika grupper av deltagare från Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp (NSVA), Sweco, Region Gotland, DHI och Tyréns under perioden år 2019 till år 2022.



### **Följande fysiska studiebesök har genomförts:**

- Oceanhamnen, Helsingborg
- Sneek, Nederländerna
- Eicher See, Darmstadt, Tyskland
- Munga, Västerås
- Klosterenga, Oslo
- Fabriksbesök Roediger, Frankfurt, Tyskland
- Jenfelder Au, Hamburg, Tyskland
- SLU, Uppsala
- Bornsjön, Stockholm

Studiebesöken har gett de medverkande god kunskap kring olika möjligheter att transportera och återföra olika avloppsfraktioner från LSA-system.

## **1.1 Bakgrund**

I ett avloppsledningsnät drivs transporten av föroreningar traditionellt till stora delar med självfall. Beroende på vilket avloppssystem som finns i staden, kombinerat eller duplicerat, transporteras mer eller mindre allt avloppsvatten i en eller två ledningar. Avloppsvattnet innehåller på grund av läckande rör, felkopplingar och annat en stor mängd renare vatten från till exempel grundvatten, läckande dricksvatten och påverkan av närliggande sjöar och vattendrag. Delar av avloppsvattnet är alltså ursprungligen tämligen rent.

En grundtanke i ett LSA-system är att redan från början (gärna i den enskilda bostaden eller liknande) dela upp avloppsvattnet i olika fraktioner och på så vis kunna anpassa och effektivisera reningen men även öka möjligheten till användning av de tidigare sedda restprodukterna. Ett LSA-system bör även återföra värmeenergi som finns i avloppsvatten. En utmaning är samtidigt att minska vattendelarna i de olika fraktionerna för att göra återföringsprocessen effektivare. Utgående från vad som transporteras till dagens centrala avloppsreningsverk så kan typiska sorterade avloppsfraktioner vara:

- Svartvatten – avloppsvatten från toaletter
- Urin – avloppsvatten med enbart urin
- Gråvatten – avloppsvatten från disk, dusch och handfat
- Kvarnat matavfall – avloppsvatten från avfallskvarnar
- Dagvatten – regnvatten från tak och gator m.m.
- Dräneringsvatten – avloppsvatten från husdränering eller områdesdränering

### 1.1.1 Nyttigheter från källsorterade system

I ett källsorterande system kan nyttigheter som kväve och fosfor återföras, jämfört med ett konventionellt avloppsverk är det framför allt kväve som kan återföras i större mängd än vad som görs idag. Andra nyttigheter är möjligheter för biogasproduktion och återanvändning av renat vatten till t.ex. bevattning.

En stark drivkraft för att källsortera avlopp är att behålla näringsämnen i en koncentrerad fraktion. För jämförelse återges i Tabell 1-1 ungefärliga koncentrationer som kan förväntas i olika avloppsfractioner. I kommunalt avloppsvatten är ämnen mer utspädda än i källsorterade system med vakuum eller snålspolande toaletter. I Tabell 1-2 presenteras en jämförelse mellan konventionellt och källsorterande system med avseende på biogasproduktionen. De olika studierna visar en variation i biogasproduktion i jämförelse, men övervägande ger källsorterande system en högre produktion.

Tabell 1-1. Ungefärliga koncentrationer i olika avloppsfractioner. n.d. = ingen data anges (SVOA, 2022).

	TS-halt, mg TSS/L	mg COD/L	mg N/L	mg NH <sub>4</sub> -N /L	mg P/L	mg PO <sub>4</sub> -P/L
Kommunalt avloppsvatten (Sverige) <sup>1,2</sup>	<<1% TS	200	30 – 40	25 – 30	5 – 7	n.d.
Kommunalt avloppsvatten (internationellt) <sup>5</sup>	250 – 600 mg TSS/L	500 – 1 200	30 – 100	20 – 75	6 – 25	n.d.
Kvarnat matavfall (Sverige) <sup>3</sup>	1–3% TS	30 000 – 60 000	500 – 1 300	n.d.	100 – 200	n.d.
Svartvatten (vakuum, Sverige) <sup>3</sup>	1% TS	8 000 – 10 000	1 300	1 100	150	130
Svartvatten (vakuum, Nederländerna) <sup>6</sup>	n.d.	7 700 – 9 800	1 200 – 1 900	850 – 1 400	150 – 220	54 – 79
Gråvatten (internationellt) <sup>5</sup>	1 % TS	620	23	n.d.	8,5	n.d.
Urin (internationellt) <sup>5</sup>	5 % TS	10 000	8 700	n.d.	730	n.d.
Fekalier (internationellt) <sup>5</sup>	23 % TS	155 000	7 500	n.d.	3 000	n.d.
Effluentvatten UASB (svartvatten + matavfall) <sup>4</sup>	<1% TS	1 000	1 000	800	100	90
Effluentvatten UASB (svartvatten, Nederländerna) <sup>6</sup>	n.d.	1 200 – 2 400	1 200 – 1 800	1 000 – 1 500	94 – 130	69 – 92
Effluentvatten AnMBR (kommunalt avloppsvatten, Japan) <sup>7</sup>	n.d.	30 – 130	31 – 50	32 – 36	5,4 – 7,1	n.d.
Svartvatten (snålspolande toaletter) <sup>8</sup>	1 800 mg TSS/L	5 000	990	n.d.	110	n.d.

- 1) Lindquist (2003)
- 2) Stockholm Vatten (2016)
- 3) Jönsson et al. (2005)
- 4) STOWA (2014)
- 5) Ostermeyer, P., Capson-Tojo, G., Hülsen, T., Carvalho, G., Oehmen, A., Rabaey, K. & Pikaar, I. (2022). Resource recovery from municipal wastewater: what and how much is there? *Resource Recovery from Water: Principles and Application*. Pikaar, I., Guest, J., Ganigué, R., Jensen, P., Rabaey, K., Seviour, T., Trimmer, J., van der Kolk, O., Vaneckhaute, C. & Verstraete, W. [https://doi.org/10.2166/9781780409566\\_0001](https://doi.org/10.2166/9781780409566_0001)
- 6) De Graaff, M.S., Temmink, H., Zeeman, G. & Buisman, C.J.N. (2010). Anaerobic Treatment of Concentrated Black Water in a UASB Reactor at a Short HRT. *Water* 2010, 2 (1): 101–119. <https://doi.org/10.3390/w2010101>
- 7) Kong, Z. et al. (2021). Large pilot-scale submerged anaerobic membrane bioreactor for the treatment of municipal wastewater and biogas production at 25 °C, *Bioresource Technology*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124123>
- 8) Beräknat från samband mellan kost och utsöndrad mängd N och P. samt antagandet om att toaletter spolas 6,5 ggr per dag med 2 l/spolning. Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D & Kärrman, E. (2005). Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model. <https://www.iea.lth.se/publications/Reports/LTH-IEA-7222.pdf>. FAOSTAT <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>. Jönsson, H., Richert Stinzing, A., Vinnerås, B & Salomon, E. (2004). Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production. [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/ESR\\_Publications\\_2004/ESR2web.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/ESR_Publications_2004/ESR2web.pdf)

Tabell 1-2. Rapporterade nyckeltal för källsorterande och konventionella system. Tabellen baserad på Kjerstadius et al. (2016) och Lehtoranta et al. (2022).

	Remy (2010)	Hillenbrand (2009)	Meinzinger (2010)	STOWA (2014)	Thibodeau (2014)	Kjerstadius et al. (2016)	Lehtoranta et al. (2022) <sup>1</sup>
<b>Biogasproduktion [kWh metan capita<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>]</b>							
Konventionellt system	12,1	-	-	61	121,5	80	39,5
Källsorterande system	44,4	-	-	122	116,5	128	49,2

1) Lehtoranta, S., Malila, R., Särkilahiti, M. & Viskari, E-L. (2022). To separate or not? A comparison of wastewater management systems for the new city district of Hiedanranta, Finland. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112764>. Omräknade värden utifrån antagande att 50 g BOD/dag motsvarar en PE.

### 1.1.2 Fördelning av vattenanvändningen enligt Svenskt Vatten

Svenskt Vatten ([www.svensktvatten.se](http://www.svensktvatten.se)) beskriver att vi i Sverige för närvarande i genomsnitt förbrukar ca 140 liter per person och dygn. Fördelningen av användningen är enligt följande. För denna utredning har ytterligare en fördelning gjorts vad gäller möjlig avloppskategori dit det förbrukade dricksvattnet leds. Dricksvatten som blir svartvatten anges med (S) och dricksvatten som blir gråvatten anges med (G). Fördelningen är intressant som bakgrund till de förändringsmöjligheter som finns med sorterande avloppssystem.

- 60 liter för personlig hygien. (G)
- 30 liter för toalettspolning. (S)
- 15 liter för disk. (G)
- 15 liter för tvätt. (G)
- 10 liter för mat och dryck. (G 80%) (S 20%)
- 10 liter övrigt. (G 80%) (S 20%)

Sammantaget fördelas normalanvändningen i Sverige av svartvatten och gråvatten ungefär enligt följande:

Gråvatten  $60+15+15+8+8 = \text{ca } 106 \text{ l}$  eller ca 76%

Svartvatten  $30+2+2 = \text{ca } 34 \text{ l}$  eller ca 24 %

Andelen svartvatten och/eller gråvatten i ovanstående uppskattning kan användas för att beräkna den mängd vatten som **inte** leds till det centrala avloppsreningsverket i framtiden.

## 1.2 Syfte och mål

AP3 omfattar dels systemutveckling och projektering av ett fullskaligt system i Stockholm och Visby. Aktiviteter omfattar bl.a. systemdesign, projektering av uppsamlingssystem, innovationstävling alt. upphandling av teknik för vakuumsystem och fastighetsnära värmeåtervinning. Tester kommer bl.a. omfatta uppkoncentrerings och användning av växtnäring i kombination med biokol samt utveckling av idéer för behandling av flöden som kan testas i pilotskala i RecoLab samt att identifiera fortsatt utvecklingsbehov.

Den andra huvuddelen är att förankra system- och teknikval i de egna organisationerna. Aktiviteter omfattar bl.a. en studieresa till Helsingborg, kompetensutveckling genom workshops och vidareutveckling av andra beslutsunderlag, t.ex. samhällsekonomisk analys.

### 1.3 Ordlista

Emellanåt används en rad olika begrepp inom lokalt sorterande avloppssystem (LSA-system) på olika vis. I Tabell 1-3 är vanligt förekommande begrepp i rapporten sammanställd med begreppets betydelse.

Tabell 1-3. Ordlista.

Begrepp:	Förklaring av begrepp:
Aerob zon	Med syre
Anaerob zon	Utan syre
AnMBR	Anaerob membranbioreaktor
Bar	Enhet för tryck
Bräddning	När spillvattensystemet inte fungerar släpps spillvattnet till annat system (eller recipient)
Dagvatten	Dagvatten är regn- och smältvatten som rinner från ytor såsom hustak, vägar, parkeringsplatser och stenläggningar etc.
EVAA	Energi, vatten, avlopp och avfall
Friktionsförluster	Motstånd i ledning ger tryckfall när luft eller vatten strömmar genom ledningen. Trycket från en pump, eller vakuumpump motsvarar tryckfallet av friktionsförlusterna plus lyfthöjden av vätskan eller luften
Gråvatten	Bad-, disk- och tvättvatten. Benämns även som BDT-vatten
Grönvatten	Matavfall som kvarnats i hushållskvarn till spillvatten
GYF	Grönytefaktor
Kvarnat matavfall	Se Grönvatten
Klosettwater	Toalettwater eller svartwater
LAV	Lagen om allmänna VA-tjänster
LSA-system	Lokalt sorterande avloppssystem
pe	Person ekvivalent
Spillwater	Avloppsvatten från hushåll
Svartwater	Avloppsvatten från toaletter. Benämns även klosettwater
Självfäll	Avloppssystem där ledningarna lutar och avloppsvattnet rinner mha gravitation
Tre-rör-ut konceptet	Tre-rör-ut är namnet på det världsunika källsorterande avloppssystem som byggs i stadsdelen Oceanhamnen i Helsingborg. Tre-rör-ut konceptet innebär i stället för traditionella avlopps- och insamlingsystem byggs Oceanhamnen med tre separata avloppsledningar.
Tryck	Genereras av pump. Vatten transporteras från högre tryck till lägre. Mäts i Bar, Pascal eller meter vätskepelare (mvp)

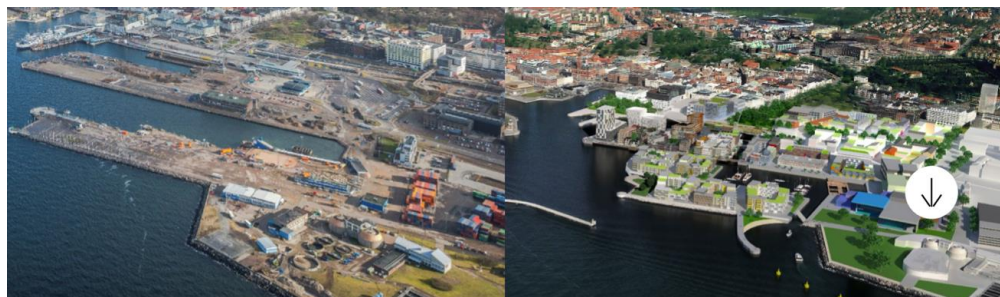
Tryckledning	Vatten transporteras uppför i en tryckledning. Tryckledningen trycksätts av en pump i där tryckledningen börjar eller en vakuumpump där tryckledningen slutar
TS	Torrsubstanshalt; mängd fast innehåll i spillvatten. Anges i %. I traditionellt spillvatten är TS-halten lägre än 1%
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket reactor
Utvinna	att få ut ämnen ur matrisen (slammet, askan, vattnet o.s.v.)
Vakuum	(Absolut vakuum) 10 m lägre tryck än atmosfärstrycket
Vakuumpump	Pump som ger undertryck
Återvinna	att utvinna och produktifiera ämnena (d.v.s. få dem i en form som sedan kan användas, så att de kan återföras)
Återföra	verklig återföring av ett ämne tillbaka till ex jordbruksmark (detta steg har VA-huvudmannen normalt inte självständig rådighet över). Ibland nyttjas ordet återanvända, och då handlar det ofta om en produkt som kan återanvändas, till exempel en tröja, ett läkemedel, en flaska

## 2 Helsingborg

Helsingborgs slogan är – staden för dig som vill något. Det avspeglar sig i stadens innovations vilja och driv i att tänka nytt. Vid starten av stadsförnyelseprojektet H+ sattes höga mål på hållbarhet och nytänkande. Resultatet blev bland annat ett källsorterat avloppssystem med möjlighet att återvinna näringsämnen, energi och vatten.

### 2.1 Områdesbeskrivning - Helsingborg

H+ är det största stadsförnyelseprojektet i Helsingborg i modern tid. Projektet H+ innefattar ungefär en miljon kvadratmeter som idag framför allt är hamn- och industriområde som ska förtätas och utvecklas till en attraktiv och integrerad del av staden till år 2035. Området Oceanhamnen är den första delen av denna omvandling och är placerad i det mest centrala delarna av Helsingborgs hamn, som ligger intill centralstationen. Oceanhamnen kommer att innefatta både bostäder, kontor, verksamhets- och serviceytor. Omräknat kommer belastningen på avloppssystemet motsvara 2500 personekvivalenter vid fullständig utbyggnad. Se Figur 2-1 för utvecklingen av Oceanhamnen.



Figur 2-1. Jämförelse över området 2013 (tv) och en visionsskiss över Oceanhamnen 2025. Bild: Helsingborg stad

Tre-rör-ut är namnet på det världsunika källsorterande avloppssystem som byggs i stadsdelen Oceanhamnen i Helsingborg. Genom att källsortera avloppsvattnet fås en ökad biogasproduktion, näringsämnen återvinns och läkemedelsreningen energieffektiviseras. Konceptet tre-rör-ut innebär i stället för traditionella avlopps- och insamlingsystem byggs Oceanhamnen med tre separata avloppsledningar:

- en för svartvatten (toalett)
- en för gråvatten (bad, dusch, tvätt)
- och en för matavfall (via köksavfallskvarn).



## 2.2 Vision och mål

Från starten år 2011 har ett starkt hållbarhetsfokus varit centralt för H+ projektet. Flertalet styrdokument är kopplade till arbetet med hållbar stadsutveckling. Ett av dessa är H+ Miljöprofil (2016), som genom fem fokusområden ska stötta och vara ett verktyg för att implementera ett genomgående hållbarhetstänk i H+ projektet och dess faser (planera, bygga och förvalta).

Det blev tydligt att för att uppnå målen i Miljöprofilen behövdes en samsyn i energi-, vatten-, avlopp- och avfallsfrågor (EVAA). Därför sammankopplades under 2012 de tre lokala bolagen Öresundskraft (Energi), NSVA (Vatten och Avlopp) och NSR (Avfall) genom EVAA-projektet. Projektets uppgift var att hitta synergier för ökad hållbarhet mellan de medverkande parterna som kunde förverkligas inom H+. I EVAA-projektet föddes idén om källsortering av avloppet samt malt matavfall. Då resultaten pekade på att en källsorterad VA-lösning skulle bidra med stora miljöfördelar föreslog projektgruppen i sin slutrapportering att Helsingborg borde gå vidare med förslaget; separerat avlopp för svartvatten och köksavfallskvarn. Helsingborg Stad valde att följa det förslaget och gav H+ projektets styrgrupp i uppgift att gå vidare med idén. Denna styrgrupp myntar senare uttrycket tre-rör-ut som blir namnet på konceptet i Helsingborg.

### 2.2.1 Miljöprofil

Sedan början har projektet H+ haft en uttalad vision om långsiktigt hållbar stadsutveckling och i och med detta togs en Miljöprofil fram. Miljöprofilen skulle fungera som ett stöd och ge en riktning för alla medverkande aktörer i det fortsatta arbetet med projektet. Miljöprofilen tar upp fem fokusområden:

#### Resurseffektiv stad

- Med ny teknik och produktion av förnybar energi ger H+ mer energi till staden än vad området förbrukar, vilket bidrar till att göra Helsingborg energieutralt 2035
- 100 procent av energin som används är förnybar
- Klimatpåverkande utsläpp går mot noll
- Hushållningen av naturresurser förbättras och effektiviseras med ett livscykelänkande
- Avfallsåtervinning är effektiv och resursbesparande
- Utnyttjandet av mark och byggnader är yteffektivt

#### Hållbart byggande och hälsosam miljö

- Byggnader i H+ uppnår minst Miljöbygghandboken SYD Bra val, klass b
- Buller och föroreningar från vägtrafik minimeras

- H+ området har en effektiv och välutvecklad logistikhantering för att minska hälso- och miljöpåverkan
- Fordon med renare och förnybara bränslen uppmuntras
- Mark för bostäder saneras till en säker nivå

#### **Tillgänglighet och hållbar urban mobilitet**

- H+ brukaren erbjuds varierande, attraktiva transportlösningar, som inte kräver bil – en mobilitetsportfölj utvecklas
- Högkvalitativ kollektivtrafik ska utvecklas
- Delar av H+ utvecklas mot bilfria områden
- Ett prioriterat cykelnät och ett finmaskigt gångnät etableras
- Prioritera parkering som stödjer stadens utveckling
- Restidskvoterna mellan kollektivtrafik och biltrafik är inom H+ mindre än 1,0

#### **Vatten och grönska**

- H+ ska upplevas som blått och grönt. Grönnytefaktor tillämpas
- Blåa och gröna ytor utnyttjas för ekosystemtjänster som dagvattenfördröjning, biologisk mångfald, mikroklimat
- Boende i området har god tillgång till blå och gröna friytor med olika karaktär och innehåll
- Sociala funktioner och värden, såsom mötesplatser, skolor, lekplatser och annat, integreras och samutvecklas med det blåa och gröna

#### **Hållbar urban livsstil**

- H+ områdets miljöprofil ska inspirera de som bor, verkar och vistas inom H+ genom att vara synlig och påtaglig
- Genom information och inspiration ska de som bor och verkar inom H+ området ha en mer utpräglad hållbar livsstil än genomsnittssvensken och de som vistas där ska känna av den
- Engagemang och självorganisation ska stimuleras

- De som bor och verkar inom H+ området ska erbjudas möjligheten att delta i förbättrings- och kunskapsåterföringsprocesserna i utvecklingsarbetet
- De som bor och verkar inom H+ området ska erbjudas återkopplande information om områdets miljöresultat

### **2.2.2 EVAA-projektet**

Syftet med EVAA-projektet har varit att dels nå en samsyn kring energi-, vatten-, avlopps- och avfallsfrågor, dels identifiera hållbara och integrerade tekniska systemlösningar som kan införas i området H+. Tillsammans med de tre lokala aktörerna inom områdena inledde Helsingborgs stad ett samverkansprojekt för en första etapp 2011. Den syftade till att undersöka och föreslå inriktningar för hållbara lösningar inom de fem fokusområdena. En av de största vinsterna i EVAA-projektet är samarbetet mellan de olika verksamheterna.

Under 2012 inleddes etapp 2 med syfte att analysera och föreslå tekniska system och lösningar som ska passa det framtida området H+. Systemen som analyserats är i flera fall komplexa eftersom de samverkar med varandra på olika sätt. Ett mål har varit att identifiera synergieffekter mellan systemen. Under arbetet har flera fördjupade delutredningar genomförts och tagit fram bland annat en multikriterieanalys för olika kombinationer av avloppslösningar. Projektgruppen bestod av tjänstepersoner från de tre organisationerna samt från Helsingborgs Stads Stadsbyggnads- och Miljöförvaltning.

Utvecklings- och konsultbolaget Urban Water togs in för att analyseras fem systemalternativ för avlopp och avfall genom en multikriterieanalys (2016). Analysen tittade på uthållighet utifrån kriterierna organisation och teknisk funktion, brukaraspekter, miljöpåverkan från emissioner, resursutnyttjande samt hälsa och hygien. Systemalternativen jämfördes också i en kostnadsanalys. Se Figur 2-2 för resultat från multikriterieanalys för olika förslag på avlopp och avfallslösning.

System	MKA-analys	Kostnader 1= billigast, 5 = dyrast
1. Påse biogas – insamling av matavfall i påse och transport till NSR:s biogasanläggning. Avledning av en samlad spillvattenfraktion till Öresundsverket.	Nuvarande	2
2. KAK <sup>4</sup> avlopp – köksavfallsquavarn installeras där matavfallet transporteras tillsammans med en samlad spillvattenfraktion	Likvärdig nivå med nuvarande	1
3. KAK biogas - köksavfallsquavarn installeras där matavfallet transporteras i ledningar till lagringstankar och vidare till NSR:s biogasanläggning. Avledning av spillvatten som i System 1	Likvärdig nivå med nuvarande	3
4. Urinsortering & fekalier + KAK till biogas - Installation av urinsorterade klosetter i hushåll. Avledning av urinen i separata ledningar till en eller flera uppsamlingstankar i området och därifrån transport till urinlager. Fekaliefraction transporteras i ledning till NSR:s biogasanläggning för förtjockning och rötning. Avledning av övrigt spillvatten samt hantering av matavfall som i System 3.	Bättre nivå jämfört med nuvarande	4
5. Klosettsortering & klosettatten + KAK biogas – Installation av vakuunklosetter i hushåll. Klosettatten avleds i separata ledningar till separat biogasanläggning för förtjockning och rötning. Avledning av övrigt spillvatten samt hantering av matavfall som i System 3.	Bättre nivå jämfört med nuvarande	5

Figur 2-2. Resultat från multikriterieanalys samt kostnadsanalys för olika förslag på avlopp och avfallslösning i H+. tabellen är från "Möjligheternas H+" slutrapport (2016).

Multikriterieanalysen var vägledande i att projektgruppen valde att rekommendera att gå vidare med separerat avlopp för svartvatten och köksavfallsquavarn och pröva att kostnadsoptimera systemet. För fullständig analys se rapporten *Multi-kriterieanalys för integrerade systemlösningar i H+ området* (Urban Water, 2012).

Slutsatserna från projektet pekar på att vakuuntoaletter med separat ledning är bättre än dagens system, då det kan bidra till ökad biogasproduktion. Detta system borde därför införas om ekonomin tillåter. Det lyftes också att köksavfallsquavarnar med separat ledning kan ge dubbel mängd biogas jämfört med befintligt insamlingssystem för matavfall, med bil, men att hur detta skulle genomföras rent praktiskt behövde utredas. Övergripande slutsats var att de föreslagna systemlösningarna ofta leder till att miljönytta står mot kostnad. Ju mer miljövänlig och energieffektiv, desto högre investeringskostnad.

Inom projektet pekade projektgruppen även på möjligheten att använda dagvattnet till toalettspolning eller bevattning. Dessa idéer togs dock inte vidare.

Urinsortering togs även upp som ett alternativ då det finns stor potential för näringsåtervinning. Men krav på läkemedelsrening och transporter av stora mängder urin gjorde att projektgruppen valde att inte rekommendera detta för implementering i området H+. Projektgruppen har även analyserat system för att samla in svartvatten och matavfall tillsammans samt separering av gråvatten med lokalt återvinningssystem. Dessa alternativ såg projektgruppen ingen tydlig vinst med.

## 2.3 Beslutsprocess

Efter utfallet i EVAA-projektet (2016) valde stadsbyggnadsnämnden i Helsingborgs Stad att gå vidare med planen på källsorterat avlopp samt köksavfallsquavarnar och

gav uppdraget till H+ projektets styrgrupp, bland annat innehållande vd:ar för avfall- och avloppsbolagen, att konkretisera dessa idéer. Under 2016 tog bland annat beslutet att ha tre separata ledningar och konceptet tre-rör-ut föds.

## 2.4 Kommunikation och förankring


Under hela planerings och implementeringsskedet av projektet har vikten av ökad kommunikation och förankring varit tydligt. Flera större insatser genomfördes, och dessa finns sammanställda i rapporten *Kommunikationsinsatser H+* (Widén, 2022). Utöver det har det även varit ett kontinuerligt arbete från projektdeltagarna både hos NSVA och de andra aktörerna att internt förankra projektet inom sina organisationer. Detta har gjorts genom information på intranät, studiebesök och informationsmöten.

## 2.5 Tekniska vägval

Efter beslut om tre-rör-ut upphandlades konsultbolaget Marklaget AB för projektering av systemet i gata samt pumpstation. Vid start av projekteringsarbetet stod det snart klart att det inte fanns något underlag eller riktlinjer för hur systemet skulle byggas. Arbetet fick därför innefatta undersökning och utredning innan själva projekteringen kunde starta. Det beslut som fanns var att svartvatten skulle hanteras i ett vakuumsystem.

### 2.5.1 Ledningsnät och pumpstation

Majoriteten av underlaget till teknikvalet kom från olika vakuumsystemsleverantörer. Diskussioner fördes främst med Jets och Qua-vac. Andra företag kontaktades men utan resultat. Diskussionerna med Jets och Qua-vac utmynnade i en kort kravsammanställning. Se kravsammansställningen i Figur 2-3.

VAKUUMSYSTEM, JETS VS QUAVAC		
Datum: 2017-04-18 Rev:		
		 <b>MARLAGET AB</b>
ÄRENDE	JETS	QUAVAC
Lutning på ledning	10 promille	3 promille
Ledningsdimension i mark	75 mm	90 mm
C-C avstånd på transportfickor	ca 30 m	50 m
Rensmöjlighet vid transportfickor	Ja, på varann	Behövs ej
Avstängningsventil vid transportfickor	Ja, på varann	Inte tillfrågade
Övrigt transportfickor: Den tekniska utformningen av dessa skiljer sig åt för de olika fabrikaten.		

Figur 2-3. Kravsammansställningen framtagen med Jets och Ouavac.

En viktig lärdom från detta arbete var att vakuumsystem inte byggs som ett "bakåtvänt" trycksystem utan mer som ett självfallssystem. Fallhöjden hämtas dock hem i transportfickorna. För gråvattnet valdes ett traditionellt självfallssystem. Höjdförutsättningarna i Oceanhamnen krävdes dock att vattnet leds med självfall till den centrala pumpstationen för att sedan pumpas till reningsverket.

Matavfallet leds med självfall i byggnaden och samlas upp i en pumpsump i källaren på byggnaden. Därifrån pumpas matavfallet till NSVA:s centrala pumpstation och till reningsverket.

Utifrån den information som samlats upp samt de lärdomar som gjorts under processen gjordes val av systemdesign enligt följande stycken. Valen gjordes av Marklaget AB tillsammans med NSVA. Ledningsnätet byggdes och levererades sedan av Helsingborgs Stads upphandlade entreprenör. Vakuumpumpar upphandlades separat.

### 2.5.2 Tekniskspecifikation – Oceanhamnen etapp 1

Systemet i Oceanhamnen etapp 1 är byggt enligt specifikationerna i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Specifikation av Installerat system i Oceanhamnen etapp 1.

<b>Rör i gata</b>	PE 75,9 mm stumsvetsade skarvar
<b>Utbredning av transportfickor</b>	Var 30:e meter
<b>Rensbrunnar</b>	1 st per ledning (i yttre änden)
<b>Avstängningsventiler</b>	1 st manuell vid varje fastighetsgräns, 1 st automat/ledning vid pumpstation
<b>Pumpstation</b>	1 st
<b>Pumpar</b>	Jets* 4 st
<b>Luktreducering ifrån pumpstation</b>	YaraEvodor
<b>Gråvatten</b>	
<b>Rör i gata</b>	S200 mm PP
<b>Matavfall</b>	
<b>Rör i gata</b>	TA50 PE80 SDR17 (LTA-ledning)

#### Rör

Jets föreslog PP-rör men PE-rör valdes i stället på grund av att ledningsgraven är trång och eftersom det är många ledningar har alla vakuurmörens lasertext för att de lättare ska kunna identifieras.

Rekommendationerna från vakuumleverantören var att rören skulle muffsvetsas för att undvika att få en svets på insidan av röret, en så kallad svulst, där det kan bygga på med urinsten. Denna information blev dock aldrig specificerad i dokumentationen till anläggningsentreprenören och därför blev rören stumsvetsade. NSVA har därför tagit fram en plan för att följa upp eventuell påbyggnad vid svulsterna genom bland annat filmning av ledningarna under de första åren.

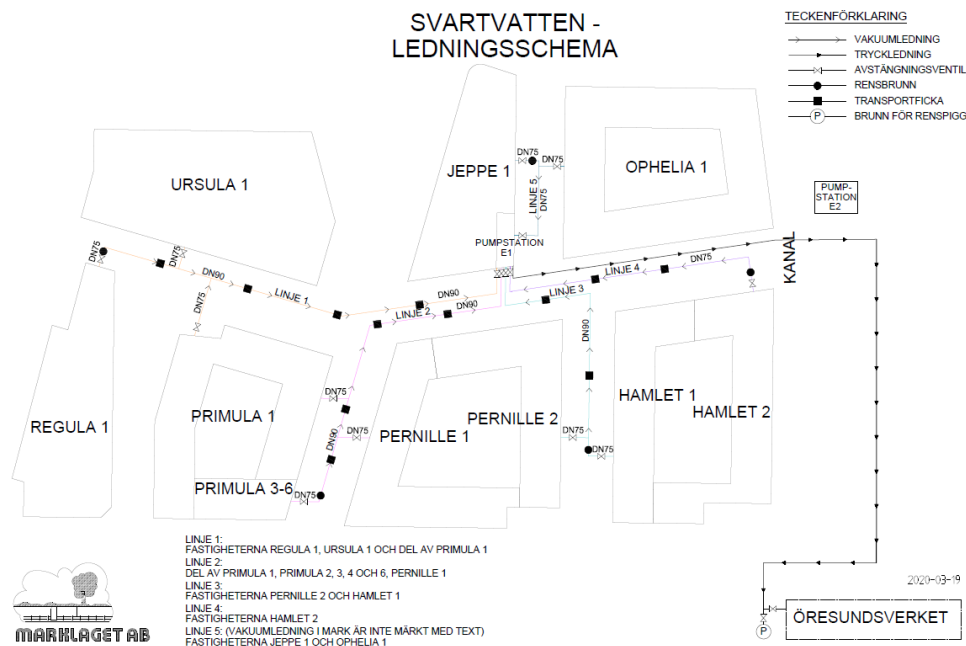
### 2.5.3 Transportfickor

Utformningen av transportfickorna kan göras på olika sätt. I Oceanhamnen valdes lösningen att göra ett knä, enligt Figur 2-4, för att minska mängden komponenter/böjar som anses kunna bidra till "felkällor" i systemet.



Figur 2-4. Exempel på utformning av transportficka i vakuumsystem i Oceanhamnen.

Systemet i Oceanhamnen etapp 1 består av fem separata vakuulinjer som går in i en centralt belägen pumpstation, se Figur 2-5. Inga vakuumpumpar finns i respektive fastighet. Dock finns avstängningsventiler vid respektive fastighetsgräns. Från pumpstationen pumpas sedan vattnet till behandlingsanläggningen med trycksystem.



Figur 2-5. Flödesschema av vakuumsystemet i Oceanhamnen etapp 1.

I diskussioner med den ena vakuumleverantören, Jets, kom en rekommendation fram om att varje fastighet skulle ha en egen linje för att fastigheterna inte ska kunna påverka varandra. Senare in i teknikvalsprocessen togs ett förslag med endast en gemensam vakuulinje för samtliga fastigheter fram till vakuumpumpstationen. Hur mycket eventuella läckage eller andra problem påverkar systemet har



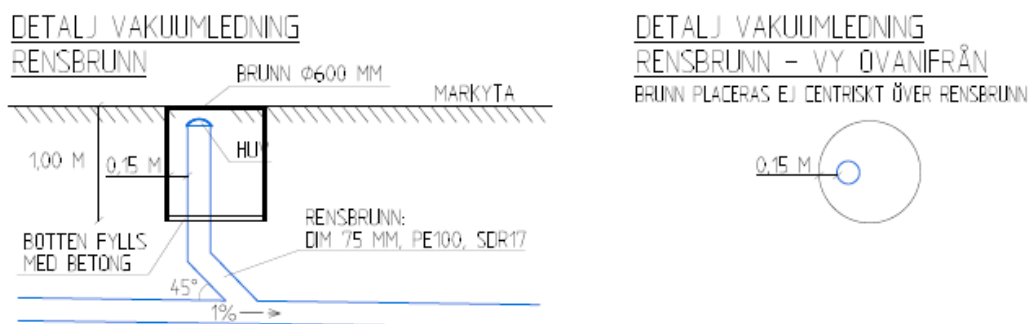
inte kunnat fastslås. Det tillsammans med att driftorganisationen har liten erfarenhet av vakuumsystem gjorde att det valdes att gå på en mellanväg med fem linjer. Varje linje servar 1–3 fastigheter.

En av farhågorna i början av projektet var att problem med en vakuumtoalett kunde slå ut hela vakuumsystemet, vilket gjorde att man inte gick vidare med förslaget med en gemensam vakuulinje för hela området. Det visade sig senare att det inte stämde utan att i de fall där en vakuumtoalett inte fungerar så får vakuumpumparna i pumpstationen arbeta mer.

Transportfickorna är placerade var 30:e meter. Avstängningsventiler finns vid varje fastighetsgräns samt för varje linje inne i pumpstationen. Ventilerna i pumpstationen var till en början manuella men efter några avbrott togs beslutet att installera automatventiler, kopplade till NSVA:s övergripande SCADA-system, som kan manövreras på distans för snabbare avstängning vid behov.

#### 2.5.4 Rensbrunnar/tillsynsbrunnar

Rensbrunnars utformning och placering i vakuumsystemet bestämdes tillsammans med den lokala underhållsentreprenören och personal ifrån NSVA där det gicks igenom vilken utrustning som finns att tillgå och kapacitet på denna. Detta för att det inte fanns några prefabricerade rensbrunnar för vakuumledningar ute på den svenska marknaden. Se Figur 2-6.



Figur 2-6. Detaljskiss av rensbrunn i vakuumsystemet i Oceanhamnen etapp 1.

En rensbrunns funktion har i huvudsak två uppgifter: att kunna rensola vakuumsystem och rensa ledningarna ifrån ledningsproppar. I bygget av etapp 1 i Oceanhamnen var riktlinjen att ha så lite ledningskomponenter som möjligt. Där bedömdes det att varje ledningskomponent kunde bidra till framtida driftproblem, därför valdes att begränsa antalet rensbrunnar och avstängningsventiler. Rensbrunnarna placerades i änden på varje vakuulinje.

#### 2.5.5 Avstängningsventiler

Avstängningsventiler kan vara till stor hjälp vid behov av läcksökning och minimera problem för användarna vid problem i vakuumsystemet. Ventilerna skulle samtidigt kunna leda till större problem i ledningsnätet då de kan vara en punkt för läckage. I etapp 1 beslutades att antalet avstängningsventiler skulle hållas nere till ett

minimum. Jets hade exempelvis rekommenderat att placera avstängningsventiler på en eller båda sidor om varje rensbrunn. Detta genomfördes alltså inte. Vid byggnation installerades endast manuella ventiler. För att underlätta felsökning och minska tiden systemet ligger nere vid ett stopp installerades automatventiler på varje ledning in till pumpstationen. Ventilerna ska styras via NSVA:s SCADA-system och felsökning kan då ske på distans.

### **2.5.6 Centrala pumpstationen**

I den centrala pumpstationen finns fyra vakuumpumpar som arbetar intermittent beroende på behov. Pumparna är monterade i två rack. Principen för systemet är att när vakuuet sjunkit till en viss nivå så startar pumpen och bygger upp vakuuet igen. Varje toalettspolning innebär att systemet tappar 45–60 l/luft.

Vakuumpumparna handlades upp från Jets. Redundansen i systemet är 100 %, alltså det finns dubbelt så många pumpar som egentligen behövs. Systemet är uppbyggt så att pumparna kan växellöras vilket ger möjlighet att serva eller laga pumpar utan att påverka systemet.

I pumpstationen är filter för luktreducering installerat. Filtret tar bort lukt och svavelväte ur den utgående luften från pumpstationen.

### **2.5.7 Erfarenheter och lärdomar**

Efter över två års drift är NSVA över lag nöjda med de val som gjordes i etapp 1 av Oceanhamnen men det finns en hel del lärdomar och förbättringspotential att ta med till nästkommande etapper och nya områden. Nedan sammanställs exempel:

#### **Ledningssystem**

NSVA har under 2022 påbörjat arbetet med att underhålla vakuuledningarna. Målsättningen är att ta fram en underhållsplan men då få erfarenheter finns av vilket behov samt möjliga åtgärder behöver fler utredningar genomföras.

Vid de inledande testerna med att filma och spola ledningarna insåg VA-teknikerna att det är svårt att komma åt stora delar av ledningen eftersom det endast finns en rensbrunn per ledning och den sitter i änden. Det upptäcktes även att en del scaling redan fanns vid transportfickorna.

Ett forskningsprojekt tillsammans med bland annat Jets kommer starta under 2023 för att titta på just scaling och vilka åtgärder som kan avhjälpa detta.

Vid underhåll på vakuumsystemet har NSVA hittills tvingats stänga av vakuuet i den eller de fastigheter som är kopplade till den ledning som ska underhållas under tiden arbetet pågår. Nu ses det över om det finns möjlighet att antingen göra underhåll medan vakuuet är i gång eller installera möjligheten att koppla en sugbil till fastigheten under tiden. Denna lösning bör även direkt implementeras i kommande etapper i Oceanhamnen.

### **Pumpstation**

Under uppstart 2020 inträffade flera stopp i vakuumpumpstationen både på grund av att det fastnat saker i ledningarna och för att pumparna gick varma och stängde ner. Anledningen till att pumparna gick varma berodde oftast på att en eller flera toaletter tagits bort i någon av de fastigheter som ännu höll på att byggas. Om toaletterna tas bort utan att stänga ventilen till vakuumsystemet står systemet öppet och pumparna klarar inte av att hålla undertryck hur länge som helst. Dock bidrog även en felkoppling i pumparnas kylsystem till att varmgången blev värre än den borde.

Möjligheten av att genomföra felsökning av systemet på distans infördes under år 2021 då driftorganisationen såg att detta underlättade arbetet markant och minskade problemlösningstiden.

### **2.5.8 Återvinningsanläggning**

Från Oceanhamnen leds alla tre avloppsströmmar till behandlingsanläggningen RecoLab som är placerad på Öresundsverket, 500 meter från etapp 1, se Figur 2-7. RecoLab är byggt för att kunna ta emot källsorterat avlopp från hela Oceanhamnen när det är fullt utbyggt, motsvarande 2500 personekvivalenter.



Figur 2-7. Flygfoto över Öresundsverket med RecoLab i förgrunden.

### **Val av processteknik samt projektering och upphandling**

Inom NSVA diskuterades hur den behandlingsanläggning (RecoLab) som skulle hantera avloppet från Oceanhamnen skulle byggas. År 2015 höll man en tävling "Food waste and blackwater challenge" där deltagare kunde lämna in förslag på utformning av bl.a. testbädd och processteknik för RecoLab. Parallellt med detta pågick en ombyggnation av reningsverket Öresundsverket som innefattade att

täcka över delar av verket för att tillåta att bostadsområdet Oceanhamnen kunde byggas i anslutning till reningsverket. Byggnationen av skalet till byggnaden RecoLab ingick därför i entreprenaden för överbyggnaden av reningsverket. Från början hanterades RecoLab som en "svart låda" i arbetet, fram tills att NSVA anställde en utvecklingsingenjör i juni 2017 för att arbetade med utformningen av processtekniken. Detta trots att det fanns ett kortare principunderlag (framtaget av NSVA under 2015) som i generella ordalag beskrev vad som kunde tänkas installeras i form av processutrustning. Under 2017 till 2019 pågick kontinuerlig projektering av byggnaden RecoLab parallellt med upphandlingen av den processteknik som skulle installeras i byggnaden.

### **Upphandling av processteknik till utvecklingsanläggning - delprocess A och B**

Hösten 2017 formulerades upphandlingen av processteknik. Initialt var tanken att hålla upphandlingen separat från överbyggnaden på Öresundsverket (inklusive byggnationen av RecoLab-byggnadens skal). Men då upphandlingen av överbyggnaden fick göras om försenades arbetet med cirka 1 år - varför NSVA i stället beslöt att låta upphandlingen av processteknik ingå i entreprenaden för överbyggnaden. På så vis undveks ytterligare försening vilket var viktigt inte minst för den externa finansiering som erhållits för processteknik. NSVA formulerade upphandlingskrav för processtekniken under hösten 2017 varpå entreprenören för överbyggnaden (NCC) genomförde upphandlingen och tog in anbud.

Då anläggningen var liten (ca 2 000 personekvivalenter) och källsorterad VA är ett relativt smalt område beslöt NSVA att ställa kraven som funktionskrav på processtekniken. Därigenom hoppades man att få in fler anbud och ett lägre pris.

Upphandlingen genomfördes för två separata delprocesser vid namn A och B. Delprocess A inkluderade rening av gråvatten samt rötning av svartvatten och matavfall. Att det skulle vara biogasproduktion som behandling var ett krav i upphandlingen då en del av stadens beslut år 2013 att bygga källsorterat avlopp baserades på ökad biogasproduktion (se dokument *Smarta system och listiga lösningar, Helsingborg stad, 2013*). För processtegen i delprocess A sattes specifika reningskrav som var avsedda att nå samma reningsgrad som vid Öresundsverket, i avseende på massa eftersom koncentrationen kunde förväntas vara annorlunda på grund av det lägre spillvattenflödet med ett källsorterat avlopp.

Delprocess B inkluderade näringsåtervinning från rötat svartvatten och matavfall. Här sattes bland annat funktionskrav för andel återvunna näringsämnen (70% av inkommande fosfor och kväve) samt för maximal tillsats av insatskemikalier (30 kg/m<sup>3</sup> avlopp). Den största frågan vid formulerandet av kraven för delprocess B var huruvida återvinning av kväve skulle inkluderas utöver det mer uppenbara kravet för återvinning av fosfor. Baserat på litteratur och åsikter inom branschen ansågs kväveåtervinning vara betydligt dyrare och mer problematiskt än återvinning av fosfor. NSVA ansåg dock att det var viktigt att i RecoLabs utvecklingsanläggning visar på potentialen för tekniken att återvinna fler näringsämnen - varför även kväveåtervinning inkluderades.

Innan anbudsprocessen så genomfördes under hösten 2017 en mindre marknadsundersökning baserad på intervjuer med ett par företag inom branschen för att kunna sondera om upphandlingen av båda delprocesserna samt generera anbud. Samtliga fem företag som tillfrågades svarade på positivt att de kunde förväntas lämna anbud. Dock hade de inte fått se några specifika krav från upphandlingen i detta skede för att undvika eventuella fördelar vid den senare upphandlingen. Trots den positiva tonen vid marknadsundersökningen så erhöles endast två anbud till respektive delprocess då NCC genomförde upphandlingen. För delprocess A så levde båda anbuden på pappret upp till de krav som ställts men då den ena anbudsgivaren saknade referensanläggningar för den utlovade tekniken tilldelades Landustrie BV från Nederländerna kontraktet. Lösningen inkluderade liknande processteknik som vid företagets referensanläggningar med biologisk rening av gråvatten samt rötning av svartvatten och matavfall i röt-kammare av typen UASB septic tank.

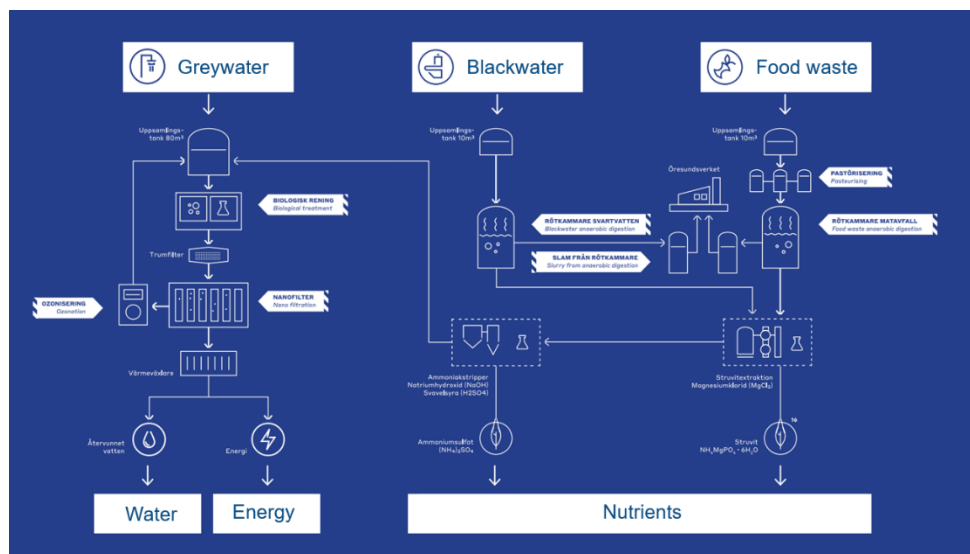
För delprocess B så levde det ena anbudet inte upp till kravet om att extraherat kväve skulle ske till en fast form varför kontraktet tilldelades svenska Ekobalans Fenix AB. Deras lösning inkluderade struvitfällning och ammoniakstripping som två separata processteg. Företaget hade sedan tidigare en pilotanläggning för respektive teknik.

### **Upphandling av processteknik till delprocess C**

Under 2018 dök möjligheter för extern finansiering för pilotprojekt inom läkemedelsrening upp via Naturvårdsverket. NSVA beslöt då att söka, och beviljades senare, investeringsmedel för att installera sådan pilotutrustning vid RecoLab. Arbetet med projektering fick därför anpassas för att även denna (från början ej tilltänkta) processutrustning skulle få plats i byggnaden. Upphandlingen genomfördes på liknande vis som för processtekniken till delprocess A och B, dvs med funktionskrav på den installerade processen, och NCC genomförde denna upphandling under våren 2019. Vid detta tillfälle inkom endast ett anbud, dock med en rimlig prisbild, och kontraktet tilldelades Landustrie BV från Nederländerna ihop med ett flertal underentreprenörer. Anläggningen inkluderade en nanofiltreringsanläggning med ozonering av rejektet för att möjliggöra kombinerat rening av läkemedel med vattenåtervinning.

### **2.5.9 Installerad processteknik**

Övergripande processchema för utvecklingsanläggningen på RecoLab i Helsingborg redovisas i Figur 2-8. Huvudleverantörer är Landustrie och Ekobalans och underleverantörerna är Primeozon, Jotem, NXFiltration, Hydrotech. Nedan beskrivs det i text hur systemet fungerar för gråvatten, svartvatten och matavfall.



Figur 2-8. Övergripande processschema för utvecklingsanläggningen på RecoLab i Helsingborg.

### Gråvatten

Inkommande gråvatten samlas upp i en bufferttank för att jämna ut flödet in till anläggningen. Sedan behandlas vattnet med biologiskrening: anaerob zon följt av en aerob zon och ett avslutande sedimenteringssteg med recirkulering av slam tillbaka till den anaeroba zonen. Enligt upphandling ska vattnet efter denna del hålla en kvalitet enligt Figur 2-9.

### 3) Functional demands on the combined effluent from greywater treatment

Functional demands for the combined liquid effluent from sub-process A in to existing pipe in culvert.

BOD [mg BOD/L]	< 10 mg BOD/L
Total phosphorus [mg P/L]	< 0.3 mg P/L or Total reduction of $\geq 95\%$ mass P between influent from collection tanks (for blackwater, greywater and food waste) and effluent to pipe in culvert.
Total nitrogen [mg N/L]	< 8 mg N/L or Total reduction of $\geq 80\%$ mass P between influent from collection tanks (for blackwater, greywater and food waste) and effluent to pipe in culvert.

Figur 2-9. Utklipp ur funktionsupphandlingen för RecoLabs processutrustning. Tabellen visar kraven på gråvattenreningen (inklusive rejektvatten från näringsåtervinningen).

Efter den biologiska behandlingen passerar vattnet först ett trumfilter på 50 micrometer från Hydrotech och filtreras sedan genom nanofiltermembran från NX Filtrations. Anläggningen är byggd för att 80 % av vattnet ska gå igenom filtren. Kon-

centratet (20%) recirkuleras via ett ozoneringssteg, primeozon, tillbaka till den luftade zonen i den biologiska reningen. Filtrerings- och ozonprocessens huvudsyfte är att rena bort läkemedelsrester.

### **Svartvatten**

Inkommande svartvatten samlas upp i en bufferttank för att jämna ut flödet in till anläggningen. Första processteget är rötning. Rötningen sker mesofilt och uppehållstiden är i snitt 7 dagar. Slammet tas ut via hygieniseringstankar där slammet kan hygieniseras innan användning vid behov. I normalfallet går slammet vidare utan hygienisering till Öresundsverket. Vatten tas ut från toppen och leds in till näringsåtervinningsprocesserna.

Näringsåtervinningsprocesstegen är från leverantören Ekobalans. Steg 1 kallas Eco-P och utvinnet struvit med hjälp av tillsats av magnesiumklorid. Steg 2 kallas Eco-N och innefattar en ammoniakstripper och en reaktor där svavelsyra tillsätts för att få ut ammoniumsulfat. Anläggningen ska vid full kapacitet kunna utvinna 4170 kg kväve och 230 kg fosfor per år.

Rejektvattnet leds sedan in i gråvattenprocessen och renas där både biologiskt och med nanofilter/ozon.

### **Matavfall**

Matavfallet behandlas på samma sätt som svartvattnet med skillnaden att det finns möjlighet att pastörisera matavfallet innan rötningen i enlighet med ABP-förordningen.

## **2.5.10 Erfarenheter och resultat**

### **Gråvatten**

Efter att hela etapp 1 i Oceanhamnen byggts klart och är inflyttad kommer ca 60 m<sup>3</sup> gråvatten in till anläggningen per dag. Medelvärdet av innehållet i gråvattnet finns i Tabell 2-2.

Tabell 2-2. Medelhalter i inkommande gråvatten till RecoLab under perioden juni 2021 till september 2022.

BOD7	237 mg/l
Totalkväve	14 mg/l
Ammoniumkväve	4 mg/l
Totalfosfor	1,5 mg/l
COD	467 mg/l
Temperatur in	17–25 grader

Gråvattenanläggningen startades upp under tidig vår 2021. För att få i gång biologin i anläggningen ympades slam från Öresundsverket in. Efter några månader startades sedan nanofiltreringen.



Biologin har fungerat godkänt under majoriteten av tiden. Bortsett från att det under sommaren 2021 samt under samma period 2022 uppstod problem med flyttslam i sedimenteringstanken som gjorde att nanofiltreringen inte kunde köras på grund av för dålig vattenkvalitet. Anledningen till flyttslammet har inte klarlagts.

### Svartvatten och matavfall

Efter att hela etapp 1 i Oceanhamnen byggts klart och är inflyttad kommer ca 9 m<sup>3</sup> svartvatten samt ca 5 m<sup>3</sup> matavfall in till anläggningen per dag. Medelvärden av innehållet i vattnet kan ses i Tabell 2-3 och Tabell 2-4.

Tabell 2-3. Medelhalter i inkommande svartvatten till RecoLab under perioden juni 2021 till september 2022.

BOD7	3414 mg/l
Totalkväve	1200 mg/l
Ammoniumkväve	844 mg/l
Totalfosfor	105 mg/l
COD	7250 mg/l

Tabell 2-4 Medelhalter i inkommande matavfall till RecoLab under perioden juni 2021 till september 2022.

BOD7	4692 mg/l
Totalkväve	112 mg/l
Ammoniumkväve	11 mg/l
Totalfosfor	20 mg/l
COD	7283 mg/l

Rötningen av svartvatten och matavfall startade under våren 2021. Rötkamrarna ympades med slam från slamrötkammare på Öresundsverket respektive matavfallrötkammare på Filborna återvinningsanläggning. Svartvattnet har fungerat bra att röta; bortsett från ett avbrott där flyttslam satte igen ett utloppsrör har driften varit stabil.

Det har varit problem med att röta matavfallet på grund av för stor volym, för utspätt och har för lågt pH och alkalinitet. Dessa problem har inte lösts vid denna rapportens färdigställande (2022).

Under perioden november 2021 till november 2022 producerades 3966 kg biogas vilket motsvarar 36 % mer biogas/personequivänt än vid rötning av slam på Öresundsverket.

### Näringsåtervinning

Uppstarten av anläggningen för näringsåtervinning har kantats av problem. Majoriteten av problemen har berott på tekniska- eller styr/reglermässiga brister men även vissa problem med inkommande vatten har ställt till det.

Under sommaren 2022 kom Eco-P i gång och producerar struvit. Eco-N har vid rapportens färdigställande inte kunnat driftas kontinuerligt.

### **2.5.11 Ekonomi**

#### **Fastighet**

NSVA anlidade Assemblin för att beräkna kostnadsskillnaden mellan att bygga ett tre-rör-ut system i stället för ett konventionellt en-rörs system inne i fastigheten. Assemblin valdes då de varit VSS-projektör samt installatör i de fyra första byggnaderna i Oceanhamnen. Deras sammanställning visar på en ökning i kostnader med 70 %.

#### **Gata/pumpstation**

Kostnaderna för ledningsnätet i etapp 1 av Oceanhamnen hamnade på 5300 kr/m. Ledningar, pumpstation och serviser är de större kostnadsposterna.

Pumpstationen kostade ca 4,1 miljoner kronor, då inkluderat utrustning för pumpning av gråvatten och matavfall.

#### **RecoLab**

Byggnaden, som utöver drifanläggning även innefattar ett showroom och en testbädd, kostade 83 miljoner kronor att bygga. Processutrustningen kostade 60 miljoner kronor var av ca 50 % finansierades från exempelvis Horizon2020, Naturvårdsverket och Klimatklivet.

## **2.6 Fortsättning Källsorterat avlopp i Helsingborg?**

### **Oceanhamnen**

För de kommande etapperna i Oceanhamnen sammanställs erfarenheterna från etapp 1. Vid projektering kommer det tas hänsyn till flera av de idéer och önskemål som kommit upp under de första åren av drift. Exempelvis ses det över hur ledningssystemet kan byggas för att underlätta underhållsarbete.

### **Östra Ramlösa**

Parallellt med planeringen för den fortsatta utbyggnaden av Oceanhamnen ser Helsingborg Stad tillsammans med NSVA över möjligheten att implementera källsorterat avlopp i en ny stadsdel i utkanten av Helsingborg, Östra Ramlösa.

I området planeras bostäder för 10 000 personer samt Helsingborgs nya sjukhus.

Det befintliga spillvattennätet till Helsingborgs reningsverk, Öresundsverket, är redan idag högt belastat. Om behandling och utsläpp sker lokalt, i första hand av gråvatten i recipient implementeras så undviks en ytterligare belastning på nätet.

Den lokala recipienten, Lussebäcken, kräver dock låga utsläpp av fosfor och NSVA har därför tagit in WRS för att se hur en sådan gråvattenlösning skulle kunna se ut. Då önskan också var att anläggningen skulle kräva relativt lite drifttillsyn presenterade WRS ett förslag på en markfilterlösning.

NSVA har under hösten 2022 lämnat in samrådsunderlag inför miljötillståndsprövning för gråvattenanläggningen i Östra Ramlösa. Parallellt sker förprojektering för ledningsnät i gata. Planen är att även i detta område använda vakuumsystem för transport av svartvatten. Utformningen av systemet är ännu i planeringsfas.

## 3 Visby

Region Gotland har flera konkreta mål kring kretslopp och källsortering i de visioner och mål som berör den allmänna VA-försörjningen. När det blev dags att utveckla bostäder och verksamheter i Försvarsmaktens tidigare område, P18 söder om Visby, har visioner och mål börjat konkretiseras i en skala som inte tidigare varit aktuell på Gotland.

På Gotland är den största utmaningen den begränsade tillgången till sötvatten. Därför är huvudsyftet med ett källsorterande spillvattensystem i Visborg att spara dricksvatten och att hitta sätt att recirkulera vatten.

Detta är tänkt att förverkligas genom att bygga ett gråvattenreningsverk dit gråvattnen från hela Visborgsområdet ska ledas och renas till dricksvattenkvalitet. Dessutom ska vakuumtoaletter hålla nere mängden spolvatten.

### 3.1 Områdesbeskrivning - Visborg

Visborgsområdet, söder om Visby, är Gotlands hittills största exploateringsprojekt. Totalt omfattar den nya stadsdelen cirka 500 hektar mark. På sikt ska området byggas med 4 000 bostäder och utveckling ska ske av befintliga verksamhetsytor. I Visborg ska en hållbar och attraktiv stadsdel skapas med sociala, arkitektoniska och miljömässiga kvalitéer. Hållbarhet är ett ledord i arbetet med Visborg och utgår från tre hållbarhetsmål:

- Mobilitet
- Innovativa kretslopp
- Samspel och identitet

Visborg är det tidigare militära P18-området som förvärvades av bland annat Region Gotland år 2005. Befintliga byggnader på Visborg används idag för olika verksamheter, bland annat Region Gotlands förvaltningar som finns i tidigare kasernbyggnader.

Marken i området är förhållandevis flack och delar av området är beläget inom en utbredd lågpunkt (instängt område). De inledande undersökningarna som har gjorts av grundvattennivåerna i området indikerar att dessa är höga. Området ligger också inom sekundära skyddszonen för Visbys dricksvattentäkt vilket gör att skyddsåtgärder kommer behöva vidtas.

Någon gång under 2024 – 2025 beräknas de första detaljplanerna med omkring 700 bostadslägenheter i Visborgsområdet, med källsorterande VA-system, vara antagna och utbyggnad kan då påbörjas. Det finns dock risk för förseningar på

grund av förseningar i utbyggnaden som inte har koppling till VA-försörjningen.

## 3.2 Vision och mål

Den regionala utvecklingsstrategin (RUS), Vårt Gotland 2040, antogs av Regionfullmäktige i februari 2021. Länsstyrelsen och Uppsala universitet har varit viktiga medaktörer tillsammans med Region Gotland i utarbetandet. RUS har tydligt uttalade mål om resursbesparing, förnybara resurser och hållbara kretslopp men också om att det ska finnas god tillgång till dricksvatten och tillräckliga grundvattennivåer. Detta går i linje med de åtgärder som planeras i Visborgområdet tillsammans med målen om ekologisk hållbarhet. Region Gotlands styrmodell är utformad av regionen och ska visa vägen för hur Region Gotland ska uppfylla utvecklingsstrategin. I december 2017 antog Regionfullmäktige en vision och strategi för VA-försörjningen som sträcker sig till år 2030. I denna finns höga ambitioner kring både kretslopp, innovation och vattenförsörjning.

### 3.2.1 Vårt Gotland 2040 – regional utvecklingsstrategi för Gotland

Visionen i den regionala utvecklingsstrategin (Region Gotland, 2040) är:

*”Gotland – en kreativ ö med plats för hela livet. Gotland är fyllt av livskraft och kreativitet. Här kan människor och verksamheter utvecklas och bidra till en bättre värld. Här finns närhet och plats för alla delar av livet, i alla åldrar.”*

De mål som har bäring på val av VA-försörjning på Visborg är framför allt ”Gotland är en förebild i energi- och klimatomställningen”. De prioriteringar som har tydligast koppling till val av VA-lösning är:

- Gå före i klimat- och energiomställningen
  - Minska klimatpåverkan i hela samhället
  - Öka energieffektiviseringen och minska energianvändningen
  - Anpassa samhället till ett förändrat klimat
- Säkra miljö och vatten
  - Skydda och förstärk tillgången till yt- och grundvatten
  - Ställ om till hållbar konsumtion och produktion baserad på cirkulär ekonomi
  - Bedriv ett hållbart brukande av skog, mark och vatten och säkra den biologiska mångfalden

### 3.2.2 Regionen Gotlands styrmodell

Region Gotlands vision (Region Gotland, 2020b) är att: ”Gotland är Östersjöns mest kreativa och magiska plats, präglad av närhet, hållbar tillväxt och fylld av livslust.” Bland visionsmålen finns att Gotland är en världsledande ö-region i miljö- och klimatfrågor. Målområden som omfattas är social hållbarhet, ekonomisk hållbarhet, ekologisk hållbarhet, kvalitet, medarbetare och ekonomi.

Alla tre mål som kopplar till ekologisk hållbarhet har bäring på valet av VA-lösning i Visborg:

- Gotlands klimatavtryck ska minska (mål 7)
- Tillgång till vatten av god kvalitet är långsiktigt säkrad (mål 8)
- Hållbara val bidrar till ansvarsfullt samhällsbyggande som minskar belastningen på ekosystemet (mål 9)

Visionen och målen kopplar till FN:s Globala hållbarhetsmål.

### **3.2.3 Vision och strategi för Gotlands VA-försörjning 2030**

VA-försörjningen både inom och utanför VA-verksamhetsområdet omfattas. Den övergripande visionen lyder:

*”År 2030 är dricksvatten, spillvatten och dagvatten hållbara samhällsfunktioner på Gotland. Naturens gränser för tillgång till sötvatten och robusta livsmiljöer för såväl växter, djur och människor utgör grunden. Lösningar för dricksvatten, spillvatten och dagvatten möter sociala och ekonomiska intressen.”*

För att kunna nå visionen finns sex övergripande strategier med underliggande punkter för varje strategi (Region Gotland, 2017). Av dessa finns det några som särskilt berör beslutet om källsorterande spillvattensystem i Visborgsområdet. De presenteras nedan (S2, S4, S5 och S6):

#### **S2. Region Gotland ska verka för att Gotland ska ha en robust försörjning av dricksvatten**

I denna strategi finns en skrivning om att ”Återanvändning av dagvatten och renat spillvatten skall kontinuerligt värderas som komplement för att förstärka tillgången på vatten.”

#### **S4. Region Gotland, boende, besökare och verksamhetsutövare ska värna om Gotlands vattenresurser**

Inom denna strategi finns flera punkter som berör kretslopp av spillvatten:

- Kretsloppsanpassning av vatten- och avloppsförsörjningen ska eftersträvas
- Vatten ska i största möjliga mån behållas på ön och inte avledas till havet
- Innovativa lösningar som värnar naturens resurser och bidrar till en långsiktigt hållbar ekonomi ska uppmuntras

### **55. Region Gotland ska fatta ekonomiskt långsiktigt hållbara beslut**

Den här strategin handlar om att den nytta som uppstår till följd av en investering ska stå i proportion till de ekonomiska och personella resurser som krävs för genomförandet. Det anges också att en samhällsekonomisk kostnads-, nyttoanalys vid behov ska användas som en del av beslutsunderlaget.

### **56. Region Gotland ska ha god kommunikation om dricksvatten, spillvatten och dagvatten**

Strategin handlar om att vinna engagemang och förståelse för VA-försörjningen hos både allmänhet och verksamhetsutövare.

## **3.3 Beslutsprocess**

Inriktningen att bygga källsorterande spillvattensystem i Visborg med dubbla rör väcktes till en början i samband med start-PM för Visborgsområdet år 2017. Därefter har flera politiska beslut fattats i syfte att komma vidare.

### **3.3.1 Den politiska processen**

#### **Start-PM för Visborgsområdet och förslag till inriktningsbeslut för avlopp, 2017-07-28**

I start-PM 2017-07-28 anges utgångspunkten för start av utbyggnad av hela Visborgsområdet. Här uppmärksammas att det inte fastställts något inriktningsbeslut (i enlighet med Hållbarhetsprogrammet) om källsorterande avloppssystem i den tidigare framtagna strukturplanen för området. Därför föreslås att ett sådant beslut fattas, förutsatt att det är regionledningens vilja.

#### **Uppdrag från regionstyrelsen att fastställa inriktning för avloppshantering i Visborg, 2017-11-23**

Regionstyrelsen ger 2017-11-23, med hänvisning till start-PM, regionstyrelseförvaltningen i uppdrag att arbeta för att fastställa inriktning för hantering av avfall och avlopp utifrån Hållbarhetsprogrammet för Visborg.

#### **Beslut i regionstyrelsen om mål för Visborgsområdet, 2019-01-30**

2019-01-30 fattar regionstyrelsen beslut om konkreta mål utifrån Hållbarhetsprogrammet för Visborg utifrån de tre övergripande målområdena *mobilitet, innovativa kretslopp* och *samspel och identitet*. Ett av målen inom målområdet *innovativa kretslopp* tydliggör inriktningen för källsorterande spillvattensystem: *"Separerade ledningar och system för grå- respektive svartvatten för möjliggörande av källseparering och resurseffektiv kretsloppsinriktad vattenhantering."*

#### **Beslut i tekniska nämnden, 2019-02-20**

Den 20 februari 2019 beslutar tekniska nämnden att:

*"...Inriktningen för utbyggnad av spillvatten vid exploatering av Visborgsområdet ska vara system med separata ledningar för bad-, disk- och tvättvatten (gråvatten) respektive toalettvatten (svartvatten) dvs "två rör ut."*



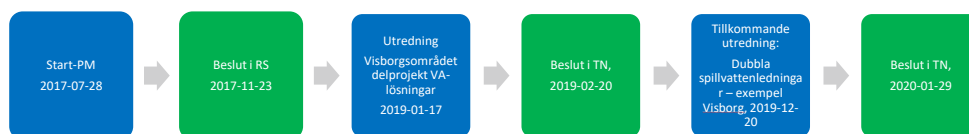
Syftet med beslutet var att erhålla ett VA-system som förbrukar mindre dricksvatten och som hanterar spillvatten på ett hållbart sätt. Separata ledningar skulle läggas för gråvatten respektive för svartvatten för att möjliggöra framtida separat omhändertagande av fraktionerna.

Som underlag för beslutet låg en rapport som tekniska förvaltningen tagit fram, "Visborgsområdet delprojekt VA-lösningar, 2019-01-17", Beslut rörande stadsutvecklingsprojekt Visborg i RS §14, 2019-01-30, samt tjänsteskrivelse 2019-02-11.

### Beslut i tekniska nämnden, 2020-01-29

Den 29 januari 2020 beslutar tekniska nämnden att:

*"...området väster om Vädursgatan och söder om Kung Oscars väg (delområde K1 – etapp A) och delområde Ljuset & Lyktan, totalt ca 700 lägenheter, planeras och projekteras för utbyggnad med dubbla spillvattenledningar. Hur de olika fraktionerna (svartvatten respektive gråvatten) ska behandlas och hanteras samt hur den fortsatta utbyggnaden av Stadsdelen Visborg ska ske, utreds vidare i samverkan med Stadsutvecklingsprojekt Visborg."*



Figur 3-1. Figuren visar politiska beslut (gröna rutor) om dubbla rör i Visborg och de utredningar (blå rutor) som legat till grund för beslutet.

## 3.4 Kommunikation och förankring

Efterhand som planerna på ett källsorterande spillvattensystem i Visborg blivit alltmer konkreta har det varit viktigt att sprida information inom den egna organisationen, men även till berörda exploitörer och till allmänheten.

### 3.4.1 Förvaltningen

Inom stadsutvecklingsprojekt Visborg finns en projektorganisation där VA-avdelningen är representerad med en anställd som arbetar 100% med Visborgsområdet. På så sätt säkerställs god kommunikation och samverkan mellan VA och övriga intressen inom Visborgsprojektet. I projektorganisationen finns även en kommunikatör.

För att ta del av, och sprida, de erfarenheter som genererats inom projektet med källsorterande spillvattensystem i Oceanhamnen (H+) i Helsingborg, genomfördes ett digitalt möte i januari 2021. Fokus för mötet var att ta del av NSVA:s och konsultföretaget Marklagets drifterfarenheter av de första utbyggda etapperna med källsorterat spillvattennät i Oceanhamnen. Till mötet var både projektörer och

driftpersonal hos Region Gotland inbjudna och det fanns möjlighet att ställa frågor.

I november 2021, i samband med Networking Meeting, genomförde Visborgs VA-projektgrupp en studieresa till Oceanhamnen i Helsingborg. Ytterligare studieresor till Oceanhamnen genomfördes av Teknikförvaltningens ledningsgrupp 13 - 14 juni samma år och den 6 - 7 oktober 2022 genomfördes ett besök av driftpersonal och den avdelning som arbetar med projekt och utveckling av VA-verken inom Region Gotland. Det senare studiebesöket genomfördes i samband med val av behandlingsteknik för BDT-piloten (benämns i denna rapport som gråvattenpiloten). Tjänstepersoner från Region Gotlands VA-avdelning besökte Hamburg 4 oktober 2022. Syftet med besöket i Hamburg var att titta på och få information om en vakuumavloppsanläggning för insamling av klosettvattnen i stadsdelen Jenfelder Au, samt utbyta erfarenheter och lärdomar om tekniken under en seminarieeftermiddag. Utöver Region Gotland deltog NSVA, SVOA, VA-bolaget Hamburg Wasser och en vakuumleverantör. Under seminarieeftermiddagen presenterade de olika aktörerna sina arbeten med vakuumteknik, hur långt man kommit och vilka utmaningar/lärdomar man har stött på och dragit så här långt.

Under Visborgsprojektets gång har också flera kompetenser från teknikförvaltningens VA-organisation varit engagerade i Visborgs VA-försörjning, både personer som arbetar med ledningsnät, vattenförsörjning och avloppsförsörjning.

### **3.4.2 Exploatörer och allmänhet**

Den 29 april 2021 bjöds alla byggherrar och exploatörer i Visborgsområdet in till en av Stadsutveckling Visborg anordnad digital informationsträff där även NSVA och Helsingborgs stad deltog för att dela med sig av sina erfarenheter. Informationsträffen var ett första initiativ till samarbete mellan Stadsutveckling Visborg och programmets intressenter. Deltagandet var tyvärr lågt och endast en byggherre deltog. Orsaker till det låga deltagandet kan ha varit att det än så länge var tidigt i processen eller kanske berodde det på dålig timing?

Planen är att följa upp informationsträffen med fler tillfällen för att hålla dialogen med byggherrar och exploatörer levande men under våren 2022 är det inte möjligt på grund av tillfällig resursbrist i Visborgsprojektet.

En utredning har också startats med planen att bygga en visningstoilet i en sjöcontainer. Denna ska placeras inne på Visborgsområdet. Visningstoiletten ska finnas tillgänglig för både byggherrar och för intresserade från allmänheten som vill se hur en vakuumtoalett ser ut och hur spillvattnet separeras i olika ledningar. I ett separat utrymme i sjöcontainern ska det finnas ett informationsrum som visar de olika ledningarna och pumparna och en informationsfilm. Tanken var att bygga upp visningstoiletten våren 2022 men processen har flyttats fram till följd av pandemin.

Under Almedalsveckan i juli 2021, som genomfördes digitalt detta år, höll Region Gotland en presentation med inriktningen "Innovativa kretslopp". Underrubriken

för den del som handlade om Visborg var ”kan en ny stadsdel ge mer vatten till Gotland?” Här presenterades det källsorterande spillvattensystemet tillsammans med en kort information om det pågående MACRO-projektet.

Ytterligare en informationskanal som Stadsutvecklingsprojekt Visborg använt sig av är att sätta upp infartsskyltar till området. Skyltarna sattes upp på fyra platser i slutet av år 2020 och hänvisar till Region Gotlands hemsida där man hittar information om Visborgsprojektet samt hälsar välkommen till den nya stadsdelen.

Region Gotland har skickat ut pressmeddelanden om det källsorterande systemet ”framtidens avloppssystem” i Visborg och det har varit en hel del uppmärksamhet i lokalpressen.

### 3.5 Tekniska vägval

Huvudfokus för Region Gotland hittills har varit utformningen av systemet i mark från förbindelsepunkt vid fastighetsgräns fram till behandling av de olika fraktionerna (svartvatten respektive gråvatten). Utformningen av detta system kommer dock att inverka på hur systemet inne i fastigheten utformas.

Val av utformning av ett källsorterande spillvattensystem i Visborg föregicks av flera utredningar i syfte att bestämma inriktning på systemet, se Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Projektering av ett källsorterande spillvattensystem i Visborg föregicks av flera utredningar i syfte att bestämma inriktning på systemet.

Utredningens namn	Innehåll
Visborgsområdet, delprojekt VA-lösningar (2019-01-17)	Den här utredningen la grunden till idén om ett framtida källsorterande spillvattensystem på Visborg. I rapporten föreslogs att svartvatten och gråvatten skulle separeras och att vakuumtoaletter skulle användas för att minska förbrukningen av dricksvatten. Här föreslogs att svartvattnet skulle ledas till Visby reningsverk. Utredningen genomfördes av Region Gotland.
Dubbla spillvattenledningar – exempel Visborg (20-01-29)	En övergripande utredning om hur ett system med dubbla rör kan se ut i Visborgsområdet i fastigheten, i mark, och behandling. En grov kalkyl togs fram. Den tillkommande kostnaden för ett källsorterande system uppskattades till 17,8 Mkr (5000 kr/hushåll) för VA-huvudmannens ledningar och pumpar och investeringskostnaden för ett nytt reningsverk för behandling av gråvatten från Visborg uppskattades till 45 Mkr (13 000 kr/hushåll). Utredningen presenterades för tekniska nämnden 2020-01-29. Utredningen genomfördes av Sweco.
VA-juridiska förutsättningar källsorterat spillvatten Visborg (2020-11-19)	I rapporten rekommenderades att Region Gotland: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Upprättar ett konkret förslag till formuleringar som kan införas i ABVA rörande källsorterat spillvatten och att förslaget stäms av med Svenskt Vatten.</li> <li>• Upprättar rutiner för bestämmande av- och meddelande om förbindelsepunktens läge för källsorterat spillvatten.</li> </ul> <p>Utredningen genomfördes av Sweco.</p>

Kriterier för dubbla rör (20-11-19)	Region Gotland tog tillsammans med Sweco fram ett förslag till under vilka förutsättningar en fastighet/byggnad inom Visborgsområdet ska anvisas dubbla rör, och när man inte ser att man kan ställa dessa krav utan behöver medge påkoppling på det konventionella spillvattennätet. Förslaget granskades av Swecos jurist.  Förankrad i Visborgsprojektets styrgrupp 20-11-24.
Jämförelse av olika sätt att transportera svartvatten från vakuumtoaletter i mark (2020-07-02)	Se beskrivning av innehåll i texten ovan.  Val av alternativ för bortledning av svartvatten i mark förankrades i Visborgsprojektets styrgrupp 20-11-24.
Nödvändiga tillstånd för gråvatten-pilotanläggning (BDT) (2021-09-20)	PM som beskriver vilka tillstånd som är nödvändiga för att få tillstånd en pilotanläggning för gråvattenrening i Visborgsområdet. Tre olika scenarier beskrivs: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Det renade vattnet leds till Visby reningsverk</li><li>2. Det renade vattnet används för bevattning inom sekundära skyddszonen</li><li>3. Det renade vattnet används till dricksvatten</li></ol> Utredningen genomfördes av Sweco.

Vakuumtoaletter i alla nya hus har varit en tidig förutsättning för valet av system i Visborg och föreslogs i en utredning år 2019 (Tiouls m fl., 2019). Vakuumtoaletter ger ett mindre utspätt svartvatten som därmed blir mer energirikt, har en högre koncentration av näringsämnen, och blir enklare att transportera (om det blir ett framtida vägval), samtidigt som vattenförbrukningen hålls nere. I syfte att tydliggöra vilka fastigheter i Visborgsområdet som ska anvisas källsorterande teknik och vilka som kan kopplas på det befintliga spillvattensystemet tog Regionen fram dokumentet *Kriterier för dubbla rör* (Region Gotland, 2020a).

Eftersom huvudsyftet med det källsorterande systemet i Visborg är att minimera vattenförbrukningen och recirkulera vatten, är det i första hand gråvatten som kommer samlas upp och recirkuleras medan svartvatten, som framför allt är en resurs ur närings-, och energisynpunkt, leds till Visby reningsverk. Framöver kommer Region Gotland gå vidare och även utreda hur svartvatten ska hanteras på bästa sätt.

### 3.5.1 Utredningar ledningsnät

Sweco har handlat upp för all markprojektering i Visborgsområdet, vilket även inkluderar utredning och projektering av det källsorterande systemet. En förstudie för ledningsnätet har genomförts. I Visborg finns ett befintligt spillvattensystem med självfallsledningar. Regionen har gjort en utredning för att bedöma under vilka förutsättningar det är möjligt att ställa krav på fastighetsägare/byggherrar att bygga med källsorterande spillvattenledningar fram till förbindelsepunkten (Region Gotland, 2020). Krav på källsortering av spillvattnet kommer i första hand gälla för nybyggnation medan befintliga byggnader fram till eventuell större ombyggnation av byggnaden sker fortsätter leda bort spillvattnet i en samlad ledning. På grund av detta kommer delar av det befintliga spillvattensystemet att finnas kvar.

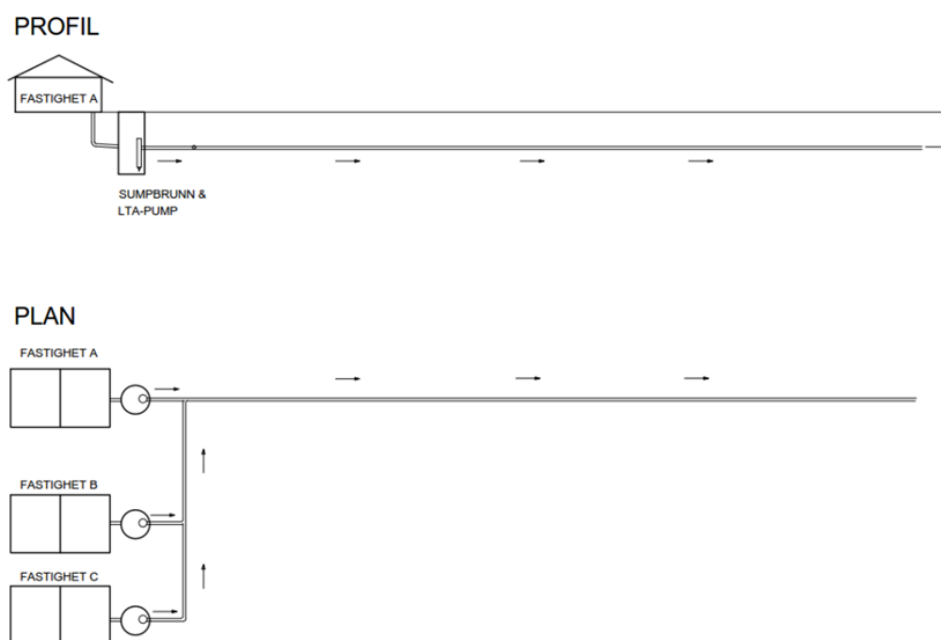
För vissa delområden i Visborg, där det både förekommer ny och befintlig bebyggelse, kommer det därför att behövas tre olika ledningsslag för spillvatten; en för svartvatten, en för gråvatten, och en för icke källsorterat spillvatten.

### Svartvatten – bortledning i mark

Eftersom det finns flera möjliga sätt att transportera bort svartvatten från husen gjordes en utredning av för- och nackdelar med de olika alternativen (Gustafsson m fl., 2020). De alternativ som jämfördes var:

#### A. Borttransport med LTA-system

Alternativet innebär att vakuumpumpstationer placeras i eller i anslutning till varje fastighet. Från vakuumpumpstationen trycks sedan svartvatten till en sumpbrunn vid fastighetens förbindelsepunkt. Från varje sumpbrunn trycks svartvattnet vidare till en samlingsledning till Visby reningsverk. Se schematisk skiss i Figur 3-2.

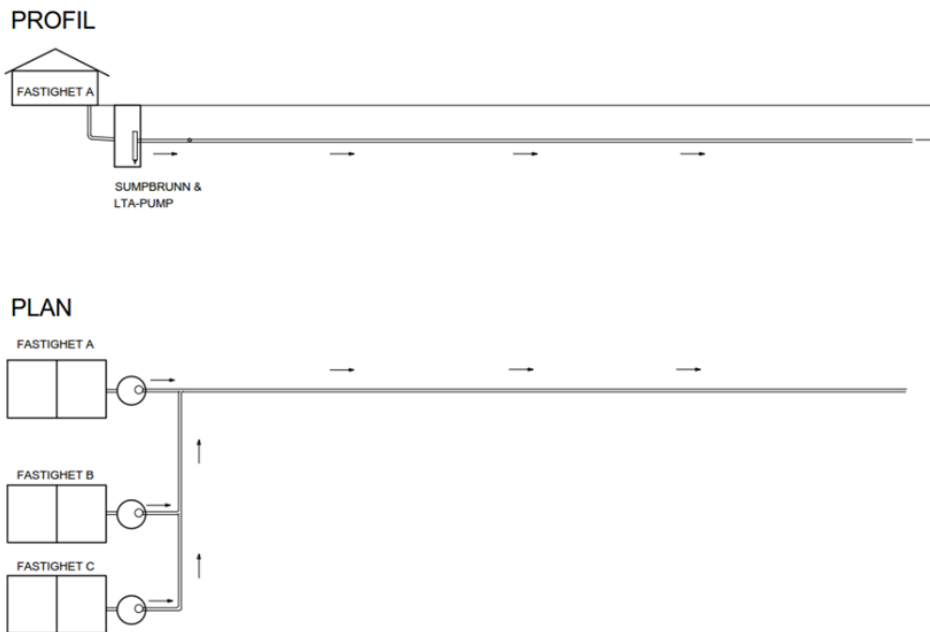


Figur 3-2. Schematisk systemskiss LTA (A). I fastighet transporteras svartvatten med vakuüm och trycks ut till sumpbrunn med LTA-pump vid förbindelsepunkt. Från sumpbrunnen pumpas svartvatten på tryckledning. Flera tryckledningar leds ihop till en samlingsledning.

#### B. Vakuüm i mark separerat från fastighetens vakuümsystem

Alternativet innebär, som i alternativ A, att vakuumpumpstationer placeras i eller i anslutning till varje fastighet och att svartvatten därifrån trycks till en sumpbrunn vid fastighetens förbindelsepunkt. I alternativ B finns ingen pump placerad i pumpsumpen, utan här suges i stället svartvatten ur

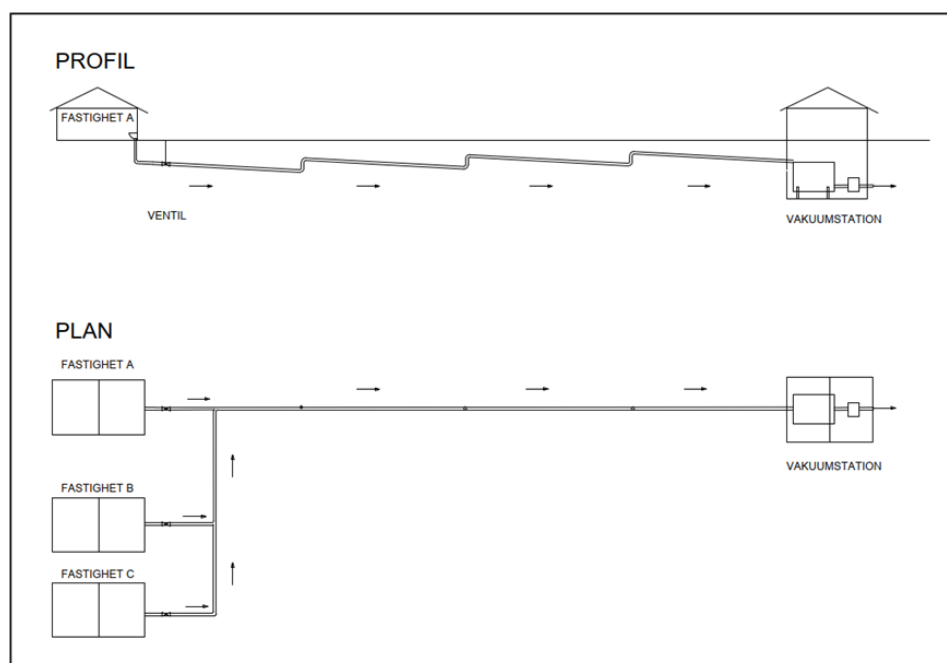
pumpsumpen från en centralt placerad vakuumpumpstation. Därifrån trycks svartvatten vidare till Visby reningsverk. Se schematisk skiss i Figur 3-3.



Figur 3-3. Schematisk systemskiss vakuumsystem med separerade system (B). I fastighet transporteras svartvatten med vakuum genererat i en intern vakuumpumpstation. Från stationen trycks svartvatten ut till en mottagningsbrunn (sumpbrunn) med reglerventil vid förbindelsepunkt. Från mottagningsbrunnen sugas svartvatten i vakuumledning mot vakuumpumpstationen nedströms i systemet. Från vakuumpumpstationen pumpas svartvatten till Visby reningsverk. (Bild Sweco)

C. Central, gemensam, vakuumpumpstation för fastighet och allmän mark

I detta alternativ krävs ingen vakuumpumpstation inne på fastigheten och inte heller någon sumpbrunn. Det vakuum som genereras från en centralt belägen vakuumpumpstation är i stället integrerad med vakuumtoaletterna i varje fastighet. En avstängningsventil finns vid förbindelsepunkten. Se schematisk skiss i Figur 3-3.



Figur 3-4. Schematisk systemskiss centralt vakuumsystem (C). I fastighet transporteras svartvatten med vakuum genererat från en central vakuumpumpstation. I förbindelsepunkt finns en avstängningsventil. Vakuumsledningsnät i gata är utformat med fall och vertikala.

De aspekter som ingick i jämförelsen var:

- Beroenden mellan systemet i fastigheten och VA-huvudmannens system
- Utrymmesbehov i gata/allmän mark
- Robusthet och tillgång till reservdelar
- Byggda referensanläggningar

Region Gotland valde att gå vidare med alternativ C med en eller flera centrala pumpstationer i området och ett vakuumsystem i mark som är integrerat med systemet i husen. Vid varje vakuumpumpstation genereras vakuum för transport av svartvatten både inne i fastigheten och i ledningssystemet i gata. Med denna systemutformning krävs ingen separat vakuumpumpstation i fastigheterna. Andra fördelar som identifierades är att systemet har färre komponenter och att det är den mest beprövade tekniken för svartvatten. En nackdel som identifierats är att utbyggnadsordningen blir viktig då systemet inte medför bräddning till konventionellt spillvattennät.

### Spillvatten och gråvatten – bortledning i mark

Befintligt spillvattensystem kommer delvis att vara kvar i området. De fastigheter som inte anvisas källsorterande spillvattensystem kommer att kopplas till denna självfallsledning. Även det nya gråvattenledningsnätet kommer utformas som ett självfallssystem.

### **3.5.2 Förstudie huvudledningsnät**

Efter beslut från utredningar inleddes under hösten 2021 en förstudie för projektering av VA-ledningsnätet i hela Visborgsområdet (Nathalie Roos m. fl., 2022). Förstudien omfattar bortledning av fem olika fraktioner: dricksvatten, spillvatten, svartvatten, gråvatten och dagvatten. Då området är mycket flackt har bedömningen gjorts att sammanlagt sju pumpstationer kommer behövas för hela Visborgsområdet. Även självfallssystemen kommer att behöva pumpning vissa sträckor. För att begränsa antalet VA-anläggningar och för att minimera de effekter som skyddsavstånd från pumpstationer får på möjlig exploateringsgrad av området, har vakuumstationerna placerats i samma pumphus som pumpstationerna för gråvatten. Ytterligare en fördel med detta är att anläggningskostnaderna förväntas bli lägre och driften förenklas om anläggningarna samordnas i stället för att spridas ut. I de norra delarna av Visborgsområdet, där planeringen hunnit längst och, där utbyggnad kommer ske först har en placering av pumpstationerna föreslagits, se Figur 3-5 (P1 – P4). Övriga tre pumpstationer bedöms krävas i delar av området som kommer exploateras längre fram i tiden. De har därför ännu inte givits någon föreslagen placering.





Format: A3  
2022-01-24  
\\sesdfs001\PROJEKT\22405\12707486\000\01\_BH\35\_GIS\3507\_Konsekvensutredning

Figur 3-5. I figuren syns Visborgsområdet med föreslagen VA-infrastruktur enligt förstudien inritad. P1-P4 avser pumphus för pumpning av spillvatten och gråvatten. I pumphusen föreslås även vakuum-pumpstationer för svartvatten anläggas. Pumpstationerna är seriekopplade och leder svartvatten och spillvatten vidare till Visby reningsverk medan gråvattnet leds till det föreslagna gråvattenreningsverket i området. Ingen av anläggningarna finns idag.

### Spillvatten och gråvatten – bortledning i mark

I Visborgsområdet föreslås gråvattnet ledas bort med självfall men eftersom området är mycket flackt behöver även detta pumpas vissa sträckor. Ambitionen i förstudien har varit att anslutning till pumpstation helst inte ska ske djupare än 4 meter under marknivå, vilket uppnås för samtliga pumpstationer utom en. Från pumpstationerna omväxlande trycks respektive leds gråvattnet med självfall till en

plats i norra delen av delområdet Villastaden i Visborg, se Figur 3-5. När gråvattenpilotanläggningen testats och en processlösning valts, kommer ett gråvattenreningssystem att anläggas här.

Spillvattnet, som leds i självfallsledningar, kommer i viss mån också behöva pumpas.

### **Svartvatten – bortledning i mark**

Utgångspunkten för planering av hantering av svartvatten är att detta ska avledas från fastigheter med hjälp av vakuumsystem i enlighet med alternativ C (se ovan), med en eller flera centrala pumpstationer i området och ett vakuumsystem i mark som är integrerat med systemet i husen. Vakuumsystemet för svartvatten seriekopplas för vidare avledning till Visby avloppsreningsverk i ett trycksatt system. Eftersom vakuumsystemet är ett slutet system, där funktionen endast delvis baseras på att vattnet transporteras med självfall, så är systemet inte heller lika begränsat av marknivåerna som övriga avloppsledningar. En viss begränsning finns med avseende på ledningarnas längd och den totala lyfthöjd/sughöjd som systemet ska klara från den bortesta anslutningen till vakuumanläggningens suganordning. Den mest styrande faktorn vid upprättande av förslag till vakuumsystemets utformning i plan utgörs av att vakuumpumpstationernas placering föreslås samordnas med pumpstationerna för gråvattensystemet.

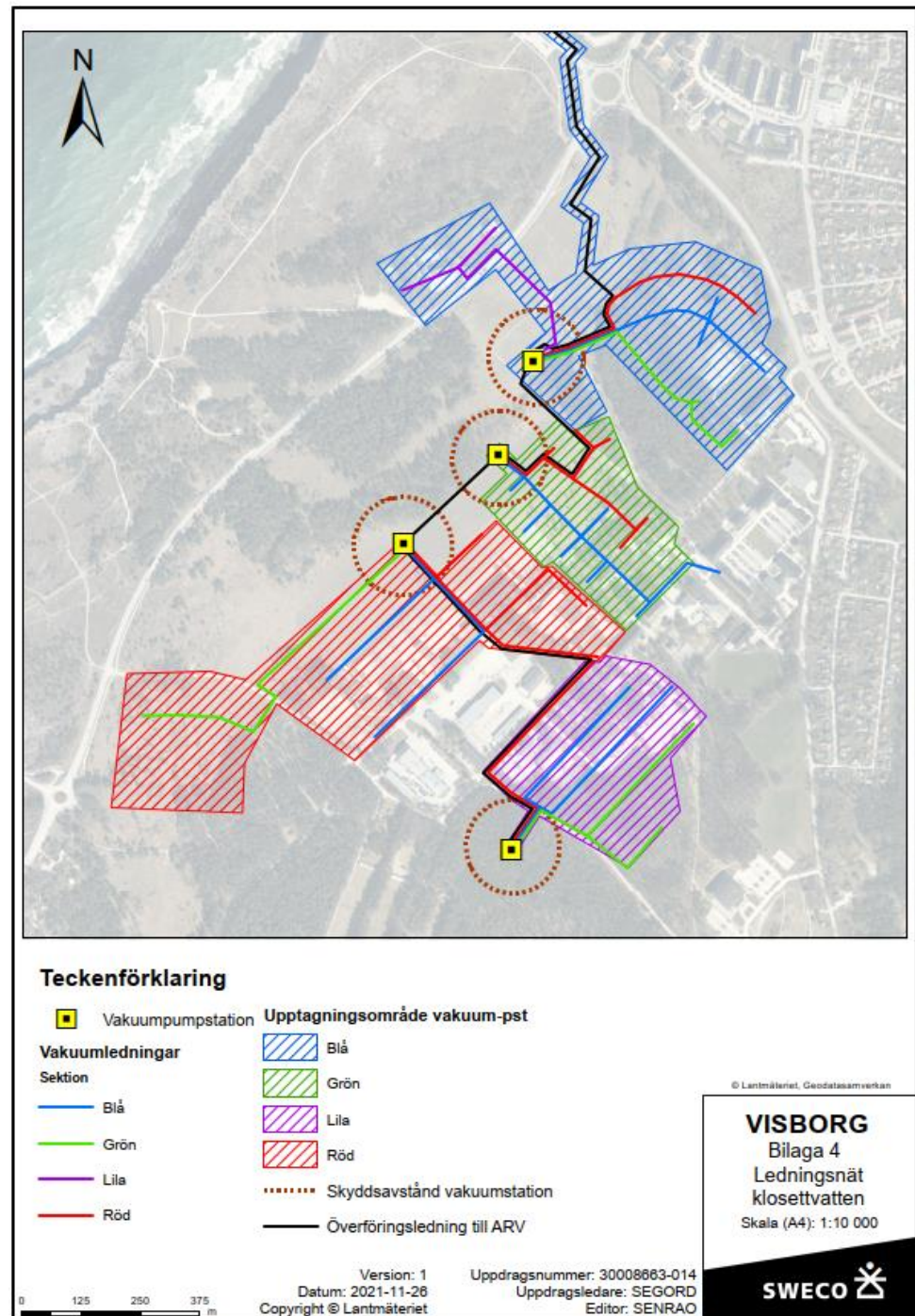
Utgångspunkten för ledningsdragningen har varit att så långt som möjligt dela upp vakuumsystemet i mindre delar/sektioner.

Under genomförandet av förstudien har rådgivning inhämtats från två olika leverantörer av vakuumsystem, Roediger och Jets. De båda leverantörerna använder sig delvis av olika tekniska lösningar och anordningstyper och rekommendationerna från de båda leverantörerna skiljer sig därför från varandra. Som exempel menar leverantören Roediger att antalet vakuumpumpstationer bör kunna minskas från denna rapportens förslag om fyra vakuumpumpstationer, i områdets norra del, till kanske två eller rent av en enda för hela området.

Roediger påpekar att vakuumpumpstationerna står för en betydande del av kostnaden i investeringsskedet och att antalet därför bör minimeras. Leverantören Jets är av helt annan uppfattning och menar att vakuumpumpstationer snarare kan byggas ut som flera mindre enheter succesivt efterhand som exploatering sker. Jets menar att luktolägenheter från vakuumpumpstationer inte utgör något problem.

Den sektions- och vakuumsystemsindelning som föreslås i förstudien innebär att två till fyra separata vakuumsystem (sektioner) utförs till respektive vakuumpumpstation med indelning som framgår av Figur 3-6. Detta bedöms utgöra ett balanserat förslag som föreslås utgöra utgångspunkt för framtida detaljprojektering när mer detaljerad information om bebyggelse och pe-tal föreligger. Det kan således ske förändringar under detaljprojekteringskedet, både genom utökad

antal sektioner och genom minskat. Sådan förändring bedöms dock inte få någon avgörande effekt rörande behovet av antal vakuumpumpstationer.



Figur 3-6. Figuren visar föreslagen sektionindelning och föreslaget upptagningsområde enligt "Förstudie Huvudledningsnät".

Ju färre toaletter som används samtidigt inom samma sektion, desto mindre effekt kan pumparna ha vilket minskar bullret vid spolning. Därför kan fler toaletter installeras om exempelvis kontor och bostäder ansluts till samma sektion än om det

endast är bostadsbebyggelse eller kontor. Längre sugledning ger också högre ljud (större effekt krävs).

I det system Sweco projekterat saknas redundans i ledningsnätet medan redundans finns i pumpstationerna genom parallellkopplade pumpar. Eftersom flera hus kopplas till samma sektion kan det bli en viss utmaning i att felsöka om en toalett är ur funktion. Metoden blir att stänga ventiler och söka sig fram.

Region Gotland har ännu inte handlat upp en vakuumleverantör. Detta kommer att vara ett viktigt nästa steg. Det är möjligt att välja olika leverantörer för varje pumpstation och tillrinningsområde men givetvis finns det samordningsvinster med att en och samma leverantör väljs för hela Visborgsområdet. I driftskedet blir det enklare om kontakter endast behöver hållas med en leverantör och det blir också enklare att bygga upp ett reservlager eftersom leverantörernas komponenter skiljer sig åt samt enklare för driftpersonalen att endast lära sig en typ av vakuumsystem. De kontakter Sweco haft med två leverantörer visar att deras system skiljer sig åt utifrån flera olika aspekter såsom exempelvis avstånd mellan brunnar, ledningsdimensioner, ventiler och pumpar. Båda leverantörerna klarar att anpassa sig till de förutsättningar som följer av Swecos förstudie.

### **3.5.3 Behandlingsanläggning**

#### **Svartvatten - behandling**

Även om svartvatten kommer att ledas till Visby reningsverk i en separat ledning kommer det i ett första skede ledas in i reningsverket och blandas med övrigt spillvatten. Hur svartvatten ska hanteras kommer att utredas längre fram men huvudspåret blir att få avsättning för svartvattnet på åkermark. I en utredning som genomfördes hösten 2019 (Emilsson & af Petersens, 2020) tittade Sweco mycket översiktligt på tre olika alternativ för behandling av svartvattnet: svartvatten direkt till röt-kammare i Visby reningsverk, svartvatten till inloppet i Visby reningsverk, samt omhändertagande av svartvatten i en separat process.

Av dessa rekommenderade Sweco svartvatten till separat process eftersom det skulle förbättra möjligheten att recirkulera växtnäring. Den separata process som rekommenderades var antingen mekanisk rening + SBR/UASB + slamavvattning eller våtkompostering + ureahygienisering. Det ska tilläggas att det finns fler möjliga alternativ men dessa har ännu inte utretts.

Sweco såg, i utredningen, inget problem med att leda svartvatten från Visborg till inloppet i Visby reningsverk på grund av att mängden skulle vara så liten, men man såg inte heller några fördelar med att göra så.

Alternativet att leda in svartvatten direkt i röt-kammaren rekommenderades inte med följande argument:

- Dagens stora hydrauliska belastning på röt-kammaren skulle förvärras
- Mekanisk rening är nödvändig



- Tveksamt att förtjocka svartvattnet utan föregående behandling
- Problematiskt ur arbetsmiljösynpunkt med tanke på svavelvätebildning och lukt mm.
- Svartvattnet är inte homogeniserat

### **Spillvatten och gråvatten – behandling**

Målet är att gråvattnet ska renas till dricksvattenkvalitet för att kunna förstärka Visbys vattenförsörjning. Gråvattnet ska ledas till ett särskilt gråvattenreningsverk, troligen i Visborgsområdet, se Figur 3-5. Placeringen är än så länge endast preliminär. Eftersom det befintliga ledningsnätet i Visborgsområdet är tillräckligt dimensionerat kommer gråvattnet kunna ledas i detta och vidare till Visby reningsverk tills gråvattenreningsverket är utbyggt. Delströmmar från processen kommer också kunna ledas till Visby reningsverk.

För att välja teknik för gråvattenreningsverket har Region Gotland, med hjälp av Sweco, påbörjat en förstudie för en pilotanläggning som ska vara klar våren 2023. Tanken är att pilotanläggningen ska placeras i Visborgsområdets norra del och ta emot och analysera delar av gråvatten från den första utbyggnadsetapp som planeras. Gråvatten-piloten kommer troligen dimensioneras för ett flöde av ca 2 m<sup>3</sup>/h. Tanken är att gråvattnet ska renas till dricksvattenkvalitet i en och samma anläggning. Analyser bedöms behöva pågå under ca 1 års tid. Därefter finns förhoppningsvis ett bra underlag att gå vidare med för det stora gråvattenreningsverket. En systemanalys kommer också att genomföras som är avgränsad till gråvattenreningsverket. Det gråvattenreningsverk som byggs i fullskala för rening till dricksvatten ska ta emot gråvatten från hela Visborgsområdet, dvs ca 4000 bostäder och ett ännu ej beslutat antal verksamheter. Detaljprojektering av ledningsnät och gator i denna del, som omfattar ca 700 lägenheter, är planerad till 2024 men det finns risk för förseningar. Region Gotland kommer söka pengar för att bygga och utvärdera pilotanläggningen för gråvatten.

#### **3.5.4 Ekonomi**

Merkostnaden för ett källsorterande spillvattensystem i hela Visborgsområdet uppskattas till 136 Mkr, vilket motsvarar ca 16% av den totala kostnaden för VA-utbyggnaden. I beräkningen ingår det planerade gråvattenreningsverket och VA-huvudmannens anläggningar i mark med pumpstationer. Merkostnader för vakuumtoaletter och vakuumledningar inne i byggnaderna ingår inte och inte heller behandlingen av svartvattnet.

## 4 Stockholm

Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) medverkar i projektet MACRO 3 för att undersöka möjligheterna för en decentraliserad hantering av framför allt avloppsvatten i Loudden, en mindre del av exploateringsområdet Norra Djurgårdsstaden i Stockholm.

Hantering av vatten- och avlopp i Stockholms stad har en lång historia. I början av 1800-talet drabbades staden av stora kolerautbrott med tusentals döda. I och med att orsaken till kolerautbrotten kunde härledas till kontaminerat grundvatten, som hämtades från gemensamma brunnar, påbörjades utbyggnaden av ett kommunalt dricksvattensystem i staden. När sedan vattenklosetten introducerades i slutet av 1800-talet påbörjades även utbyggnaden av ett avloppsledningsnät. Avloppet leddes till närmaste recipient och efter en kort tid blev förhållandena vid utloppen outhärdliga. Staden beslutade i tidigt 1900-tal om att påbörja utbyggnaden av ett avloppsreningsverk vid Henriksdal.

Genom åren har vatten- och avloppsnäten växt och når idag i princip hela Stockholms kommun. Avloppsvatten renas vid något av de tre avloppsreningsverken. Införandet av vatten- och avloppshantering i Stockholms stad förändrade framför allt hälsosituationen radikalt. Efter hand har avloppsvatten och restprodukterna från reningsprocessen alltmer börjat betraktas som en tillgång snarare än en restprodukt. Sedan slutet av 1900-talet värmeväxlas det utgående avloppsvattnet från avloppsreningsverken till fjärrvärme. Vidare rötas avloppsslam till biogas och slammet har idag den kvalitén att det kan spridas på åkrar. Utmaningen framöver i det centrala avloppsreningsverket är att till exempel producera än mer värme och än mer biogas, troligen genom kortare transportvägar och utveckling av processer.

### 4.1 Områdesbeskrivning - Norra Djurgårdsstaden

Norra Djurgårdsstaden är ett av Europas största stadsutvecklingsområden och Stockholms stads utpekade hållbarhetsprofilområde. Totalt planeras för minst 12 000 nya bostäder och 35 000 nya arbetsplatser. Genom hållbarhetsprofileringen har Stockholms stadskommunfullmäktige gett stadens förvaltningar och bolag i uppdrag att testa och utveckla nya och mer hållbara arbetssätt och lösningar för att bygga hållbar stad. Uppdraget omfattar bland annat att utveckla och testa sorterande system för att öka resurseffektiviteten och innovationshöjden samt minska miljöbelastningen.

Stockholms stad arbetar med ett planprogram för Loudden som ligger i Norra Djurgårdsstaden och 2024 ska arbetet påbörjas med den första detaljplanen. Inriktningen är att cirka 4 000 bostäder och 2 000 arbetsplatser ska byggas i Loudden. Förutom bostäder är området tänkt att rymma handel, skola, förskolor, idrottsanläggningar samt torg och parker. Området har närhet till Stockholms innerstad, havet och Nationalstadsparken. Se Figur 4-1 för lokalisering.



Figur 4-1. Karta över nordöstra Stockholm, Norra Djurgårdsstaden (röd markering) och Loudden (blå markering).

Utvecklingen av Loudden blir en del av stadsbyggnadsprojektet Norra Djurgårdsstaden. Detta innebär bland annat att området kommer att vara hållbarhetsprofilerat, där fotgängare, cykel- och kollektivtrafik, utvecklad grönstruktur samt ekosystemtjänster prioriteras. Oljeverksamheten i området har avslutats och bolagen har inlett sina rivnings- och saneringsarbeten. Staden kommer utföra kompletterande sanering för att marken ska vara tillräckligt ren för att bebyggas. Denna sanering kommer utgå från planeringen av området tillsammans med platsspecifika riktvärden. Containerterminalen flyttade till en ny hamn i Norvik våren 2020 och staden förbereder under 2022 att flytta krossverksamheten från Södra Värtahamnen till Containerhamnen. Den första bebyggelsen beräknas påbörjas 2027 och hela området vara färdigt cirka tio år senare. Målsättningen för området är att förse samtliga bostäder och verksamheter med ett källsorterande avloppssystem.

#### 4.1.1 Tidigare MACRO-projekt

Frågan om sorterande avloppssystem i Norra Djurgårdsstaden har utretts sedan 2010, då det första hållbarhetsprogrammet innehöll målsättning om att testa och utveckla sorterande avloppssystem för ökad växtnäring- och energiåterföring. Senare utreddes möjligheten att införa ett svartvattensystem (separat insamling av toalettavatten) i delområdet Södra Värtan. Två separata ansatser har gjorts, dels en projektintern med transport av obehandlat klosettavatten och behandling utanför staden, och dels en med insamling och behandling av klosettavatten i stadsdelen. Den senare gjordes inom ramen för MACRO steg 2. Resultaten från utredningar och studier visar de fördelar som finns med sorterande avloppssystem. Eftersom en ny reningsanläggning byggs från grunden uppstår en rad fördelar:

- minskad risk för övergödning
- minskade utsläpp av växthusgaser som lustgas
- minskade utsläpp av patogener och läkemedelsrester till vattenmiljö

Ökad resurseffektivitet är en annan drivkraft med ökad potential för utvinning av biogas, återföring av all växtnäring samt minskad vattenanvändning och ökad möjlighet för återanvändning av vatten skapas.

## 4.2 Vision och mål

SVOA:s mål och vision är att ha fortsatt tydlig miljöprofil och säkerställa leverans av hälsosamt och gott vatten till hushåll och verksamheter i Stockholm och ombesörja avloppshantering av god kvalitet med så liten miljöpåverkan som möjligt. Bolaget ska arbeta för att kunna öka återvinningen av näringsämnen från avloppshandlingen utan att miljöbelastningen ökar samt säkerställa teknik och metodval för läkemedelsrening av avloppsvatten.

Bolaget ska medverka till en effektiv och hållbar avfallshantering och återvinning i staden för att uppnå målet om resurseffektiva kretslopp.

Avgifterna för allmänna vattentjänster ska sättas på en nivå som motsvarar och säkerställer en långsiktigt hållbar finansiering av verksamheten, det vill säga för säker dricksvatten- och avloppshantering och ökat underhåll av VA-nätet.

### **Bolagets vision är:**

- *Tillsammans för världens mest hållbara stad*

### **Bolagets verksamhetsidé är:**

- *Vi är en samhällsbyggare i framkant som driver och utvecklar vatten- och avfallstjänster med miljöfokus för invånare, företag och intressenter i ett Stockholm som växer*

### **Bolagsmål:**

Bolaget har fyra bolagsmål vilket är följande:

1. *Leder vatten- och avfallsbranschens utveckling 2025*
2. *Inspirerar och förenklar för stockholmarna att göra aktiva och hållbara val 2025*
3. *Verksamheten är resurspositiv 2030*
4. *Når nollvisionen för oplanerade störningar 2030*

Målen beskrivs i broschyren *Bolagsmål* som återfinns på bolagets intranät.

### **4.2.1 Vision och mål – Norra Djurgårdsstaden**

Program för Hållbar Stadsutveckling i Norra Djurgårdsstaden är det stadsövergripande, gemensamma styrdokumentet för stadsutvecklingen i Norra Djurgårdsstaden. Programmet omfattar exempelvis mål för att öka hållbarheten i avloppshantering. Principen är att resursflöden som energi-, vatten-, avlopps- och avfallsystem ska integreras, för att optimera synergieffekter. Spillvärme och biogas från



både klosettvattnen och matavfall i avloppet är viktiga resurser i energisystemet, näring och vatten från avloppet är viktiga resurser för odling och grönstruktur och dagvatten ska fördröjas i växtbäddar. Studier för ytterligare samverkan mellan system görs i tidigt skede.

I den senaste versionen av Programmet (2021) för ett resurseffektivare vatten- och avloppssystem är målen att:

- Öka återvinning av fosfor och kväve från avlopp
- Öka återvinning av spillvärme från avlopp per capita jämfört med Henriksdals reningsverk
- Optimera biogasproduktionen från avlopp
- Renat gråvatten tillgängliggörs för bevattning
- Vattenanvändning är 30 procent lägre än genomsnittlig användning i Stockholm

Exploateringsnämnden och Stockholm Vatten och Avfall har i samarbete med stadens bostadsbolag huvudansvar för målen. Exploateringsnämnden med stöd av Stockholm Vatten och Avfall ansvarar för uppföljning av målet.

Dessutom är ett av målen att utveckla kunskap och erfarenhet genom samverkan och innovation där Norra Djurgårdsstaden ska vara en testbädd. Exploateringsnämnden i samarbete med samtliga nämnder och styrelser har huvudansvar för målet.

#### **4.2.2 MACRO 3**

I MACRO 3-projektet har SVOA undersökt hur ett lämpligt transportsystem för ett sorterande avloppssystem kan byggas men även studerat förutsättningar för en decentraliserad anläggning (näringsfabrik) där produkter skapas på ett resurseffektivt sätt. Arbetet har omfattat att studera vilka möjliga återföringstekniker som kan vara möjliga i en självförsörjande näringsfabrik. Därtill har arbetet även omfattat att undersöka vilka användningsområden det finns för producerade produkter från avloppshanteringen och särskilt näringsfabriken. Drivkraften för källsorterande avloppssystem i Stockholm är att främst avlasta Henriksdals reningsverk, och därmed skjuta utökning av reningskapaciteten framåt. Därtill kommer särskilda krav inom Norra Djurgårdsstaden-projektet.

#### **Vision och mål för ett lokalt sorterande avloppssystem (LSA-system) och näringsfabrik**

Förslag på *Vision och mål för ett LSA-system och Näringsfabrik* är framtagna med utgångspunkt i jämförelse med dagens avloppsreningsystem för Henriksdal och Bromma och hur väl SVOA lyckas återvinna näringsämnen, rent vatten och energi idag samt hur resursförbrukningen ser ut idag och när Henriksdal är färdigutbyggt 2030. Målen är satta att vara högre än dagens eller framtida nyckeltal i respektive område, se nedan för nyckeltal. Mål finns för samtliga strömmar, det vill säga att svartvatten, matavfall och gråvatten leds till en resursutvinningsanläggning, en så kallad näringsfabrik.

*Vision:*

Att skapa ett autonomt system för en stadsdels VA-lösning, det vill säga en frikopplad och självförsörjande anläggning som skapar produkter för närområdet. Systemet bör på sikt vara kostnadsneutralt eller bättre jämfört med den gällande VA-taxan.

#### **Detaljerade mål för näringsfabriken:**

Under arbetet med MACRO-projektet har nedanstående detaljerade mål vuxit fram:

- *Återföring av näringsämnen*
  - Att > 80 % av inkommande totalfosfor i avloppsvattnet kan återföras till jordbruksmark (mer än vad som kan utvinnas vid förbränning av avloppsslam)
  - Att > 60 % av inkommande totalkväve i avloppsvattnet kan återföras till jordbruksmark (mer än vad som kan utvinnas från rejecktattnet)
  - Att 100 % av anslutna hushålls matavfall kan samlas in och spridas på jordbruksmark
- *Produktegenskaper för en återvunnen näringsprodukt*
  - Att framställa en attraktiv återvunnen näringsprodukt (lätt att transportera, förvara och sprida) som är renare än dagens avloppsslam (med avseende på mikroföroreningar och tungmetaller)

- *Självförsörjandegrad*

Att vara självförsörjande med avseende på elektricitet och värme vilket innebär:

- Att minst 50 % av elektricitetsbehovet kan tillgodoses
  - Att minst 80 % av värmebehovet kan tillgodoses
- *Produktion av biogas*
    - Att > 16 Nm<sup>3</sup> biogas eller 10 Nm<sup>3</sup> metangas per PE och år produceras (större produktion än idag) från svartvatten och gråvattenslam.
    - Att lika mycket eller mer biogas kan produceras från matavfall, dvs. ≥ 6,5 Nm<sup>3</sup> biogas eller 6,3 Nm<sup>3</sup> metangas per PE och år
  - *Värmeåtervinning från gråvatten*
    - Att > 1 325 kWh värme/PE och år kan återvinnas alternativt 800 kWh värme/PE och år
  - *Återvinning av vatten*
    - Att > 90 % av inkommande gråvatten till Näringsfabriken kan återvinnas och återanvändas (för användning till ex. bevattning eller inom industri)

### **Energibehov och CO<sub>2</sub>-fotavtryck**

Att behovet av:

- Elektricitet för hela anläggningen är <48 kWh/PE och år
- Värme för hela anläggningen är <27 kWh/PE och år
- Att det totala energibehovet är <10–16 kWh/kg ammoniumkväve som återvinns (vilket motsvarar det totala energibehovet för att framställa 1 kg ammoniak via Haber-Bosch-processen/framställning av konventionell mineralgödsel) (Vitosch et al., 2019).
- Att det totala energibehovet är <3,6 kWh/kg fosfatfosfor som återvinns (vilket motsvarar det totala energibehovet för att framställa 1 kg fosfat via framställning av konventionell mineralgödsel) (Vitosch et al., 2019)
- Att det totala energibehovet är <3 kWh/kg kalium som återvinns (vilket motsvarar det totala energibehovet för att framställa 1 kg kaliumoxid via framställning av konventionell mineralgödsel) (Vitosch et.al.,2019)

**Att CO<sub>2</sub>-fotavtrycket är:**

- <- 75 kg/PE och år för hela anläggningen (med värmeåtervinning från grävatten)
- <40 kg/PE och år för hela anläggningen (utan värmeåtervinning från grävatten)
- <3,5–13,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg kväve producerad (vilket motsvarar antal CO<sub>2</sub>e/kg kvävebaserat mineralgödsel som framställs) (Brentrup et al., 2016; Greppa näringen, 2011)
- <3 kg CO<sub>2</sub>e/kg fosfor producerad (jämfört med produktion av konstgödsel) (Greppa näringen, 2011)

**Kemikaliebehov är:**

- <13,3 kg/Pe, år. dvs lägre förbrukning av kemikalier jämfört med utbyggt Henriksdal

**Utsläpp till recipient:**

- Inget utsläpp till recipient

## **4.3 Beslutsprocess**

Beslutprocessen för ett sorterande avloppssystem följer den normala beslutprocessen i staden. Tilläggas bör att SVOA i detta fall även genomför egna utredningar kring förändring av hanteringen av vatten- och avloppsfrågan. Nedan följer de olika stegen i beslutprocessen.

### **Förstudie / Markanvisning**

Ett förslag till ny detaljplan kan bland annat komma från staden själv, markägaren eller en byggaktör. Processen börjar då med en förstudie där förutsättningarna för förslaget utreds. Ligger området på stadens mark kan exploateringsnämnden ge en markanvisning. Markanvisning innebär en tidsbegränsad ensamrätt att förhandla med staden om att bygga bostäder eller exploatera marken på annat sätt. Markanvisning kan göras även efter en ny detaljplan beslutats.

### **Startskede**

I startskedet fattas beslut om att börja arbetet med en detaljplan. Stadsbyggnadskontoret gör en översiktlig beskrivning av förslaget i ett start-PM och presenterar det för stadsbyggnadsnämnden som fattar beslut om att påbörja planarbetet eller inte.

### **Planskede**

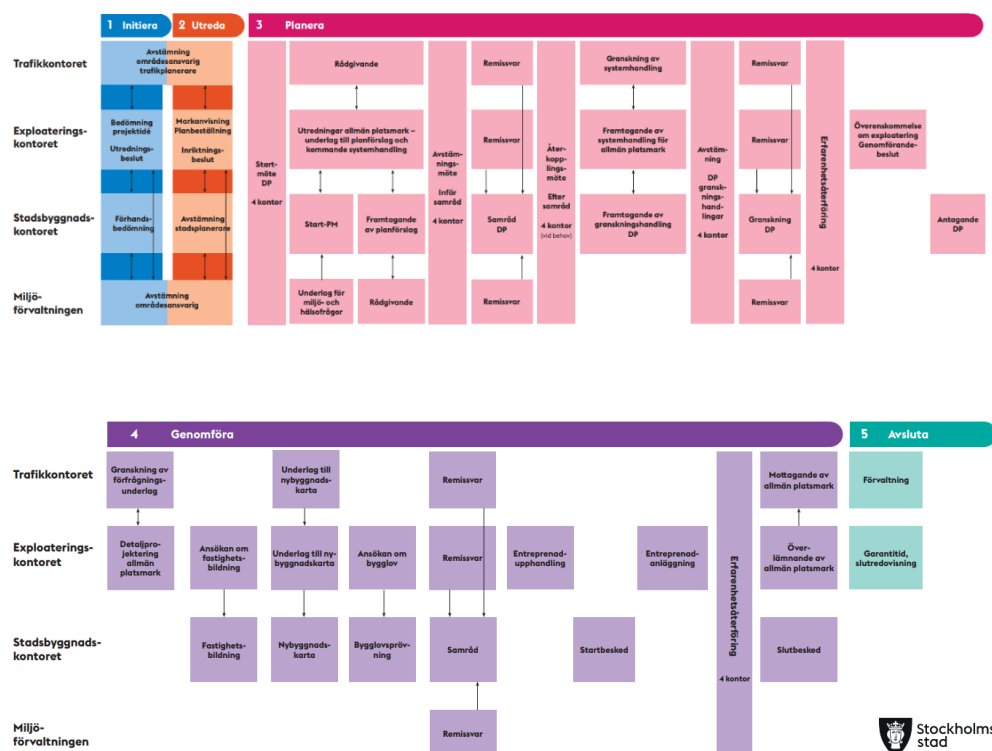
I planskedet tas ett förslag till ny detaljplan fram. En del i arbetet är att ha en dialog med de som berörs av den nya planen. Det kallas för samråd och syftet är att kända sakägare och boende får möjlighet att lämna synpunkter. Förslaget visas i Tekniska nämndhuset i Stockholm och ibland på plats i området som berörs. Ofta hålls också ett öppet samrådsmöte där allmänheten kan träffa stadsplanerare från stadsbyggnadskontoret och ställa frågor. Synpunkterna från samrådet sammanställs i en samrådsredogörelse, alternativt i ett granskningsutlåtande efter granskning.

### **Godkännande och antagandeskede**

Både kommunfullmäktige och stadsbyggnadsnämnden kan besluta om att anta detaljplaner. Kommunfullmäktige beslutar om planer Figur 4-2 av stor vikt eller av principiell betydelse. Övriga planer fattar stadsbyggnadsnämnden beslut om.

### **Laga kraft**

Detaljplanen vinner laga kraft, om den inte överklagas och inte överprövas av länsstyrelsen, inom tre veckor från att beslutet om antagande publicerats på stadens anslagstavla. Om planen överklagats och domstolen avslår överklagandet och inte ger prövningstillstånd, vinner planen laga kraft i och med avslaget. Se processen i Figur 4-2.



Figur 4-2. Ledstången, processen för genomförande av detaljplanprojekt vid exploateringskontoret och andra förvaltningar.

### Exploateringskontoret

Exploateringskontoret ansvarar för att genomföra de beslutade detaljplanerna. Processen beskrivs övergripande i den så kallade ledstången som visas i figuren ovan.

### Hållbar stadsutveckling i Norra Djurgårdsstaden

Stockholms stad arbetar sedan 1970-talet med ett heltäckande miljöprogram som omfattar samtliga stadens verksamheter. Det nu gällande miljöprogrammet (Miljöprogram 2020–2023, Stockholms stad) identifierar Stockholms mest prioriterade utmaningar. För Norra Djurgårdsstaden är miljöprogrammet omsatt till ett styrdokument för hållbarhetsutvecklingen i den nya stadsdelen (Program för hållbar stadsutveckling – Norra Djurgårdsstaden visar vägen mot en hållbar framtid, Stockholms stad 2021). Programmet fokuserar på stadsbyggnadsprinciper och hållbarhetsmål för att planera och styra både Stockholms stads och byggaktörernas bygg- och anläggningsprojekt i Norra Djurgårdsstaden.

### Stockholm Vatten och Avfalls roll

Stockholm Vatten och Avfall AB är VA-huvudman i Stockholms stad och Huddinge kommun. Bolaget medverkar i processen ovan samt även i exempelvis arbetet med översiktsplaner och annan regional och kommunal planering.

VA-verksamheten bedrivs enligt Lagen om allmänna VA-tjänster (LAV) och grunden i arbetet är att säkerställa att vattenförsörjning och avlopp ordnas i ett större sammanhang, om det behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa eller

miljön. Detta innebär i praktiken att SVOA vid behov bygger ut va-ledningsnätet inom va-verksamhetsområdet som för närvarande omfattar hela Stockholms stad och stora delar av Huddinge kommun.

## 4.4 Kommunikation och förankring

### 4.4.1 Inom Norra Djurgårdsstaden-projektet

Hållbarhetsarbetet i Norra Djurgårdsstaden genomförs i en förvaltnings- och bolagsövergripande samverkansorganisation där fokusgruppen kretslopp haft i uppdrag att koppla ihop exploateringsprocessen med utredningar och arbete som genomförs inom SVOA och andra förvaltningar. Fokusgruppen ger även förslag till hur eventuella krav i markanvisning ska formuleras. Inom ramen för hållbarhetsprofileringen genomförs även så kallade tematiska kompetensprogram riktat till byggaktörer, där kravställningar presenteras och motiveras samt att frågor kan hanteras i nära dialog med berörda sakägare. Kompetensprogrammen kompletteras med minimiässor, så kallade Forum för hållbara lösningar, där teknikleverantörer inom det tematiska området och byggaktörer kan mötas och diskutera tekniklösningar.

### 4.4.2 Inom Stockholm Vatten och Avfall

Inom Stockholm Vatten och Avfall har en intern arbetsgrupp arbetat med att utveckla tankar och målsättningar för lokala sorterande avloppssystem (LSA-system). Arbetet har varit grovt indelat i två delar, en för transportsystemet och en för själva näringsfabriken. En styrgrupp har bildats under våren 2022 med syfte att vägleda och besluta om en eventuell framtida inriktning i arbetet med LSA-system.

SVOA arbetar nu (2023) vidare med att forma en riktlinje kring hur bolaget skall arbeta med de möjligheter som sorterande avloppssystem medför.

### 4.4.3 Annan förankring och erfarenhetsutbyte

Våren 2022 medverkade även personal från SVOA i P1 i ett program med tema framtidens toaletter.

#### ***Digitala arbetsmöten med erfarenhetsutbyte har skett med framför allt följande organisationer:***

- Waternet, Amsterdam, Nederländerna
- Hamburg Wasser, Hamburg, Tyskland
- NSVA, Helsingborg
- Region Gotland, Visby

Kontakter har även förekommit med projektet Run 4 Life samt möte med representant från Vunanexus.

Studiebesöken och de digitala erfarenhetsmötena har gett de medverkande god kunskap kring olika möjligheter att transportera och återföra olika avloppsfraktioner från LSA-system.

#### 4.4.4 Omvärldsanalys

För närvarande pågår ett antal utvecklingsprojekt inom området sorterande avloppssystem. Nedan listas ett urval.

##### **Run 4 life**

Världens livsmedelsförsörjning är helt beroende av användningen av gödselmedel. De nuvarande metoderna för produktion av gödselmedel är dock inte hållbara. Avloppsvatten från hushåll innehåller många resurser: särskilt vatten, energi och näringsämnen. I de nuvarande centraliserade avloppshanteringssystemen återvinns dessa resurser till låg grad. Run4Life demonstrerar en alternativ strategi för att förbättra återvinningen av resurser från avloppsvatten, med hjälp av ett decentraliserat system där svartvatten (toalettavloppsvatten), gråvatten (annat hushållsavlopp) och organiskt köksavfall samlas in separat. Varje separat flöde får sedan den behandling som behövs för effektiv resursåtervinning, till exempel gödningsmedel. Slutanvändare och andra intressenter längs värdekedjan är viktiga aktörer i övergången till lokal resursåtervinning och återanvändning.

Mer information: [H2020 project Run4Life – Demonstrating resource recovery from domestic wastewater for use in agriculture. \(run4life-project.eu\)](https://run4life-project.eu)

Medverkande: Sneek Nederländerna, Vigo Spanien, Ghent Belgien, Helsingborg Sverige.

##### **Amsterdam – Buiksloterham**

Projekt för att undersöka och demonstrera möjligheten att minska vattenanvändning och öka återvinning av biogas samt värme.

Mer information: [Ny | för sanitet Vattennät \(waternet.nl\)](https://www.waternet.nl)

##### **Oslo – Klosterenga**

Klosterenga, ett bostadshus med 35 lägenheter i Oslo, Norge, visar hur genomtänkt byggnadsdesign i kombination med ett brett utbud av energi- och vattenbesparande funktioner kan minska energi- och vattenanvändningen. Gråvatten (från disk, dusch, tvätt) pumpas först till en septiktank med slamavskiljning under gården. Därefter pumpas sedan vattnet till ett aerobt biofilter, och sedan vidare genom ett poröst underjordfilter. Det renade gråvattnet kan användas för bevattning, släppas ut i en lokal bäck eller till närliggande avloppsledning. Ca 20 års användning visar att slamavskiljaren behöver tömmas ca en gång per år, att vissa mindre konstruktionsdetaljer behöver bytas ut men att reningsresultaten är mycket positiva. En vetenskaplig utvärdering planeras att publiceras under vintern 2022–2023.

Mer information: [Case: Decentralised Urban Greywater Treatment Plant "Klosterenga" | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!](https://www.sswm-fund.org/case-study/klosterenga)

### **Rewaise – VA-Syd m. fl.**

Syftet med den svenska delen av projektet är att undersöka hur vattenanvändningen kan förbättras med exempel från stadsutvecklingsprocessen i Sege Park och Brunnhög. Detta görs genom nya lösningar som fokuserar på att skörda och återanvända dagvatten, lokala kretslopp med näring från urinsorterande toaletter samt digitala metoder.

REWAISE utgår från tre principer:

- Värde i vatten handlar om att återvinna näringsämnen lokalt från toaletter och genom att minska konsumtionen av dricksvatten
- Värde från vatten kan skapas genom att använda regnvatten för olika ändamål och genom att utveckla lokala vattentjänster och relaterade produkter. Dessa tjänster, exempelvis lokal produktion av vatten för bevattning, gödselmedel och grönsaker, skapar även nya arbetstillfällen -direkt eller indirekt
- Värde genom vatten ska bidra till en förbättrad boendemiljö där hälsa- och välbefinnande ökar samtidigt som utsläpp, risker och sårbarhet minskar

I projektet har en mycket intressant prototyp för en toalett tagits fram. Toaletten separerar urin och i en mindre utrustning under toaletsitsen torkas urin. Restprodukten samlas i en kassett och kan användas som näring direkt, se även SLU, Uppsala nedan.

Mer information: <https://rewaise.vasyd.se/>

### **Jönköping - Taberg**

I Taberg utanför Jönköping byggs en anläggning för att rena gråvatten och regnvatten. Det reade gråvattnet skall sedan användas för toalettspolning. Renningstekniken liknar den som används i Klosterenga men filtrering av vattnet sker även med ultrafiltrering. Efter rening samlas vattnet upp i tankar och mixas med vanligt dricksvatten. Detta p.g.a. att mängden uppsamlat gråvatten inte är tillräcklig för att täcka behovet för toalettspolning. Installationskostnaden för systemet uppgår till ca 5–6 miljoner kronor. Den årliga driftskostnaden är okänd.

### **Hamburg - Jenfelder Au**

Hamburg har byggt ett sorterande avloppssystem i exploateringsområdet Jenfelder Au. Området består av ca 800 lägenheter med ca 2400 boende. Anläggningen driftsattes runt år 2016. Svartvatten transporteras med ett vakuumsystem från Roediger. Gråvatten leds med självfallsledningar och dagvatten leds till ett dikesystem. I mitten av området finns en behandlingsanläggning. Behandlingsanläggningen tar även emot fett från närliggande fettavskiljare. I behandlingsanläggningen återförs följande:



*Svartvatten:* Biogas framställs i en fermenteringsprocess. Biogasen i sin tur driver en biogasmotor för elström. I biogasgeneratoren sker även värmeväxling till fjärrvärme. Det finns även en värmeväxlare vid det inkommande svartvattnet.

*Gråvatten:* Gråvatten har renats i en mindre testanläggning med bland annat lameller. Framöver kommer gråvattenrening att ske med ett filtermaterial och även ultrafiltrering.

*Dagvatten:* Dagvatten renas och tas omhand i en blå-grön lösning.

### **Helsingborg – Oceanhamnen**

Personal från SVOA har vid flera tillfällen besökt anläggningen i Helsingborg. För detaljer se kapitel 2 i denna rapport.

### **Fjordbyen, Norge**

I Norge planeras för ett industri- och handelsområde som omfattar ca 100 hektar och som kommer att ge uppskattningsvis 16 000 nya invånare och 11 000 arbetsplatser. De första bostäderna i Fjordbyen planeras starta 2025 och omvandlingen av området till en ny stadsdel kommer att pågå över 50 - 60 år - motsvarande 150 bostäder per år.

Utvecklingen i Fjordbyen vid Drammensfjorden ska följa upp kommunens ambitioner om ett nollutsläppsperspektiv. Planering ska göras för en hållbar infrastruktur som tar hand om samhällsutvecklingen och framtida krav på avloppsrening och resursutnyttjande.

Decentraliserade lösningar kan erbjuda alternativ i början av ny utveckling, både i avvaktan på kapacitet på befintliga ledningssystem och för att driva infrastrukturkostnaderna framåt. Detta hindrar inte anslutning till en central anläggning i ett senare skede.

I slutrapporten kartläggs olika system för hur VA-lösningen kan se ut för området, där ingår källsorterande system med separat svartvatten och gråvatten och olika behandlingar (Multiconsult m. fl., 2022).

### **Paris**

I Paris finns det planer på att installera urinsorterande toaletter i ett ekokvarter med 1 000 invånare som byggs i stadens 14:e distrikt. Urinen ska samlas in och omvandlas till gödningsmedel i Saint-Vincent-de-Paul-projektet.

Mer information: [Saint-Vincent-de-Paul \(Paris 14th\) | Paris & Métropole Aménagement \(parisemetropole-amenagement.fr\)](#)

### **Hydraloop**

Hydraloop är en produkt för lokal gråvattenrening. I sex reningssteg renas gråvatten (ej diskmaskinsvatten) till ett tekniskt vatten som kan återanvändas för exempelvis toalettspolning eller dusch. Apparaten är ungefär lika stor som ett kylskåp och förutom det tekniska vattnet finns en liten restprodukt som leds till avloppet.

### **SLU, Uppsala**

Forskargruppen för Kretsloppsteknik på institutionen Energi och teknik på SLU utvecklar en metod för att separera urin, behandla det så att de viktiga näringsämnen inte bryts ned, och torka dessa till koncentrerade näringspellets.

### **Bornsjön**

Stockholm Vatten och Avfall sköter egendomarna kring Bornsjön. Målet är att långsiktigt trygga Bornsjön som vattentäkt. Skogsbruket bedrivs varsamt utan kemikalier och jordbruksdriften är underkastad restriktioner, bland annat sker ekologiskt jordbruk. För att följa tillståndet i sjön görs provtagningar både i sjön och i dess tillflöden. Bornsjön har besökts i syfte att diskutera som möjlig avsättning för produkter från näringsfabriken.

### **Skogaberg**

I början på 2000-talet byggdes bostadsområdet Skogaberg i Göteborg. Området byggdes med ett källsorterande avlopp i form av att svartvatten från vanliga toaletter (4/2 liter spolning) togs om hand i separata ledningar. Dessutom installerades avfallskvarnar som kopplades på svartvattensystemet. Systemet anslöts till en utvecklingsanläggning där olika metoder för näringsåterföring testades.

Projektet sammanfattas i en rapport (Karlsson et. al 2008) med att svartvattensystemet vid Skogaberg skulle gå att bygga i större skala, men det går att öka återföringen av näringsämnen från avlopp med bättre alternativ. Det befintliga avloppssystemet kan utvecklas med källkontroll eller förändrad behandling på det centrala ARV, så att bättre gödsel erhålls. Detta gäller i synnerhet om huvudsyftet är att återvinna fosfor. Separeringen av svartvatten och gråvatten i separata ledningsnät har inte lett till fler avloppsstopp i svartvattenledningen.

### **Svenskt Vatten**

Branschorganisationen Svenskt Vatten gör inget direkt ställningstagande kring hur framtidens avloppssystem skall utformas. På en direkt fråga nämns att "den lösning som bäst passar angiven plats är den som bör praktiseras" (e-post K Westling). Organisationen har även tagit fram en vision kallad *Framtidens hållbara VA-leverans - Utblick 2050*. I visionen återfinns följande text vilken i stor utsträckning kan relateras till LSA-system:

#### *Det hållbara och cirkulära samhället*

Samhället är beroende av vattnets kretslopp, alltifrån livgivande vatten och hälsosamt dricksvatten till hantering av regnvatten och avloppsvatten. Vattnet som återvänder till vattendragen ska vara fritt från skadliga ämnen, så att en levande frisk natur bibehålls och för att så småningom bli dricksvatten igen. Vårt framtida samhälle präglas av hållbara flöden av resurser och vår samlade förmåga att nyttja dessa resurser effektivt. Genom hållbara produktionskedjor och produkter skapar vi förutsättningar till återanvändning, återföring och cirkulation. Dagens reningsverk blir resursverk och produktionsanläggning för biogas, näringsämnen och olika

nivåer av vattenkvaliteter anpassade efter kundens behov och användningsområde. Genom att utvinna nyttigheter i hela flödet breddar vi branschens nuvarande uppdrag bortom dagens vattenleverans. Framtidens VA levererar samhällsnytta i ett vidare perspektiv.

*Resan går mot:*

- Ett hållbart kretslopp och effektivt resursutnyttjande
- Giftfria produktionskedjor
- Fossulfria energikällor

## 4.5 Tekniska vägval

Ett LSA-system ställer nya krav på VA-organisationen och traditionella värderingar behöver omprövas. Även boende och fastighetsägare kommer att påverkas och behöva ta ställning till nya lösningar.

### 4.5.1 Teknisk utveckling och utmaningar

Nedan följer en beskrivning av utmaningar och möjligheter som SVOA ser för några av de olika avloppsfraktionerna:

- Svartvatten – vid användning av dagens toaletter används två och fyra liter vatten i samband med spolning. Inom området LSA nämns ofta möjligheten med att använda vakuumdrivna system för att transportera svartvatten från bostäder till en så kallad näringsfabrik. Ett vakuumdrivet system använder en mindre mängd vatten per spolning, ca en liter per spolning. Effekten är ett mer koncentrerat avloppsvatten vilket i sin tur är en fördel vad gäller återföringen av näringsämnen i näringsfabriken. Nackdelen med ett vakuumsystem är högre energiförbrukning (än i ett självfalls-system) samt höga LCC-kostnader som drivs av underhållsarbete och upprepade reinvesteringar.
- Gråvatten - gråvatten är ett avloppsvatten med ett stort energiinnehåll och möjligheten att återvinna värme nära användaren ökar effekten på återföringen jämfört med den återföring som sker i dagens storskaliga system. Exempelvis kan varmvatten förvärmas på lägenhetsnivå men även lagring i ackumulatortankar centralt i en fastighet är en möjlighet. Möjlighet för användning av behandlat gråvattnet till t.ex. bevattning finns också vid separering av avloppsströmmarna.
- Urin – urin kan avskiljas med särskilda toaletter. För att minska vattenförbrukningen har denna typ av toaletter ofta ett separat vattenlås. Erfarenheter från exempelvis Understenshöjden i Stockholm (muntlig kontakt Nils Söderlund) visar att den minskade mängden vatten kan leda till kristalliserings effekter, särskilt vid större mängder koncentrerat urin. En lösning på

ovanstående problem kan vara att använda sig av metoden urintorkning som utvecklats inom projektet Rewaise.

De relativt höga koncentrationerna i källsorterad urin, i jämförelse med blandat avloppsvatten, öppnar upp för en potentiellt sett mycket effektiv behandling för återvinning av näringsämnen och rening av läkemedelsrester. För att separera urin med syftet att återvinna näringsämnen finns en rad tekniska hinder som måste övervinnas och mycket forskning har skett på området under de senaste 15–20 åren. Utveckling sker även på toalettutformning för att användaren inte ska behöva ändra sitt beteende. Se vidare Bilaga 3 för beskrivning av metoder.

- *Matavfall - en stor potential finns i att utvinna energi från insamlat matavfall i stadsdelen. Detta sker redan samt planeras ske med köksavfallskvarnar och pumpning (eller vakuumsystem) till en central uppsamlingsstation. För närvarande transporteras det insamlade kvarnade matavfallet vidare till Gladö i Huddinge kommun för rötning. I framtiden skulle matavfallet kunna rötas i anslutning till näringsfabriken.*

### **Mer om toaletter**

Den mängd vatten som används vid spolning i en vanlig toalett beror i hög grad på ett krav från standarden SS-EN 799 om att omsätta vattenmängden som finns i toalettens vattenlås. Storleken på vattenlåset, och den mängd vatten som används, beror i sin tur på ett annat standardiseringskrav och byggregler, nämligen att toalettens anslutning skall ha en minsta dimension av 100 mm. I områden där fastigheter är anslutna till slutna tankar finns numera ofta ett krav om att de toaletter som används skall vara "extremt snålspolande". Detta har fått till följd att det numera finns toaletter som med hjälp av ett extra vattenlås för enbart urin möjliggör att en mindre mängd vatten används för spolning av enbart urin.

Nackdelen med dessa toaletter är att i dagsläget hanteras inte exempelvis toalett-papper som används när toalettbesökaren utför "nr1". Vidare nämns i projektdiskussioner att toaletterna upplevs förfulande av en del användare. Ytterligare en utmaning för ett självfallssystem med extremt snålspolande toaletter är den vidare transporten av svartvatten till näringsfabriken. Den minskade vattenmängden gör att risken för stopp ökar.

Möjligheten att använda extremt snålspolande toaletter gör att det går att minska vattenvolymen i det utgående svartvattnet. Vissa toalettmodeller av typen extremt snålspolande kan i praktiken ge betydligt lägre vattenanvändning än många andra toaletter och systemlösningar vilket kan påverka reningsprocessen av svartvatten positivt. Se sammanställning av vattenförbrukning för olika toaletter nedan.

Parallellt med MACRO 3 – projektet pågår metodutveckling för torkning av urin inom Rewaise-projektet, där man använder sig av Laufen-toaletter. Vattenlåset i denna toalettmodell är 0,65 liter och kanske är det en framtida lösning för en mer

användarvänlig lågspolande separerande toalett? Detta visar även på den teknikutveckling som sker inom området. Exempel på vattenförbrukning redovisas nedan:

*Dagens vanliga toaletter:*

ca 8 besök per dag fördelat:

nr 2 en gång x 4 liter vatten = vattenanvändning 4 liter

nr 1 sju gånger x 2 liter vatten = vattenanvändning 14 liter

Total vattenanvändning 18 liter per person och dygn.

*Vakuumtoalett:*

ca 8 besök per dag fördelat:

nr 2 en gång x 1 liter vatten = vattenanvändning 1 liter

nr 1 sju gånger x 1 liter vatten = vattenanvändning 7 liter

Total vattenanvändning 8 liter per person och dygn.

Flera tillverkare (muntlig kontakt Strandberg 2022) pekar dock på att dubbelspolningar förekommer, och därför är den praktiska vattenförbrukningen till ca 10 liter per person och dygn.

*Extremt snålspolande toalett (ex Wostman eco-flush):*

ca 8 besök per dag fördelat:

nr 2 en gång x 2 liter vatten = vattenanvändning 2 liter

nr 1 sju gånger x 0,3 liter vatten = vattenanvändning 2,1 liter

Total vattenanvändning 4,1 liter per person och dygn

Även om standarden SS-EN 799 ställer krav på vattenlåsets volym så finns det möjlighet att utveckla de toalettlösningar som vi använder i våra bostäder med avseende på vattenanvändning och det avloppsflöde som genereras.

#### **4.5.2 Utmaningar för ett LSA - självfallssystem**

En utmaning för ett gravitationsdrivet LSA-system med extremt snålspolande separerande toaletter är att den minskade vattenmängden kan öka risken för stopp i ledningsnätet både inom den privata delen och i den allmänna delen av ledningsnätet. I de fall som extremt snålspolande toaletter används rekommenderas att ledningar byggs med minst 10 o/oo lutning. För att motverka stopp i ledningsnätet finns olika möjligheter:

- En lösning är att installera produkten flödesförstärkaren (producerad av Gustavsberg / Villeroy/Boch). Flödesförstärkaren är en liten tank (ca 18 liter) som monteras direkt på avloppsledningen i fastigheten. Vatten samlas i tanken och när den är full töms den med en hävertteffekt vilket ger en spoleffekt i ledningarna

- Ytterligare en lösning är att i det allmänna ledningsnätet installera en Berliner klappe eller Frankfurter wippe som med hjälp av en vippan samlar avloppsvatten som sedan, genom att vippan fälls upp, spolar ledningen

Med ovanstående funktioner så finns det möjligheter att bygga ett LSA-system med självfall, det bör dock noteras att de nackdelar som kan uppstå är följande:

- Något djupare schakter på grund av högre krav på ledningens lutning
- Någon extra avloppspumpstation kan behövas p.g.a. högre krav på ledningens lutning
- Risk för fler stopp på grund av högre krav på ledningens lutning.

För närvarande anser SVOA att ovanstående lösning inte är att rekommendera i Norra Djurgårdsstaden på grund av ovanstående nackdelar och framför allt risken för stopp i ledningssystemet. Om kravet på vatteninnehåll i svartvattenfraktionen kan ökas något, det vill säga att svartvattnet tillåts innehålla något mer vatten kommer kravet på självrensning (enligt Svenskt Vattens publikation P110) att uppnås och avloppsledningar kan byggas med självfall på normalt vis.

#### **4.5.3 Påverkan av teknikvalet i näringsfabriken beroende på flödet**

En studie har genomförts av Sweco (Bigot, 2019) på uppdrag av SVOA i syfte att utreda hur inkommande svartvattenvolym påverkar energi- och resursbehov samt utvinningsgrad av metangas och näringsämnen (fosfor och kväve) från svartvatten. I undersökningen har två olika processalternativ jämförts i kombination med två olika insamlingsystem (självfall och vakuum).

- Alternativ a: Mineralisering, utvinning av fosfor med struvitfällning efterföljd av utvinning av ammonium med ammoniumkristallisering
- Alternativ b: Koncentrering, filtrering med granulerat aktiv kol efterföljd av koncentrerings av näringsämne med membrandestillering

Resultatet från studien indikerar att inkommande svartvattenvolym framför allt har en signifikant påverkan på energi- och resursbehov samt viss påverkan på återvinningsgraden av näringsämnen hos respektive processalternativ. Energi och resursbehovet blir 4,3 ggr mer i ett självfallssystem jämfört med ett insamlingsystem med vakuum, d.v.s. proportionellt mot det antagna flödets volym. Återvinningsgraden av fosfor blir för låg i alternativet struvitfällning med insamlingsystem självfall och rekommenderas inte, se vidare avsnitt svartvatten i avsnitt 4.5.4 och Bilaga 4 för beskrivning av processalternativen "Koncentrering och Mineralisering" samt Bilaga 1 för mer detaljerade resultat.

SVOA har fortsatt studera vidare inom detta område och hur en näringsfabrik kan vara självförsörjande på energi, se vidare i avsnitt 4.5.6 och Bilaga 7.

#### 4.5.4 Behandlingstekniker för resursåtervinning i LSA-systemet

Inom MACRO 3 projektet har SVOA internt, och med stöd från RISE, studerat vilka möjligheter det finns för att behandla de olika strömmarna i ett sorterande system. Det finns flera olika tekniker för att återvinna näringsämnen ifrån avlopp. En del processer finns redan på marknaden, medan andra är under utveckling. Den tekniska utvecklingen för fosforåtervinning har kommit längst, men nu pågår även teknikutveckling inom kväveåtervinning och metoder för återvinning av svavel och kalium. Teknikkategorierna *struvitprocesser* (för fosforåtervinning) och *ammoniakstripper* (för kväveåtervinning) har högteknisk mognadsgrad och fortsätter utvecklas med olika varianter. I Sverige marknadsför Ekobalans sina processer för fosfor och kväveåtervinning. Inom kväveåtervinning utvecklar även företaget Easymining en teknik som ska vara mer resurseffektiv. I Sverige pågår också utveckling inom slamtorkningsområdet.

I Bilaga 2 beskrivs ett antal utvalda tekniker som bedöms som potentiellt intressanta för näringsåtervinning från källsorterat avlopp (matavfall och svartvatten). Samtliga tekniker (förutom återförsel av hela våtfraktionen) kräver förbehandling av det källsorterade avloppet. Detta då många tekniker kräver mineraliserade näringsämnen (jonform) samt låg andel partiklar i vätskan.

En översikt av olika återvinningstekniker för kväve och fosfor med fokus på återvinningsgrad, energi- och resursbehov finns sammanställt i Bilaga 2.

#### Urinsortering- behandlingstekniker

SVOA har även genomfört en intern studie för att uppdatera sig om läget inom området urinsortering. Mycket forskning och utveckling sker inom området och flera tekniker föreslås för separering, stabilisering, näringsåtervinning och rening av läkemedelsrester. I nuläget har två behandlingstekniker med relativt god teknisk mognad identifierats av SVOA. Dessa är applicerbara i badrums- och fastighetsskala. De två mest framstående exemplen är VUNA-processen, utvecklad av schweiziska EAWAG samt alkalisk torkning från Sanitation360 baserad på forskning från Sveriges Lantbruksuniversitetet i Uppsala. Alkalisk torkning är en metod där urin torkas i direkt anslutning till toaletten på ett alkaliskt substrat, exempelvis släkt kalk. VUNA-processen sker på fastighetsskala och använder sig av biologisk stabilisering av urinen följt av läkemedelsrening med aktivt kol och destillering till ett koncentrerat gödningsmedel.

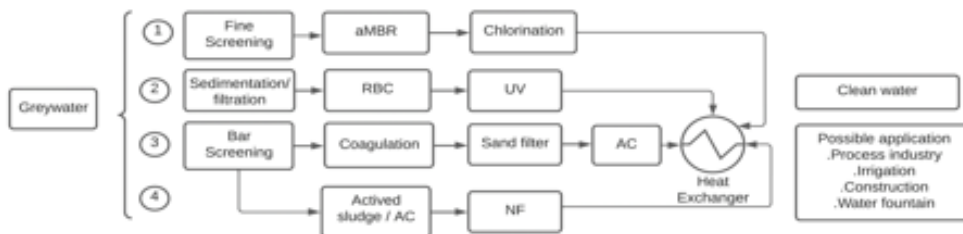
Centraliserad behandling av urin ses i nuläget som ett realistiskt alternativ då obehandlad urin inte kan transporteras på ett effektivt sätt. Beskrivning av VUNA och alkalisk torkning återfinns i Bilaga 3.

#### Behandling av gråvatten

Ett examensarbete (Seifu, 2022) utfördes under våren 2022 på SVOA, som studerade olika behandlingstekniker för gråvatten och olika ändamål inom återanvändning. Syftet var att föreslå en lämplig processdesign för behandling av gråvatten i stadsmiljö, på Loudden, Norra Djurgårdsstaden.

Fyra behandlingsprocesser valdes ut, se Figur 4-3. Behandlingsprocesserna kombinerades med förbehandling vilket är standard för att skydda efterföljande processsteg. Två av dessa behandlingsprocesser modifierades eftersom de, var och en för sig, inte skulle vara tillräckliga för att minska föroreningar och säkra applikationen för slutanvändaren. De fyra processenheternas prestanda utvärderades utifrån två kriterier:

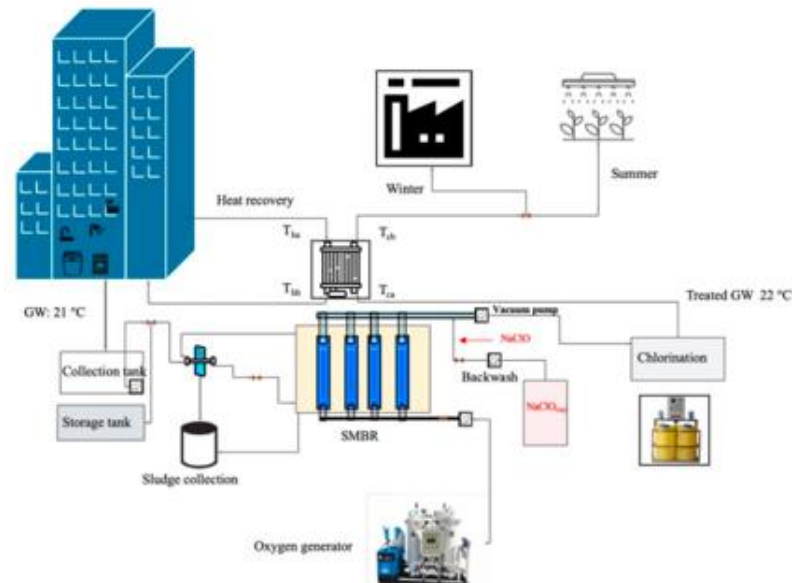
- EU:s kvalitetskriterier för återvunnet vatten under klass C
- Driftsparametrar



Figur 4-3. De fyra behandlingsprocesser som studerades i examensarbetet (Seifu, 2022).

En lista som rangordnar de viktigaste variablerna skapades för att sortera fram det bästa teknikvalet. En utvärderingsprocess visade på designernas lämplighet för den behandling som krävs. "Process Combination 1" valdes på grund av dess robusta prestanda och uppvisade inte några betydande nackdelar. Den består av ett fingaller, en submerged membrane bioreactor och ett kloreringssteg. Processdesignen innehåller värmeåtervinning och tillämpningar för återanvändning inom processindustri samt bevattning för planteringar inom området. De tekniska och ekonomiska beräkningarna baserades på det karakteriserade gråvattnet och det konstruerade flödet. Se Figur 4-4.



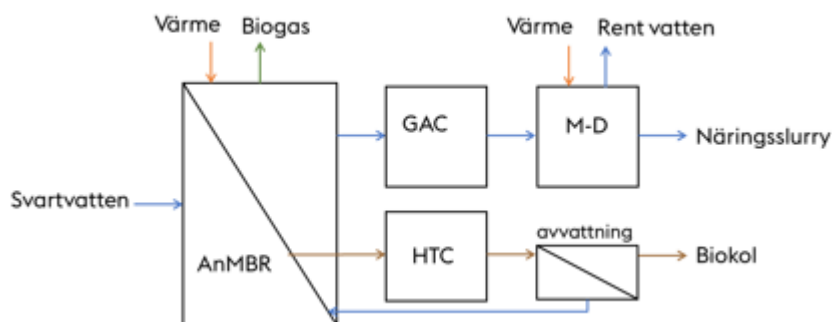


Figur 4-4. Föreslagen avancerad behandlingsteknik för grävatten i Loudden enligt Seifu, 2022 med värmeväxling och möjliga tillämpningar av renet grävatten.

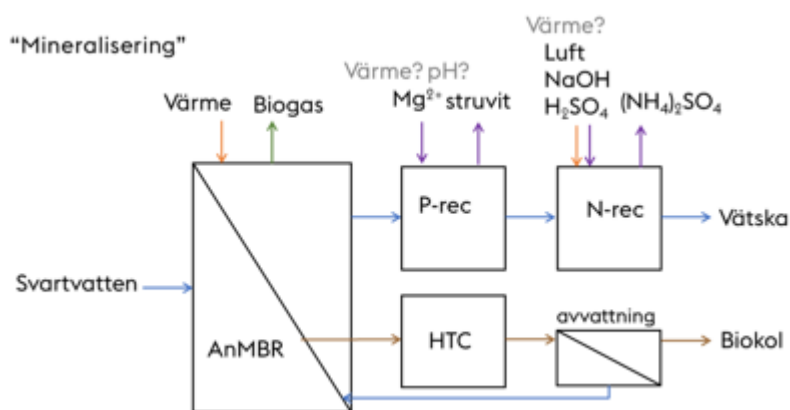
Syftet med behandlingen av grävattenfraktionen är att återvinna energi i form av värme via värmeväxling och att producera rent vatten. Det rena vattnet kan användas till olika ändamål t.ex. som tekniskt vatten inom industriella applikationer, för bevattning, för dricksvattenproduktion samt även anaerob behandling av grävattenslam för att utvinna bio- och metangas. Beroende på vad vattnet önskas användas till kan behovet av rening därför variera. Avancerad rening kan behövas om vattnet t.ex. ska kunna återanvändas som dricksvatten. Det bör dock även noteras att grävattnets innehåll och kvalitet kan variera betydligt beroende på användarna (Seifu, 2022). Grävattnets grundkvalitet och innehåll kommer därför också att påverka vilka olika typer av behandlings- och reningstekniker som kan komma att behöva tillämpas. Grävattenflödet har i den här studien antagits vara ca 125 l/p, d (Seifu, 2022).

#### Behandling av svartvatten

SVOA har studerat två förslag på utformning för behandling av svartvatten lite noggrannare och som använts vid jämförelse genom projektets gång. Processerna benämns "Koncentrering" och "Mineralisering" och visas i Figur 4-5 och Figur 4-6 nedan. För mer detaljer om processutformningen hänvisas till Bilaga 4.



Figur 4-5. Flödesschema "koncentrering".



Figur 4-6. Flödesschema "mineralisering"

Luleå tekniska universitet har utfört studie i labb med membrandestillering under MACRO 3-projektet. Deras resultat och beskrivning av experiment presenteras i Bilaga 8.

Ett första processteg för behandling av svartvatten och matavfall i Näringsfabriken skulle kunna vara anaerob behandling för att reducera COD i inkommande vatten, utvinna bio- och metangas samt att erhålla ett rejektivatten som i så stor utsträckning som möjligt är partikelfritt, har ett lågt innehåll av föroreningar samt har ett så högt innehåll som möjligt av fosfor, kväve och andra näringsämnen.

En intern studie på SVOA har genomförts för att jämföra de två anaeroba behandlingsteknikerna AnMBR (Anaerob membranbioreaktor) och UASB (Up-flow Sludge Blanket rector) för behandling av svartvatten samt att även sammanställa vilka andra alternativa anaeroba tekniker som kan finnas och vara av intresse. Se Tabell 4-1 för en sammanfattande jämförelse av UASB och AnMBR och vidare i Bilaga 5 för mer detaljer från studien.

Tabell 4-1. Jämförelse av energi-, resurs och volymsbehov, reduktion av COD, metangasproduktion samt andel av inkommande näringsämnen som återfinns i utgående vattenfas för UASB och AnMBR. (SVOA, 2022)

Parameter	UASB	AnMBR
Energibehov	Värme: 30 kWh/m <sup>3</sup> <sup>A</sup> Elektricitet: Försumbar.	Värme: 30 kWh/m <sup>3</sup> <sup>A</sup> Elektricitet: 0,19–0,49 kWh/m <sup>3</sup>
Resursbehov	Inget övrigt resursbehov.	Citronsyra: 9,3 - 35,7 kg/år <sup>E</sup> Natriumhypoklorit: 8 - 34,4 kg/år <sup>E</sup>
Behövd volym	64 - 162 m <sup>3</sup> <sup>B</sup>	64 - 162 m <sup>3</sup> <sup>B</sup>
Reduktion av COD	72 – 89 %	85 – 95 %
Produktion av CH <sub>4</sub>	0,23 – 0,48 g CH <sub>4</sub> /g COD <sup>D</sup> 0,25 – 0,33 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>C</sup>	0,35 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>D</sup> 0,23 – 0,33 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>C</sup>
Andel fosfor (P) och kväve (N) i utgående vattenfas	61 – 91 % (P) 76 – 95 % (N)	74 – 93 % (P) 75 – 96 % (N)

<sup>A</sup>Uppvärmning från 10 °C till 35 °C. Specifikt värmebehov: 1,2 kWh/m<sup>3</sup>, °C.

<sup>B</sup>För en organisk belastning på 4 kg COD/m<sup>3</sup>, d blir den behövda reaktorvolymen ca 162 m<sup>3</sup>. För en högre organisk belastning ex. 10 kg COD/m<sup>3</sup> och dag minskar den behövda reaktorvolymen till 64 m<sup>3</sup>. För mer detaljer kring uppskattade volymer, se avsnitt 4.1. och 4.2. Membrantanksvolym tillkommer för AnMBR.

<sup>C</sup>För en varierad sammansättning på spillvattnet, inkl. bl.a. både kommunalt avloppsvatten och svartvatten.

<sup>D</sup>Behandling av svartvatten.

<sup>E</sup>Tvättkemikalie för rengöring av membran.

Sammanfattningsvis går det att konstatera att AnMBR och UASB är snarlika men skiljer sig framför allt åt vad gäller energi- och resursbehovet som är högre för AnMBR då membranfiltrering tillkommer. Membranfiltreringssteget gör att mer elektricitet och tillsats av tvättkemikalier för rengöring av membranet behövs.

#### 4.5.5 Produkter från näringsfabriken

En studie har genomförts av Biototal på uppdrag av SVOA i syfte att undersöka marknaden för ett antal tänkbara produkter som skulle kunna framställas från näringsfabriken i Loudden. I studien har även urinsortering ingått som ett alternativ. Av de föreslagna produkterna kan de flesta avsättas inom Stockholms län och några av dem bedöms kunna avsättas i närområdet kring Loudden. De produkter som är mest mångsidiga och kommersiellt gångbara är ammoniumsulfat och struvit och dessa rekommenderas därför i första hand framför exempelvis torkad urin och koncentrerade näringslösningar av urin och svartvatten. Den produkt Biototal ställer sig mest tveksamma till är HTC-kol där mycket fortfarande är okänt kring dess egenskaper och användnings-områden. Biototal rekommenderar i stället att man utreder möjligheterna att producera biokol genom pyrolys, då biokol är en mer efterfrågad produkt med relativt kända egenskaper. Biogödseln som är tänkt att produceras från matavfallet från Loudden har stor potential att kunna användas i marknadsföringssyfte för att belysa kretsloppet som de boende i Loudden

bidrar till. Detta genom att sätta upp tappstationer där boende kan hämta biogödsel och använda till sina odlingar på balkonger och uteplatser. Det kan även finnas möjlighet att tillverka en konsumentprodukt som kan nå en bredare kundkrets än bara de boende i Loudden.

Gråvattnet är mer intressant som bevattningsvatten än som näringsprodukt med tanke på det lägre näringsinnehållet jämfört med det i svartvatten. Till ätbara växter krävs dock en hög kvalitet på det renade gråvattnet. Ett mindre behov av bevattningsvatten i Louddens omedelbara närhet samt nackdelar med många och lagringsbehov vintertid bidrog till att detta användningsområde valdes bort. I stället rekommenderas produkter som kan användas lokalt i bostadsområdet. Dels renat gråvatten för återcirkulerande dusch- och handfatsvatten samt möjlighet till toalettspolvatten, dels en delström som renas genom så kallade gröna väggar med växtlighet. Gröna väggar ger många fördelar både ur hälso- och miljösynpunkt i urbana bostadsområden. Exponeringen av de gröna väggarna bidrar dessutom till en del av marknadsföringen av Louddens bostadsområde.

Sammanfattningsvis har studien kommit fram till att det finns en potentiell marknad för tänkbara produkter från näringsfabriken, se vidare i Bilaga 6.

#### **4.5.6 Självförsörjande näringsfabrik**

En intern studie har genomförts på SVOA där man har undersökt om en framtida näringsfabrik i stadsdelen Loudden kan vara självförsörjande med avseende på elektricitet och värme. Som första steg jämfördes en uppskattad produktion av elektricitet och värme med behovet för respektive processalternativ och transportsystem för svartvattenströmmen. Processalternativen som jämfördes var "Koncentrering" och "Mineralisering" (som beskrivs i avsnitt 4.5.4 och i Bilaga 4) och flöden från transportsystem via vakuum eller självfall jämfördes. I nästa steg inkluderas även uppskattning för strömmarna av matavfall och gråvatten (där värmeväxlingen sker i näringsfabriken) samt en jämförelse i hur utslaget blir med olika antal anslutna i stadsdelen.

Beroende på hur mycket metangas som kan produceras sett till potentialen för produktion av elektricitet och värme (om svartvatten, matavfall och gråvattenslam skulle rötas samt om värme från gråvattnet skulle kunna värmväxlas) skulle mellan 807 – 1 100 kWh elektricitet kunna produceras per dag (med låg respektive hög verkningsgrad) och mellan 5 021 - 21 071 kWh värme per dag (med låg verkningsgrad och låg utvinning av värme från värmväxlingen respektive hög verkningsgrad och högsta möjliga utvinning av värme från värmväxlingen av gråvatten).

För behandlingen av svartvatten med de två studerade processalternativen (se avsnitt 4.5.4) samt beroende på om ett vakuumbaserat eller snålspolande insamlingssystem som används varierar behovet mellan 24,5 - 105 kWh/d elektricitet och mellan 1 200 - 21 200 kWh/d värme.

Sammanfattningsvis visar studierna att det finns potential för näringsfabriken att vara självförsörjande med energi. Självfallet beror det framtida resultatet på vilken behandlingsteknik som kommer att användas och vilket transportsystem som kommer att implementeras i stadsdelen. Ifall ett ytterligare förbehandlingssteg krävs för svartvatten betyder det att mer energi kommer att användas. Detta behöver SVOA fortsätta att undersöka och optimera.

Se vidare Bilaga 7 för mer detaljer om självförsörjande näringsfabriksstudien och dess resultat. Där presenteras också slutsatserna från ett projekt utfört av KTH-studenter (Kungliga Tekniska Högskolan) som undersökt en småskalig gasproduktion i stadsdel Loudden. Deras resultat visar att det finns potential att skapa en självförsörjande näringsfabrik med 10 000 anslutna med hjälp av biogasproduktion och värmewäxling av gråvatten. Vid självfallsledningar föreslås att inkommande till näringsfabriken uppkoncentreras före behandling.

#### **4.5.7 Ekonomi**

##### **Ledningssystem**

Kostnaderna för att bygga ett ledningssystem enligt ovan är i stort sett detsamma som för normala exploateringsområden. Utgående från dagens regelverk behöver SVOA bygga exempelvis dagvattenledningar med kapacitet att avleda en större mängd vatten än vad som egentligen krävs då åtgärdsnivån enligt dagvattenstrategin används. Samma förhållande kommer troligen att gälla vad det gäller övriga avloppsfraktioner trots att en del av gråvattnet förväntas användas och lagras lokalt inom fastigheterna för t ex återanvändning för bevattning eller recirkulation av duschvatten. Kostnaden för att bygga ledningar styrs av marknadsläget och varierar beroende på ett stort antal faktorer. Det är i och med detta omöjligt att uppskatta byggkostnaden för VA-anläggningen i Loudden.

Eftersom vakuumsystem ofta nämns i diskussionerna har en LCC-beräkning genomförts för en vakuum-anläggning. Av denna beräkning framgår att underhållskostnader och priset på energi är viktiga parametrar för en anläggnings totala kostnad över en längre tid. Kostnaden för att bygga vakuumledningar har i detta fall likställts med kostnaden för att bygga en självfallsledning. Troligen är det något mer komplext (och därmed kostsammare) att bygga en vakuumledning med regelbundna böjar.

Med en god planering kan avledningen av avloppsvatten i Loudden ske utan (eller med ett minimum av) pumpning då förutsättningar finns för att leda avloppsvattnet via borrhål till utrymmen under mark. Livscykelkostnaden för ett sådant system blir då mycket lågt då både underhålls- och energikostnader minimeras.

##### **Näringsfabrik**

De källsorterande strömmarna till näringsfabriken föreslås ledas till det nedlagda Louddens avloppsreningsverk, d.v.s. i samma utrymme som Sjöstadsverket har flyttat till. Detta möjliggör ett nära samarbete och utvecklingsarbete tillsammans med IVL (Institutet för vatten och luftvård) och KTH (Kungliga Tekniska Högskolan)

och andra intresserade forskare. I kostnadsnyttoanalysen genomförd inom MACRO 3-projektet under 2022 uppskattades investering- och driftkostnaden för ett sorterande VA-system i Loudden genom att räkna upp de faktiska kostnaderna för att bygga en liknande anläggning i Helsingborgs kommun, RecoLab, som är dimensionerad för 2 100 personekvivalenter. Investeringskostnaden för RecoLab bestod av reningsutrustning, huvudledning och ledningsnät till fastigheter, pumpstationer samt tekniska arbeten såsom el och VVS. Kostnaden för själva skalbyggnaden ingår ej i dessa beräkningar. Kapitalårskostnaden beräknas till 11,4 Mkr, utifrån en teknisk livslängd på 30 år och en samhällsekonomisk diskonteringsränta på 3,5 procent. Kostnader för kemikalier, el och fjärrvärme skalas upp linjärt, medan underhåll och arbete räknas upp gånger 3,5. Driftkostnaden uppskattades därmed till ca 7,1 Mkr, och total årskostnad uppgår till 18,5 Mkr. Kostnaden per person och år beräknas till 1 890 kr.

En driftkostnadsanalys för kemikalier för ett scenario liknade processalternativ A (se avsnitt 4.5.4) arbetades fram i ett examensarbete utfört under våren 2021 för SVOA (Gielse, 2021). Denna analys visar en kostnad på mellan 1105–2100 kr/d, efter en avräkning av försäljning av produkter. Priser som användes i driftkostnadsanalysen var från maj 2021.

I examensarbetet som studerade grävattenlösning för Loudden (Seifu, 2022) visar att investeringskostnaden för den föreslagna processdesignen för grävatten hamnar på 31 miljoner kronor. Den genererar sedan en årlig inkomst på 5 miljoner kronor med försäljning av renat grävatten och kommer, enligt nuvärdesmetoden och med en ränta på 5 %, att vara fullt betald efter 9 år.

### **Energi och livscykelkostnader för vakuumsystem**

En LCC-beräkning beskriver en anläggning eller teknisk komponents kostnader under hela dess livslängd. Typiska kostnader förutom inköpskostnader bör vara årsvisa utgifter för exempelvis el, reservdelar, underhållsarbete, utbildning, ränta och annat. LCC kan beräknas enligt följande (Idhammar, 2021):

*LCC = investeringskostnad + antal år x (årlig kostnad X + årlig kostnad Y + årlig kostnad Z ...)*

Energianvändningen för ett vakuumsystem uppskattas av Roediger till ca 11 kWh per person och år. Beräknat på ett avloppssystem (ex Loudden) som används under 100 år och att ca 15 000 pe använder systemet erhålls följande kostnadsbild och kostnadskänslighet:

*100 års användning med energipris 1 kr*

100 år x 11 kWh x 15 000 pe x 1 kr = 16,5 miljoner kronor

*100 års användning med energipris 4 kr*

100 år x 11kWh x 15 000 pe x 4 kr = 66 miljoner kronor

Investeringskostnaden för en större vakuumbstation är ca 10 miljoner kronor varav kostnaden för pumpar är ca 6 miljoner kronor. Livslängden för maskinutrustning uppskattas till 20 år och livslängden för byggnad och VVS-utrustning uppskattas till 50 år vilket ger följande livscykelkostnad över 100 år:

*Maskinutrustning (livslängd 20 år):*

*20 år x 5 = 100 år: 5 x 6 mkr = reinvestering ca 30 miljoner kronor.*

*Byggnad och VVS-utrustning (livslängd 50 år):*

*50 år x 2 = 100 år: 2 x 4 mkr = reinvestering ca 8 miljoner kronor*

Underhållskostnaden för vakuumbstationer är för närvarande okänd. En vanlig avloppspumpstation i samma storlek som planeras i Loudden har ett uppskattat underhåll omfattande ca 150 000 kr per år. Erfarenheter från NSVA och Hamburg (studiebesök Jenfelder Au 2022) indikerar att underhållskostnaden kan vara något högre i vakuumpumpstationer. Underhållskostnaden antas då vara något högre ca 200 000 kr / år vilket ger följande LCC-kostnad.

*Underhåll (årlig kostnad)*

*100 år x 200 000 kr / år = 20 miljoner kronor*

Sammantaget har en vakuumbstation en LCC-kostnad av minst ca 75 miljoner kronor utgående från ett energipris om 1 kr/kWh. En dubblerad energikostnad ökar LCC-kostnaden till ca 90 miljoner kronor.

Beroende på hur många vakuumbstationer som används i systemet kommer LCC-kostnaden att öka ytterligare. I förslagen från leverantörerna uppskattas att minst ca 5 st vakuumbstationer behövs i Loudden. LCC-kostnaden för detta system blir då minst ca 5 x 75 mkr = ca 375 mkr. Om fler fraktioner skall transporteras med vakuumb så skall även dessa adderas. Som jämförelse uppskattas LCC-kostnaden för en avloppspumpstation med centrifugalpumpar och i samma storlek till ca 26 miljoner kronor. Samtliga uppgifter sammanställda av Tyréns (Strandberg 2022).

## **4.6 Möjlig utformning av ett LSA i Loudden**

SVOA har undersökt möjligheterna att bygga ett LSA i en del av Norra Djurgårdsstaden. Till en början inriktades arbetet på delområdet Södra Värtan men på grund av stora osäkerheter och förändringar i planarbetet ändrades inriktningen till delområdet Loudden.

### **4.6.1 Hammarby sjöstadsverket**

I samband med utbyggnaden av Hammarby sjöstad så byggde dåvarande Stockholm Vatten AB en utvecklingsanläggning för forskning och utveckling av framtidens avloppsreningsteknik. Under år 2006 avyttrades anläggningen till en stiftelse

där IVL (Institutet för vatten och luftvård) och KTH (Kungliga Tekniska Högskolan) är tongivande aktörer.

På grund av nya utbyggnader av Henriksdals reningsverk och en uppkommen platsbrist kommer utvecklingsanläggningen år 2023 att flyttas till området för Louddens gamla reningsverk. Detta innebär att det blir extraordinära förutsättningar för att utveckla inte bara lösningar för avloppsrening av vanligt avloppsvatten utan även för att utveckla och använda lösningar och teknik i anslutning till ett kommande LSA-system.

#### **4.6.2 Utformning av ett LSA-system med dagens existerande teknik**

Kortfattat kan en möjlig utformning av ett LSA-system i Loudden ske med i dag existerande teknik enligt nedan. Utformningen utgår från att anläggningen skall byggas inom rimliga investerings- och underhållskostnader samt om möjligt uppfylla hela eller delar av kravbilderna i stycke 4.2.2. Det kan vara möjligt att hitta än bättre tekniska lösningar, Best Available Technology (BAT), men då troligen till en oförsvarlig kostnad. Förutsättningen är att separering sker av följande flödes- och avfallskategorier:

- Svartvatten
- Gråvatten
- Dag- och dränvatten
- *Matavfall*

#### **Förslag på utformning av transportsystem**

##### *Svartvatten*

Svartvatten föreslås att transporteras med vanliga självfallsledningar. Detta resonemang utgår från att vanliga toaletter (4/2 liter) används i området vilket gör att krav på självrensningsförmåga uppfylls. Servisanslutningar skall byggas med minst 10 promilles lutning och samlingsledningar med minst 6 promilles lutning.

##### *Gråvatten*

Pågående teknikutveckling kommer att möjliggöra nya lösningar för gråvattenhantering. Det finns även möjligheter att utveckla gråvattenhantering på områdesnivå, detta studeras exempelvis inom projektet "Grått blir blått" där flera aktörer inom Stockholms stad deltar. Gråvatten ska renas lokalt i respektive kvarter eller inom respektive fastighet och uppfylla gällande miljö kvalitetsnormer. Detta medför även en tidigare och effektivare värmewäxling samt återanvändning av vatten. Eventuella restflöden kan efter rening ledas till den allmänna dagvattenledningen eller lagras för användning i närområdet eller för bevattning, gatuunderhåll osv. Beroende på teknisk lösning kan restprodukter behöva ledas till avloppsledningen. Respektive fastighetsägare kommer att (frivilligt) ansvara för den lokala hanteringen av gråvatten. Möjligheten för fastighetsägaren är den förbättrade återföringen av värme framför allt värme från gråvattnet.



### *Dagvatten*

Dag- och dränvatten, hanteras med blå-gröna lösningar för både rening och avledning, inget dag- eller dränvatten (tillskottsvatten) skall nå näringsfabriken.

### *Matavfall*

Matavfall ska transporteras till näringsfabriken separat. Detta kan ske med hjälp av ett särskilt pumpsystem (se Oceanhamnen) eller med ett vakuumsystem. För närvarande planeras och byggs en prototyp för ett insamlingssystem av kvarnat matavfall med vakuumsystem i etappen Kolkajen i projektet Norra Djurgårdsstaden.

### **Alternativt transportsystem - vakuum**

En av de stora frågorna i detta projekt har varit hur svartvatten skall transporteras. Resultat av denna utredning är att SVOA förordar vanliga toaletter (se ovan). Nedan redovisas den vakuumlösning som diskuterades i början av MACRO 3-projektet.

I detta alternativ transporteras svartvatten med en vakuumlösning. I varje kvarter byggs en kvartersvakuumstation som hanterar kvarterets toaletter. Därefter byggs även ca 5 områdesvakuumstationer som tillsammans samlar svartvatten från totalt ca 25 kvarter. I områdesvakuumstationen finns sedan pumpar som transporterar svartvatten till näringsfabriken i f.d. Louddens reningsverk. Notera att beroende på leverantör kan detaljutformningen av en vakuumanläggning se olika ut.

Ansvar för kvartersvakuumstationerna vad gäller drift, underhåll och reinvesteringar ligger på kvarterets fastighetsägare. Stockholm Vatten och Avfall ansvarar för områdesvakuumstationerna och drift, underhåll och reinvesteringar. Förbindelsepunkten mellan systemen är i kvarterets fastighetsgräns.

Alternativt kan de 5 områdesstationerna byggas med betydande större kapacitet och då även hantera vakuumsörjningen upp i respektive kvarter och samtliga lägenheter. Likt i Oceanhamnen kommer även parallella vakuumledningar behövas för ökad driftsäkerhet. Ansvarsfördelningen kommer att se lika ut som ovan (fastighetsägaren ansvarar för underhåll inom fastigheten) men VA-kollektivet kommer att belastas med ökade kostnader för energi och underhåll, se text ovan om LCC-kostnader för vakuumsystem.

#### 4.6.3 Marknadsanalys - vakuumsystem

Inom ramarna för AP3 så har SVOA även ställt frågan till kända leverantörer om hur ett vakuumsystem kan utformas i detalj. Notera att frågan ställdes i första hand för utformning av ett vakuumsystem i Södra Värtan men lösningsprinciperna bör gälla även för en eventuell utbyggnad i Louden. Fyra leverantörer kontakades och svar erhöles från följande tre:

- Roediger
- Flovac
- Jets

Inget svar erhöles från Qua-vac. Nedan presenteras de olika lösningsförslagen.

##### *Leverantör A – Roediger*

Roediger föreslår en central vakuumpumpstation med ca 12 vakuumpumpar. Se exempel i Figur 4-7. Effekten på respektive pump anges till 11 kW. Pumparnas livslängd uppskattas till upp mot ca 15 år. I Roedigers system används vakuums tankar för att samla svartvatten och anläggningen skulle ha tre tankar på 10m<sup>3</sup>. Från vakuums tankarna pumpas svartvatten med centrifugalpumpar, även dessa med effekten 11kW, till en central näringsfabrik. För att undvika luktproblem kan ett kolfilteraggregat anslutas till utblåsledning från vakuumsystemet.



Figur 4-7. Exempel på vakuumsstation från Roediger.

Ledningarna skall byggas i zick-zack lösning och förses med inspektionsmöjlighet. En kontinuerlig tillsyn av ledningssystem bör göras för att säkra att ledningssystemet inte blir blockerat och att minimera förbrukning av tillsatser av kemikalier. För

att snabbt detektera läckage och var läckaget sker kan tryckmätare på respektive servis användas. Service av vakuumpumparna i centralenheten görs efter 6 000 drifttimmar, det vill säga något oftare än en gång per år.

#### *Leverantör B – Flovac*

Flovac presenterar ett förslag som bygger på vakuumpumpar i varje fastighet och en vakuumstation som skapar vakuum i ledningsnätet i gatan. Svartvatten transporteras i byggnaden med undertryck som skapas av en vakuumpump i byggnadens teknikutrymme och transporteras sedan vidare genom byggnadens servisledning till en mottagningstank (mottagningsbrunn) strax utanför fastighetsgränsen. När mottagningstanken fyllts till en förutbestämd nivå öppnar en ventil och svartvattnet sugas in i vakuumsystemet i gata och sedan vidare till den centrala vakuumpumpstationen. Därifrån pumpas fraktionerna vidare ut ur området med spillvattenpumpar ingående i vakuumpumpsenheten för vidare behandling. Se exempel Figur 4-8.



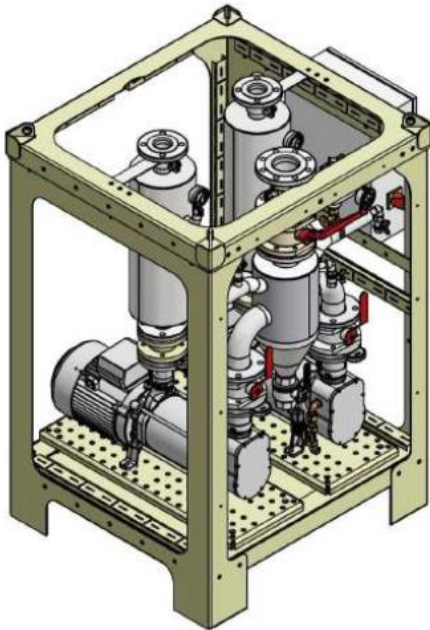
*Figur 4-8. Exempel på vakuumpump från Flovac.*

Flovacs vakuumpumpstation är mindre än övriga leverantörers då den endast driver vakuum i ledningsnät i gata, ej i fastigheter. Den installerade effekten anges vara 25 kW. För att undvika luktproblem kan ett kolfilteraggregat anslutas till utblåsledning från vakuumsystemet. Service av vakuumpumpsenheten görs efter cirka 2 000 drifttimmar, det vill säga ungefär var tredje månad.

#### *Leverantör C – Jets*

Jets förordrar i första hand lokala vakuumpumpstationer i respektive fastighet men har även presenterat en systemutformning för ett centralt system. För en lösning med centralt placerade vakuumpumpar föreslår Jets fem vakuumpumpar med en effekt av 16,5 kW. Utrymmesbehovet i den centrala vakuumpumpstationen är uppskattat till 50 m<sup>2</sup> och livslängden för vakuumpumparna uppskattas av leverantören till ca 15 år. Nedströms vakuumpumparna installeras en tank, 2 m<sup>3</sup>, varifrån fraktionen pumpas med traditionella spillvattenpumpar till renings- och processanläggning. Effektbehov på spillvattenpumpar är ej angivet av leverantören.

Vakuumledningar skall byggas i zick-zack lösning och förses med inspektionsmöjlighet. För att undvika luktproblem kan ett kolfilteraggregat anslutas till utblåsledning från vakuumsystemet.



Figur 4-9. Exempel på vakuumstation Jets.

### Likheter mellan de olika leverantörerna

I detta stycke presenteras likheter i lösningsförslagen från Jets och Roediger uppdelat på systemets olika delar. Flovac's system jämförs ej då de inte har presenterat ett centralt system.

#### *Vakuumpumpstation*

Både Jets och Roediger har presenterat lösningar med multipla vakuumpumpsenheter med följande effektbehov:

- Jets: 5 st pumpar x 16,5 kW
- Roediger: 12 st pumpar x 11 kW

#### *Ledningssystem*

Vakuumledningarna installeras med fallande lutning och lyft där fraktionerna samlas. I ledningssystemen installeras inspektionsbrunnar med valda mellanrum. Två parallella ledningar är rekommenderade av Jets och Roediger för redundans.

#### *Övervakning och tillsynsbehov*

Jets och Roediger föreslår kontinuerligt underhåll av ledningssystemet med tillsatser mot beläggningar.

Service på vakuumpumpar från Jets och Roediger ska göras efter 6000 drifttimmar (Flovac har i sitt förslag angett 2000 timmar).

### **Olikheter mellan lösningsförslagen**

#### *Vakuumpumpstation - pumpar*

- Roediger presenterar ett förslag med fler mindre vakuumpumpar än Jets
- Roediger föreslår tolv vakuumpumpar med 11 kW och Jets föreslår fem vakuumpumpar med 16,5kW

Detta innebär att effektbehovet för Roedigers vakuumpumpar uppgår till 132 kW medan effektbehovet för Jets vakuumpumpar uppgår till 82,5 kW. Roedigers utformning med fler vakuumpumpar i vakuumpumpstationen ger en högre redundans än Jets föreslagna utformning.

#### *Vakuumpumpstation – tankar*

- Tre vakuumtankar med volymen 10 m<sup>3</sup>, är placerade uppströms vakuumpumparna i Roedigers förslag
- I Jets förslag ingår en (1) tank med volymen 2 m<sup>3</sup>

En förklaring till skillnaden är att Jets har gjort en systemutformning med skärande vakuumpumpar, det vill säga pumpar som kommer i kontakt med den sorterade fraktionen medan Roedigers vakuumpumpstation utformning bygger på att vakuumpumparna inte kommer i kontakt med den sorterade fraktionen.

#### *Vakuumpumpstation – byggnadsvolym*

Som följd av det stora antalet vakuumpumpar och större och fler tankar i Roedigers föreslagna vakuumpumpstation är ytbehovet för Roedigers station, 400 m<sup>2</sup>, betydligt större än ytbehovet i Jets station som anges vara 50 m<sup>2</sup>.

### *Sammanfattning*

De fyra leverantörer som har tillfrågats om systemutformningar har lämnat varierande svar vad gäller innehåll och läsbarhet.

- Roedigers förslag innehåller väldigt mycket information och kvalitén är hög. Flovac har svarat på merparten av frågorna men utformat ett system som ej överensstämmer med vad som efterfrågats
- Jets har gjort en muntlig presentation och skickat produktdata på föreslagna vakuumpump
- Qua-vac har inte lämnat något underlag

Utifrån detta har fokus lagts på att jämföra Roedigers och Jets systemutformningar. Av de svarande leverantörerna är det bara Roediger förordar ett system

där vakuüm genereras centralt i området medan Jets och Flovac föreslår att vakuüm i fastigheterna genereras av vakuümpumpar i respektive fastighet. Jets har dock även lämnat en systemutformning med centralt placerade vakuümpumpar. Föreslagna utrymmesbehov för vakuümpumpstationen skiljer sig signifikant Jets anger cirka 50 m<sup>2</sup> och Roediger 400 m<sup>2</sup>. Storleksskillnaderna beror på två parametrar:

- Antal vakuümpumpar: Roediger föreslår fler vakuümpumpar med låg effekt medan Jets föreslår färre pumpar men med högre effekt. Varje pump behöver utrymme kring sig för drift varför fler mindre pumpar kräver mer plats än färre större.
- Storlek på vakuümtankar: Roediger anger att man behöver 3 vakuümtankar med vardera volymen 10 m<sup>3</sup> och Jets anger 1 vakuümtank med volymen 2 m<sup>3</sup>.

Utformningarna på Jets och Roedigers vakuümpumpstationer skiljer sig stort. Roedigers utformning baseras på att vakuümpumparna skapar vakuüm i ledningsnätet och i tankarna och stängs sedan av, när undertrycket i systemet sjunker så startar vakuümpumparna. Detta innebär att det finns en vakuümreserv i tankarna i vakuümpumpstationen som fortsätter hålla systemet i drift ett tag om exempelvis det skulle bli strömavbrott. Jets systemutformning däremot har inget lagrat vakuüm i tankarna utan pumparna går varvtalsreglerat. Effektbehoven för vakuümpumparna föreslagna av Roediger och Jets är höga 132 kW respektive 82,5 kW. En anledning till skillnaden är olika redundansutformning (Roedigers system lagrar vakuüm i tankarna).

Både Jets och Roediger rekommenderar dubbla vakuümhuvudledningar för högre redundans för systemet. I Roedigers systemutformning är det flertalet ledningar i vissa gator, vid analys av plats för ett dubblerat system har slutsatsen dragits att det inte finns plats för dubbla system. Lukt ska inte uppkomma ur systemet och det rekommenderas att kolfilter installeras vid vakuümpumparnas utblås. Bullerminskande åtgärder ska vidtas i den centrala vakuümpumpstationen inklusive mot stomljud. Höga lufthastigheter i ledningssystemet kan ge oljud och förebyggande åtgärder ska vidtas vid installation.

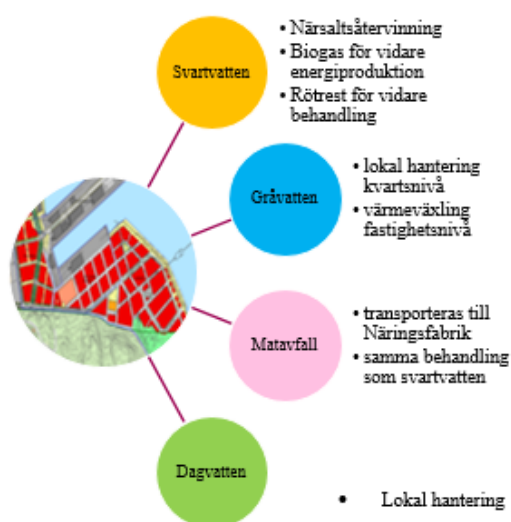
Av de fyra tillfrågade leverantörerna är Roediger den leverantör som har mest erfarenhet av liknande system som det som efterfrågas för Norra Djurgårdsstaden. Det är vår uppfattning att Roediger har den största kapaciteten för systemutformning, utbildning och bygglösning för installation och uppstart. Dock är platsbehovet för Roedigers system så pass stort att vi ser en svårighet att hitta plats för det i Loudden (ursprungligen Södra Värtan).

Komponenter från olika leverantörer kan kombineras (med reservation för kommunikation för styr- och övervakningsutrustning). Årlig kostnad för vakuümpumpstation är likvärdig för Jets och Roedigers lösningar.

Eftersom leverantörerna inte kunnat lämna likvärdiga svar samt har förslag på olika systemuppbyggnad är det övergripande intrycket att marknaden är relativt omogen och att det pågår en stor teknikutveckling. Energiförbrukningen är hög (mycket hög i jämförelse med ett självfallssystem). I samtal med driftspersonal från Hamburg och Helsingborg tycks även anläggningarna kräva ett större behov av underhåll, både i fastigheter och på det allmänna VA-nätet. Ingen av organisationerna kan dock redogöra i detalj för vilket underhåll som faktiskt genomförts.

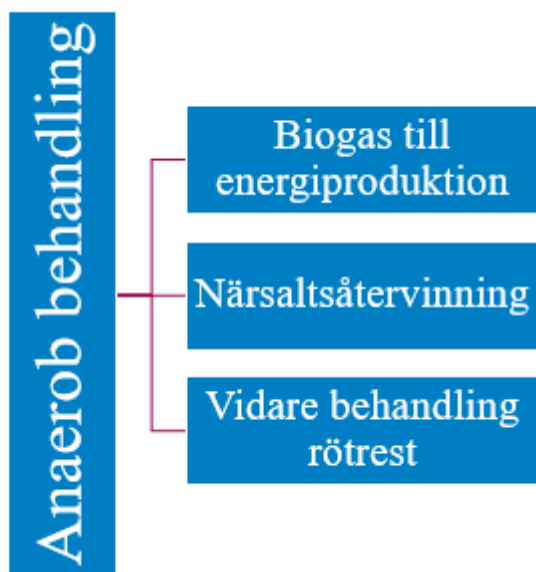
#### 4.6.4 Förslag på utformning av näringsfabrik

Ett förslag på hur strömmarna från ett källsorterat system i stadsdel Loudden kan behandlas på ett övergripande sätt presenteras i Figur 4-10.



Figur 4-10. Övergripande skiss över sorterande systemet i stadsdel Loudden och förslag på hur varje ström kan behandlas.

Till en framtida näringsfabrik leds svartvatten och matavfall för att återvinna näringsämnen, producera biogas samt vidare behandling av rötresterna. Gråvatten och dagvatten föreslås att behandlas utanför näringsfabriken. Olika teknikval för behandling av de källsorterade strömmarna svartvatten, gråvatten och matavfall har undersökts, se vidare avsnitt 4.5.4. Ett första processteg för behandling av svartvatten och matavfall i näringsfabriken skulle kunna vara anaerob behandling för att reducera COD i inkommande vatten, utvinna bio- och metangas samt att erhålla ett rejektivatten som i så stor utsträckning som möjligt är partikelfritt, har ett lågt innehåll av föroreningar samt har ett så högt innehåll som möjligt av fosfor, kväve och andra näringsämnen, se Figur 4-11. Biogasen som produceras föreslås att användas till att producera energi, dvs el och värme som kan användas i näringsfabriken, ev. överskott kan användas i stadsdel Loudden.



Figur 4-11. schematisk skiss över de tänkte områden som ska utvecklas och producera produkter ifrån i Näringsfabriken.

Den senaste tiden har omvärldsläget förändrats drastiskt och drivkraften att producera lokal energi och gödselprodukter har stärkts. Gråvattenlösningen som föreslås leds ej till näringsfabriken utan bygger på en lågenergikrävande lösning (se Figur 4-12) där värmeväxling sker på fastighetsnivå och gråvattnet behandlas lokalt på kvartersnivå förslagsvis enligt Klosterenga-principen (se avsnitt 4.4.2). Det kan eventuellt behövas komplettering av kompakta reningssteg på fastighetsnivå. Det ska finnas möjlighet för att återanvända behandlat gråvatten till bevattning i området alternativt att gråvattnet även kan användas till återanvändning inom fastigheten för t.ex. spolning i toaletten. Eventuellt överskott av gråvatten skall uppfylla gällande miljö kvalitetsnormer och ledas till dagvatten. Dagvatten behandlas lokalt enligt LOD.





Figur 4-12. En lågenergikrävande lösning för grävattnet i stadsdel Loudden.

## 4.7 Stockholm Vatten och Avfalls roll

Beroende på vilken inriktning Stockholm Vatten och Avfall väljer kan ett LSA-system fungera enligt följande alternativ:

### **A. LSA-systemet är en del av VA-kollektivet – helt särskilt från fastighetsägaren**

Fastighetsägaren betalar anläggningsavgift och bruksavgifter lika som övriga anslutna. Fastighetsägaren ansvarar för samtliga tekniska lösningar för privata sidan om förbindelsepunkten. Bolaget ansvarar för tekniklösningar för den allmänna delen av anläggningen.

### **B. LSA-systemet är helt autonomt och ägs av fastighetsägaren**

Fastighetsägaren eller flera fastighetsägare i ett kvarter ansvarar fullt ut för hela LSA-anläggningen och den tekniska lösningen inklusive investeringar, reinvesteringar och underhållskostnader. Anläggningen inkluderar samtliga flödeskategorier och är helt frikopplad från bolagets ledningsnät. En förutsättning är att erforderliga tillstånd kan erhållas från till exempel Miljöförvaltningen. Troligen måste ändå dagvatten anslutas till bolagets anläggning för vilken anslutningsavgifter tillkommer.

### **C. LSA-systemet är helt autonomt och ägs av ett kommunalt bolag**

Ett kommunalt bolag ansvarar fullt ut för hela LSA-anläggningen och den tekniska lösningen inklusive investeringar, reinvesteringar och underhållskostnader. Anläggningen inkluderar samtliga flödeskategorier och är helt frikopplad från VA-kollektivets ledningsnät. En förutsättning är att erforderliga tillstånd kan erhållas från t.ex. Miljöförvaltningen. Troligen måste ändå dagvatten anslutas till VA-kollektivets anläggning för vilken anslutningsavgifter tillkommer.

Ovanstående resonemang baseras på de förutsättningar som dagens lagstiftning och regelverk tillåter.

## 4.8 Retrofitlösningar

Med retrofitlösningar avses ett LSA-system som kan byggas i befintlig bebyggelse. Vid exempelvis stambyten skulle en fastighet kunna förses med ett gråvattenssystem eller vakuumtoaletter. Detta kräver antagligen att det finns utrymme för en extra avloppsstam vilket inte alltid är fallet. En annan osäkerhet är hur en näringsfabrik (med dagens storlek) skulle utformas i en befintlig byggnad. Däremot skulle det troligen fungera att transportera svartvatten från fastigheterna i ett kvarter till en och samma plats.

För närvarande bedöms retrofitlösningar som en utmaning. Kan näringsfabriken byggas med mindre volym kan det dock vara en möjlig lösning i framtiden.

## Referenser

Alhström m. fl.. (2022). Small-scale biogas production in the Loudden neighbourhood. KTH studentprojekt uppgift utförd med frågeställning från SVOA.

Avfall Sverige. (2021). Avfall Sverige. Hämtat från SPCR 120 Bilaga 1.

Bernsel, J. (2022). EU's Gödselproduktförordning: Nya vägartill EU's inre marknad. Föredrag på svenska näringsplattformens plattformsträff 2022-10-18. Helsingborg.

Bigot, Sarah. (2021). Effekt av svartvattenvolym på energi- och näringsutvinningstekniker. Stockholm Process och Utredning: Sweco Environment AB

Brink & Henckel. (2020). VA-juridiska förutsättningar källsorterat spillvatten Visborg. Sweco. 2020-11-19

Edefell, E. (2022). Föredrag och information vid rundvandring på svenska näringsplattformens plattformsträff 2022-10-18. Helsingborg.

Emilsson & af Petersens. (2020). Dubbla spillvattenledningar. Exempel Visborg. Sweco. 20-01-29

Karlsson, P. (2008). Återvinning av näringsämnen ur svartvatten – utvärdering projekt Skogaberg. Svenskt Vatten utveckling.

Giertz & Wikén. (2022). Förstudie avloppsrening 2070 AP1-U10 Lokala sorterande avloppssystem, SVOA 2022-09-30

Golfprylar. (2022). Vad består en golfbana av? Hämtat från <https://golfprylar.nu/info-artiklar/ovrigt-golf/tips-guider/vad-betar-en-golfbana-av/> [Hämtades 2022-11-11]

Gustafsson, I. m fl. (2020). Jämförelse av olika sätt att transportera svartvatten från vakuumtoaletter i mark. Sweco. 2020-07-01

Gustavsberg. (2005). Flödesförstärkaren utdrag ur produktkatalog, 2005-06-05

Holm, C., & Schulte-Herbrüggen, H. (2021). Vattenbesparande åtgärder, Exempelsamling för kommuner och hushåll. Slutrapport 2.0.

Holpers, J. (2021). Nödvändiga tillstånd för grävatten-pilotanläggning. Sweco. 2021-09-20

Lagen om allmänna vattentjänster 2006:412, Miljödepartementet, 2006-05-18

Mensah, R., Shanmugam, V., Narayanan, S., Razavi, S., Ulfberg, A., Blanksvärd, T., Das, O. (2021). Biochar-Added Cementitious Materials—A Review on Mechanical, Thermal, and Environmental Properties. Sustainability.

Multiconsult m fl. (2022). Klimatsats 2020–2930\_Fjordbyen Lier og Drammen\_Sammenligning av lokale renselanlegg med sentralt kommunalt ressurscenter\_Sluttrapport\_07.02.2022

Region Gotland. (2020a). Kriterier för dubbla rör. 20-11-19

Region Gotland. (2020b). Styrmodell och övergripande mål 2020 - 2023

Region Gotland. (2021). Vårt Gotland 2040. Regional utvecklingsstrategi för Gotland. Februari 2021

Region Gotland. (2017). Vision och strategi för Gotlands VA-försörjning 2030. 2017-12-18

Roos & Brink. (2022). Visborg. Förstudie huvudledningsnät. Sweco. 2022-01-12

Seifu, M. (2022). Treatment and using greywater in sorting wastewater system as a resource

Senecal, J. (2022). Is the second urine revolution coming? Potential, visions and risks. Föredrag på svenska näringsplattformens plattformsträff 2022-10-18. Helsingborg.

SGU. (2013). Bedömningsgrunder för grundvatten. SGU-rapport 2013:01. ISBN 978-91-7403-193-5.

SiEUGreen. (den 9 november 2022). SiEUGreen. Hämtat från [www.sieugreen.eu](http://www.sieugreen.eu)

Stockholms stad. (2021). Budget 2022, 2021-11-19

Stockholms stad. (2021). Program för hållbar stadsutveckling, 2021-10-13

Stockholms stad. (2020). Stockholms miljöprogram 2020–2023, 2020-05-25

Strandberg m. fl. (2022). MACRO 3 – systemlösningar för att transportera toalett-vatten, Tyréns/ SVOA, 2022-10-25

Svenskt Vatten. (2019). Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet. Publikation P95. ISSN nr. 1651–4947.

Tiouls m.fl. (2019). Visborgsområdet. Delprojekt, VA-lösningar. Region Gotland. 2019-03-07

Widén. (2022). SAMMANSTÄLLNING KOMMUNIKATIONSINSATSER TRE-RÖR-UT OCH RECO LAB, Helsingborg, 2022-11-01

### Websidor

EVAA slutrapport. (2016). Möjligheternas H+. [online] [https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/evaa\\_rapport1.pdf](https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/evaa_rapport1.pdf) Hämtad 2022-11-21

HSB. (2022). Living Lab - resan mot framtidens hållbara boende. [online] [www.hsb.se/hsblivinglab](http://www.hsb.se/hsblivinglab) [Hämtad 2022-11-10]

Klosterenga. (2022). Case: Decentralised Urban Greywater Treatment Plant "Klosterenga". [online] [Case: Decentralised Urban Greywater Treatment Plant "Klosterenga" | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!](https://www.sswm.com/case-study/klosterenga) Hämtad 2022-05-23

KRAV. (2022). Regler för KRAV-certifierad produktion 2022. [online] <https://regelboken.prod.overbliq.com/content-service/v1/file/KRAVs%20regler%202022> [Hämtad 2022-11-10]

Miljöprofil H+, (2022). H+ Stadsförnyelseprojekt. [online] [https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/miljoprofil\\_h\\_.pdf](https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/miljoprofil_h_.pdf) Hämtad 2022-11-21

Multikriterieanalys Helsingborg. (2022). Möjligheternas H+, Samordning av de tekniska resursflödena Energi, Vatten, Avlopp och Avfall (EVAA) Etapp 1. [online] [https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/h-evaa\\_executiv\\_sammanfattning\\_delstudie\\_1-9\\_remis17.pdf](https://hplus.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/74/2016/11/h-evaa_executiv_sammanfattning_delstudie_1-9_remis17.pdf) Hämtad 2022-11-21

Run 4 life. (2022). Projects. [online] [H2020 project Run4Life – Demonstrating resource recovery from domestic wastewater for use in agriculture. \(run4life-project.eu\)](https://run4life-project.eu), Hämtad 2022-09-01

SCB. (2020). Statistikmyndigheten SCB (den 17 06 2020). [online] <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/godselmedel-och-kalk/godselmedel-och-odlingsatgarder-i-jordbruket/pong/tabell-och-diagram/godselmedel/anvandning-av-kvave-n-och-fosfor-p-fran-stall--och-mineral-godsel/> [Hämtad 2022-11-11]

Stockholm Vatten och Avfall. (2022). Vattenverk. [online] <https://www.stockholm.vattenochavfall.se/om-oss/projekt-och-samrad/stadsovergripande-projekt/vi-sakrar-stockholms-vattenforsorjning/vattenverk/> [Hämtad 2022-11-10]

VUNA. (2022). VUNA - Urine Recycling Technology. [online] <https://vuna.ch/en/urin-recycling-technologie/> [Hämtad 2022-11-10]

Waternet. (2022). Nieuwe Sanitatie. [online] [Ny | för sanitet Vattennät \(water-net.nl\)](#) Hämtad 2022-09-01

**Muntliga samt e-postkontakter**

K. Westling, Svenskt Vatten

N. Söderlund, Brf. Understenshöjden

T. Strandberg, Tyréns

## 5 Bilagor

### Bilaga 1

#### Effekt av svartvattenvolym på energi- och näringsutvinnings-tekniker

Två olika system för insamling av svartvatten har utvärderats: snålspolande toalett och vakuumtoalett. Strömmen svartvattnet leds till en näringsfabrik där det först kommer att behandlas i en anaerobisk membranbioreaktor. Permeatet kommer sedan behandlas med syfte att utvinna näringsämnen, främst ammonium och fosfor. För varje insamlingsystem har två processlösningar utretts (se processdetaljer i Bilaga 4):

- Alternativ a: Mineralisering, utvinning av fosfor med struvitfällning efterföljd av utvinning av ammonium med ammoniumkristallisering
- Alternativ b: Koncentrering, filtrering med granulerat aktiv kol efterföljd av koncentrering av näringsämnen med membrandestillering

En teknisk beskrivning med nyckelparametrar och relevanta nyckeltal för drift och utformning av processen redovisas för varje processlösning och insamlingsystem. De nyckeltal och driftparametrar som presenteras i denna utredning bör inte användas som dimensioneringsunderlag men används i denna rapport som underlag för jämförelse av vakuumtoalett och snålspolande toalett.

Nödvändiga ytor och volymer samt relativ kemikalie- värme- och elförbrukning har uppskattats för varje processlösning när det var möjligt.

#### Förutsättningar och dimensionerande belastning

Näringsfabrik ska behandla svartvatten från en anslutning på cirka 9 000 personer. Sortering av svartvatten föreslås att utföras med antingen snålspolande toalett eller vakuumtoalett.

Vid val av snålspolandetoalett förutsätts att varje spolning drar 2 liter till 4 liter vilket ger ett svartvattenflöde på 162 m<sup>3</sup>/d. Vid val av vakuumtoalett förutsätts att varje spolning drar 0,6 liter vilket ger ett svartvattenflöde på 37,8 m<sup>3</sup>/d, dvs 4,3 gånger mindre. Inkommande temperatur för svartvatten bedöms vara cirka 10 °C. Se vidare de viktigaste driftparametrarna för respektive process i Tabell 5-1 till Tabell 5-5.

Tabell 5-1. Viktigaste driftparametrar för anaerobisk MBR, jämförelse av snålspolande toalett och vakuumtoalett, ej dimensioneringsunderlag.

Sorteringssystem	Snålspolande toalett	Vakuumtoalett
Flöde (m <sup>3</sup> /d)	162	37,8
OLR (kgCODin/m <sup>3</sup> reaktor.d) *	4	4
Reaktorvolym för anaerobisk rening (m <sup>3</sup> ) **	160	160
Beräknad hydraulisk uppehållstid (d), vid OLR = 4 kgCODin/m <sup>3</sup> reaktor.d	1,0	4,2

\*Antagande: OLR= 4 kgCODin/m<sup>3</sup>reaktor.d,

\*\*OBS, inkluderar endast volym för anaerobisk rening, volym för filtrering med membran och eventuell volym för utvinning av löst metan i permeat tillkommer

Tabell 5-2. Viktigaste driftparametrar för struvitfällning, jämförelse av snålspolande toalett och vakuumtoalett, ej dimensioneringsunderlag.

Sorteringssystem	Snålspolande toalett	Vakuumtoalett
Flöde (m <sup>3</sup> /d)	162	37,8
Fosfatfosfor utvinningsgrad	<55%	<85%
Avskiljning av fosfatfosfor* (ton PO <sub>4</sub> P/år)	1,4	2,2
Förbrukning av magnesium för fällning av fosfor ** (ton Mg/år)	1,15	1,8
Energibehov*** (kWh/pe. år)	2,7	2,7

\*För beräkning av avskilda mängder fosfatfosfor har inkommande fosfatfosfor mängder från Svenskt Vatten kompendium använts.

\*\*Antagande molkvot fosfatfosfor: magnesium 1:1,3. Molförhållandet mellan magnesium, fosfor och kväve i struvit är 1:1:1 vilket innebär att magnesium tillsätts i ett visst överskott.vi

\*\*\*Energibehov inkluderar framför allt omrörning av fällningstanken. Energibehov är exklusive pH-höjning med CO<sub>2</sub>-stripping och hydrocyklon (avskiljning av struvitkristaller görs med hjälp av en sedimentationstank).

Tabell 5-3. Viktigaste driftparametrar för fällning av ammoniumkristaller, jämförelse av snålspolande toalett och vakuumtoalett, ej dimensioneringsunderlag.

Sorteringssystem	Snålspolande toalett	Vakuumtoalett
Flöde (m <sup>3</sup> /d)	162	37,8
Ammonium avskiljningsgrad	>95%	>95%
Avskiljning av ammonium* (ton NH <sub>4</sub> -N/år)	29,6	29,6

\* För beräkning av avskilda mängder ammonium har inkommande ammonium mängder från Svenskt Vatten kompendium använts. Antagande: avskiljning av ammonium över AnMBR steget är det samma som avskiljning av total-kväve.



Tabell 5-4. Viktigaste driftparametrar för filtrering med granulerat aktivt kol, jämförelse av snålspolande toalett och vakuumtoalett, ej dimensioneringsunderlag.

Sorteringssystem	Snålspolande toalett	Vakuumtoalett
Flöde (m <sup>3</sup> /d)	162	37,8
Bädd volym (m <sup>3</sup> )	1,8	0,4

Tabell 5-5. Viktigaste driftparametrar för Membrandestillering, jämförelse av snålspolande toalett och vakuumtoalett, ej dimensioneringsunderlag.

Sorteringssystem	Snålspolande toalett	Vakuumtoalett
Flöde (m <sup>3</sup> /d)	162	37,8
Process volym (m <sup>3</sup> )	42	10
Ammonium utvinningsgrad	>90%	>90%
Värmebehov (kWh/d)	16 200	3 780
Elförbrukning (kWh/d) *	105	24,5

\*Antagande: elförbrukning är 0,65 kWh/m<sup>3</sup>,

## Resultat

En jämförelse av behovet av elektricitet och värme för processalternativ A och B i kombination med respektive insamlingssystem kan ses i Tabell 5-6. Generellt var behovet av elektricitet och värme större för ett snålspolande insamlingssystem jämfört med ett vakuumbaserat insamlingssystem. Vidare kan det konstateras att värmebehovet generellt var högre för processalternativ B jämfört med processalternativ A. Dock var behovet av elektricitet högre för processalternativ A.

Tabell 5-6. Jämförelse av det totala behovet av värme och elektricitet (kWh/d) för respektive processalternativ och insamlingssystem. Beräkningarna är baserade på 9 000 anslutna personer med ett inkommande flöde för ett vakuumbaserat insamlingssystem på 37,8 m<sup>3</sup>/d.

Processalternativ	Energiform	Vakuumbaserat insamlingssystem	Snålspolande insamlingssystem
Processalternativ A	Värme [kWh/d]	2 059	8 678
	Elektricitet [kWh/d]	1 111	4 762
Processalternativ B	Värme [kWh/d]	4 980	21 200
	Elektricitet [kWh/d]	44	185

Vid val av snålspolande toalett är förbrukning av energi för uppvärmning av den anaerobiska MBR:n högre än med vakuumtoalett. Vid behandling av svartvatten med anaerobisk MBR kan ytterligare en volym för utvinning av metan löst i permeatet behövas.

Vid val av processlösning mineralisering i kombination med snålspolande toalett blir förbrukning av lut högre och utvinning av fosfat lägre jämfört med vakuumtoalett. Därför rekommenderas inte val av snålspolande toalett i kombination med mineralisering.

Vid val av processlösning koncentration i kombination med snålspolande toalett blir kemikalie-, el- och värmeförbrukning samt processvolymen större än för vakuumtoalett på grund av det större flödet som behöver behandlas.

## Bilaga 2

Nedan följer i Tabell 5-7 utvalda tekniker som bedöms som potentiellt intressanta för näringsåtervinning från källsorterat avlopp (matavfall och svartvatten). Samtliga tekniker (förutom återförsel av hela våtfraktionen) kräver förbehandling av det källsorterade avloppet. Detta då många tekniker kräver mineraliserade näringsämnen (jonform) samt låg andel partiklar i vätskan.

De utvalda teknikerna har fördelats i grupperna:

- Återförsel av hela våtfraktionen
- Extraktionsmetoder (utvinning av näringsämnen ut ur avloppsvattnet)
- Koncentrationsmetoder (koncentrering av näringsämnen i avloppsvattnet)
- Biologiska koncentrationsmetoder

Termiska processer för att minska slammängden så som HTC och pyrolys inkluderas inte och inte heller metoder för att utvinna näringsämnen från exempelvis slamaska. Även ”enklare” tekniker så som kalkhygienisering och maskkompost exkluderas från denna tabell.

Tabell 5-7. Utvalda tekniker för näringsåtervinning av källsorterat svartvatten/matafall.

Ny	Nr	Namn	Beskrivning	Återförel av	Ungefärlig teknik-mognad
<b>Återföring av hela våtfraktionen</b>					
	1	Våt-kompostering	Batchkompostering av svartavlopp varvid temperaturer upp till 70 °C kan uppnås autotermt genom oxidation av det organiska materialet i avloppsvatten. Genom en kombination av temperatur och exponeringstid uppnår hygienisering av patogener.	Alla närings-ämnen	En fullskale-implementation i Sverige.
	2	Urea-hygienisering	Källsorterat svartvatten har en hög koncentration av ammoniumkväve. Ammoniak verkar hygieniserande på patogener och genom en extra dos urea uppnås tillräckligt hög koncentration. Urea tillsätts direkt i våtfraktionen (ex i flytgödseltank) varpå långtidslagring sker innan fraktionen kan spridas som flytgödsel.	Alla närings-ämnen	Ett fåtal fullskaleprojekt i Sverige.
<b>Extraktionsmetoder</b>					
	3	Kristallisation - Struvitfällning	Utfällning av lika molandelar fosfat/NH <sub>3</sub> i kristallform. Sker spontant vid höger koncentrationer och pH men kontrollerade processer drivs med Mg-tillsatts. Fosfat kan också fällas ut som HAP (hydroxylapatit) med kalcium.	Främst P	Implementerad i fullskala.
	4	Kristallisation – Kalcium-granulering	Spontan granulering/kristallisation av löst fosfat i röt-kammare. Granulerar skördas/filtreras ur slammet i botten på UASB-röt-kammare.	Främst P	Försök i pilotskala.

	6	Zeopeat (Again nutrient technology)	Extraktion av kväve, fosfor och kalium med zeolit och magnesiumladdad torv. Den extraherade produkten blandas med torv och säljs som odlingsjord.	P (95%), N (50–70%), K	Teknik för enskilda avlopp finns.
	7	Klassisk ammoniak-stripping	Extraktion av kväve i ammoniumform. Vattnets pH höjs med stark bas varefter ammoniak avgår i gasform i strippingtorn och extraheras med stark syra. Finns i fullskala på reningsverk i Oslo och finns på flera gödselaneläggningar.	N	Implementerad i fullskala.
x	8	Termisk ammoniak-stripping	Vid termisk ammoniakstripping avdrivs ammoniak genom uppvärmning i stället för att höja pH-värdet som vid klassisk ammoniakstripping (exempelvis tekniken ANAStrip från GNS, AMFER från Colsen och en teknik från Organics).	N	Fullskala för rötgasanläggning.
	9	Mikrobiell elektrolys (MEC)	Energi tillförs anod/katod i avloppsvattnet för produktion av vätgas och samtida koncentration av joniserat kväve i ammoniumform. Ammonium extraheras med gaspermeabla membran och fångas på effluentsidan i syra (se gas-permeabla membran nedan). MEC har testats på urin med upp till 80% N-extraktion till låg energiförbrukning.	N	Universitets-forskning.
	10	Gas-permeabla membran	Extraktion av ammoniumkväve (NH <sub>3</sub> ) från vätska via förångning över ett hydrofobt membran. Förångad NH <sub>3</sub> fångas sedan i syra (stora likheter med ammoniak-stripper).	N	Universitets-forskning.
	11	Elektrodialys	Koncentration av katjoner (NH <sub>4</sub> och K) och anjoner (fosfat) genom jonbytesmembran. Transporten drivs av elektroder bakom respektive membran. 10 ggr uppkoncentration har erhållits. Kan kombineras med MFC.	N, K	Universitets-forskning.
	12	Magnetisk separation	Adsorption av joner (N, P, K) på magnetiskt bärarmaterial (ex. magnetit). Bärarmaterialet filtreras ut med magnetfält, varefter jonbytesteknik extraherar näringsämnen och det magnetiska bärarmaterialet kan regenereras.	N, P, K	Universitets-forskning.
	13	Vätske-extraktion	Extraktion av lösta näringsämnen i jonform med opolär vätska. Extraktionsvätskan regenereras. Försök finns på fosfat.	P	Universitets-forskning.

x	14	Jonbyte - Zeoliter	Extraktion av främst kväve i jonform. Lösta joner binder till zeolitmaterial som sedan filtreras/sedimenteras ut. Zeolitmaterial kan regenereras.	N	Flera längre forskningsprojekt i pilotskala.
x	15	Jonbyte – Biokol	De olika negativt och positivt laddade grupper på biokol kan via jonbyte binda in ammonium och fosfor. Dock har försök inom MACRO visat på låga sorptionskapaciteter. <sup>1</sup>	N, P	Labbskala
<b>Koncentrationsmetoder</b>					
	16	Omvänd osmos (RO)	Vatten trycks ut ur rötresten genom membran (tryck appliceras för att övervinna osmotiskt tryck). Möjlig volymreduktionsfaktor kring 5–15 funnen på försök vid uppkoncentration av rötat svartvatten och matavfall i Hammarby sjöstad.	Alla näringsämnen	Forskningsprojekt i pilotskala.
	17	Framvänd osmos (FO)	Uppkoncentration genom att vatten transporteras bort genom ett membran med en saltlösning (draw solution) på effluentsidan. Havsvatten kan användas som "draw solution".	Alla näringsämnen	Forskningsprojekt i pilotskala.
x	18	Indunstning	Näringsämnena koncentreras genom att vatten kokas bort och kondenseras. För att undvika att ammoniak följer med vattenångan tillsätts syra för att sänka pH-värdet.	Alla näringsämnen	Fullskala för rötgasanläggning
	19	Ammoniakdestillation	Destillation av vatten för att koncentrera näringsämnen. Kan kräva pH-höjning för att ammonium skall avgå i gasform. Destillation liknar indunstning men komponenten man försöker separera hamnar i kondensatet i stället för i koncentratet. IVL har genomfört försök ihop med SVOA.	Ammoniak	-

<sup>1</sup> Betsholtz, A., & Kjerstadius, H., (2018). Systemstudie över VA-system med indunstning och biokoladsorption. [https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2018/11/Systemstudie\\_indunstning-och-biokol.pdf](https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2018/11/Systemstudie_indunstning-och-biokol.pdf)

	20	Vakuumin-dunstning	Lågtryckskokning (250 mbar) medför att vatten avdunstar vid 55–65 °C. En volymreduktionsfaktor på 30 har erhållits vid försök på rejektvatten i Danmark. Fosfat stannar i koncentratet medan en majoritet av ammoniumkväve avdunstar till destillatet om pH är högt. Problem med utfällningar vid uppkoncentrationen förekommer dock (struvit och hydroxylapatit).	Alla näringsämnen (förlust av N)	Forskningsprojekt i pilotskala.
	21	Partiell nitrifikation	Ammonium i vätskeform avdunstar vid lagring. Genom mikrobiologisk nitrifikation så kan en del av ammoniumkvävet omvandlas till nitrat, vilket sänker pH och förhindrar avgång av ammonium. En flytande blandning av ammonium/nitrat är också attraktiv som gödsel. Koncentration av slutproduktion behövs dock (kan ske genom vakuumin-dunstning)	-	Universitetsforskning.
x	22	Nitrifikationsdestillation	Urinen stabiliseras via nitrifikation för att sedan via destillering koncentrera näringsämnen. Kombinationen gör att alla näringsämnen kan återvinnas ur urinen (förutom ammonium motsvarande ca 3 % av TN). <sup>2</sup> (Pilotprojekt av VUNA)	Alla näringsämnen	Pilotskala.
x	23	Alkalisk urintorkning	Urin torkas för att skapa ett fast gödselmedel. Innan torkningen blandas urinen med ett alkaliskt substrat (exempelvis kalk eller träaska) för att förhindra nedbrytningen av urea till ammonium. <sup>3</sup>	Alla näringsämnen	Pilotskala
<b>Biologiska koncentrationsmetoder</b>					

<sup>2</sup> Fumasoli, A., Etter, B., Sterkele, B., Morgenroth, E. & Udert, K.M. (2015). Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine. *Water Sci Technol* 8 January 2016; 73 (1): 215–222, <https://doi.org/10.2166/wst.2015.485>

Udert, K.M. & Wächter, M. (2012). Complete nutrient recovery from source-separated urine by nitrification and distillation, *Water Research*, Volume 46, Issue 2, Pages 453-464, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.020>

<sup>3</sup> Mcconville, J., Niwagaba, C., Nordin, A., Ahlström, M., Namboozo, V. & Kiffe, M. (2020). Guide to Sanitation Resource-Recovery Products & Technologies: a supplement to the Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/21284/>.

Simha, P., Lalander, C., Nordin, A. & Vinnerås, B. (2020). Alkaline dehydration of source-separated fresh human urine: Preliminary insights into using different dehydration temperature and media, *Science of The Total Environment*, Volume 733, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139313>.

24	Soldatflugekompost	Odling av larver på källsorterat matavfall eller svartvatten. Test på TS-halter ned till 2% utförs inom MACRO. Larver används som foder till ex höns. Metoden utvecklas av SLU Uppsala.	Utvärderas inom MACRO	Universitets-forskning/ pilotskala
25	Algodling	Upptag av mineraliserade näringsämnen i biomassa (alger) med hjälp av fotobioreaktorer. Hög tillväxthastighet. Skördade alger kan användas som foder/gödsel.	Näringsämnen enligt cellratio för biomassa	Fullskaleprojekt internationellt
26	Bakterieodling	Försök pågår med bio-ackumulation av näringsämnen i Purple nonsulfur bacteria eller cyanobakterier. Biologiskt upptag av näringsämnen i biomassa (slam). Effektivare upptag än aktivt slam.	Näringsämnen enligt cellratio för biomassa	Universitets-forskning.
27	Bio-P	Biologiskt intracellulärt upptag av löst fosfor ur avlopp. Kräver kolkälla (VFA). Välkänd och implementerad på många reningsverk. Nedre temperaturgräns begränsar användning till södra Sverige.	P	Implementerad i fullskala.

[1] Fumasoli, A., Etter, B., Sterkele, B., Morgenroth, E. & Udert, K.M. (2015). Operating a pilot-scale nitrification/distillation plant for complete nutrient recovery from urine. *Water Sci Technol* 8 January 2016; 73 (1): 215–222, <https://doi.org/10.2166/wst.2015.485>

Udert, K.M. & Wächter, M. (2012). Complete nutrient recovery from source-separated urine by nitrification and distillation, *Water Research*, Volume 46, Issue 2, Pages 453–464, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.020>

[1] Mcconville, J., Niwagaba, C., Nordin, A., Ahlström, M., Namboozo, V. & Kiffe, M. (2020). Guide to Sanitation Resource-Recovery Products & Technologies: a supplement to the Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/21284/>.

Simha, P., Lalander, C., Nordin, A. & Vinnerås, B. (2020). Alkaline dehydration of source-separated fresh human urine: Preliminary insights into using different dehydration temperature and media, *Science of The Total Environment*, Volume 733, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139313>.

Referenser



En översikt av olika återvinningstekniker för kväve och fosfor med fokus på återvinningsgrad, energi- och resursbehov finns sammanställt i tabellen nedan.

Tabell 5-8. Översikt över återvinningsgrad av fosfor (P) och kväve (N) (från den ström som behandlas) samt energibehov och resursbehov för respektive näringsutvinningsteknik. (intern rapport SVOA)

Teknik	% P och N	Energibehov	Kemikaliebehov
Traditionell ammoniakstrippning (Ellinge ARV)	80 (N)	6,6 kWh/m <sup>3</sup> (elektricitet)	4,9 kg NaOH/kg N 3,5 kg H <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> /kg N
Traditionell ammoniakstrippning (VEAS)	92 (N)	1,1 kWh/m <sup>3</sup> (elektricitet)	4 kg Ca (OH) <sub>2</sub> /kg N 4,5 kg HNO <sub>3</sub> /kg N
Traditionell ammoniakstrippning (eco: N)	80 - 95 (N)	1,9 kWh/m <sup>3</sup> (el) 22,7–45,4 kWh/m <sup>3</sup> (värme)	1,8 – 14,2 L (50 %) NaOH/m <sup>3</sup> 4 – 5,9 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> 140 g citronsyra/m <sup>3</sup>
Organics	> 98,5 (N)	125 kWh/m <sup>3</sup> (värme)	Inget ytterligare resursbehov.
Struvitfällning	5 (N)	4 kWh/m <sup>3</sup> (el) antaget	102 – 436 g MgCl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> antaget 100 g citronsyra/m <sup>3</sup> antaget
Struvitfällning med utökad kväveavskiljning  Tillsats av Mg och P: Termisk nedbrytning: Kemisk nedbrytning (høgt pH): Kemisk nedbrytning (lågt pH):	Uppskattning saknas. <90 (N) 65 – 95 (N) 88 – 98 (N)	<4 kWh/m <sup>3</sup> (el) antaget <48 kWh/m <sup>3</sup> (värme) Uppskattning saknas. Uppskattning saknas.	mol Mg och P/mol N Inget ytterligare resursbehov. 1 mol NaOH/mol struvit Uppskattning saknas.
Gaspermeabla kontaktmembran (bl.a. NPHarvest)	70 – 80 (N) 90 – 95 (P)	0,95 kWh/m <sup>3</sup> (el)	88 kg Ca (OH) <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> 1,691 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>

Destillation	80 – 90 (N)	30 kWh/m <sup>3</sup> (värme)	Ev. tillsats av bas eller syra.
Elektrodialys	23 (N)	5 kWh/m <sup>3</sup> (elektricitet)	Tillsats av H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,05 & 3,6 M) NaOCl (0,5 %) 60 L HCl (1 %) 60 L
Zeoliter och andra mineralsorbenter (jonbyte)	11 – 95 (N)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Organiska starka katjonbytare (jonbyte)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Biokol (jonbyte)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Project-N (EasyMining)	95 – 98 (N)	Beräkning pågår.	Beräkning pågår.
Partiell nitrifikation	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Mikrobiell elektrolys	72 – 99,7 (N)	0,83 – 6,43 kWh/kg N	Uppskattning saknas.
Zeopeat/Zeochar	95 (P) 50 – 70 (N)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Indunstning (EPCON)	95 (N)	18 – 20 kWh/m <sup>3</sup> (el)	6 kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> 0,05 kg NaOH/kg N 0,12 kg myrsyra/kg N
Vakuumindestning	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.

Omvänd osmos	80 – 95 (N)	5 kWh/m <sup>3</sup>	1,1 ekv H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /mol NH <sub>4</sub> -N Citronsyra (tvätt av membrane)
Framvänd osmos			
Vätskeextraktion	71 - 91 (P)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Magnetisk separation			
ANAStrip	80 (N)	5–8 kWh/m <sup>3</sup> (elektricitet) 70–125 kWh/m <sup>3</sup> (värme)	6,1 kg gips/kg N
AMFER Colsen	50–80 (N)	5 kWh/m <sup>3</sup> (el) 30 kWh/ton rötat slam (värme)	Inget ytterligare resursbehov.
RAVITA	55 – 63 (P)	Beräkning pågår.	Beräkning pågår.
P-RoC	80 – 90 (P)	Ev. elektricitet för omrörning och pumpning,	5 – 10 (vikt-%)
ePhos	80 (P)	0,5 kWh/m <sup>3</sup> (el)	10 ton Mg/år
Struvitfällning (eco:P)	70 – 90 (P)	4 kWh/m <sup>3</sup> (el)	102 – 436 g MgCl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> 100 g citronsyra/m <sup>3</sup>
Kalciumgranulering	Uppskattning saknas.	Inget betydande behov.	Inget betydande behov.
TerraNova	60 – 70 (P)	8 kWh/ton (el) 130 kWh/ton (värme)	Uppskattning saknas.
ViViMAG	60 (P)	0,5 – 1 kWh/m <sup>3</sup>	0,007 – 0,5 kg järnsulfat/m <sup>3</sup>

PARFORCE	80 (P)	Beror på anläggningens utformning.	Beror på anläggningens utformning.
RSR (Green Sentinel)	75 (P)	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
SusPhos	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.	Uppskattning saknas.
Kubota	90 (P)	1 kWh/kg vatten (torkning)	Uppskattning saknas.
AshDec	> 95 (P)	0 kWh/ton (el) 410 kWh/ton (värme)	310 kg Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /ton
PHOS4GREEN	> 90 (P)	Beror på anläggningens utformning.	Beror på anläggningens utformning.
METAWATER alkaline ash leaching	30 – 60 (P)	Beror på anläggningens utformning.	NaOH, Ca (OH) <sub>2</sub> (mängder finns ej uppskattade)
CarboREM	Uppskattning saknas.	Processen är självförsörjande.	Uppskattning saknas.
FlashPhos	98 (P)	Processen är självförsörjande.	Tillsats av reduktionsmedel (kol) och CaO, SiO <sub>2</sub> (från restströmmar).
Ash2Phos	> 90 (P)	Processen är självförsörjande.	HCl, Ca (OH) <sub>2</sub>

## Bilaga 3

### Urinsorteringstekniker

Urinen innehåller en stor del av både de näringsämnen och läkemedelsrester som lämnar kroppen och koncentrationen är relativt hög. Urinseparering för både näringsåtervinning och rening av läkemedelsrester ses därför som ett intressant alternativ. Hydrolys av urea sker spontant när urin hamnar i en icke steril miljö och leder till bildandet av flyktig ammoniak och utfällning av fosfat. Denna nedbrytningsprocess är central för utvecklandet av metoder för behandling av urin då den kan ge upphov till förlust av kväve samt utfällning och igensättning av rör.

Att separera urinen från fekalier kräver speciell utformning av toaletter. Dessa bör vara utformade så att användaren inte behöver ändra sitt beteende vid toaletten och på samma gång undvika korskontaminering eller dålig lukt.

Den separerade urinen måste sedan transporteras och eventuellt lagras innan den genomgår vidare behandling. Nedbrytningsprocesser i urinen efter att den lämnat kroppen utgör eventuella problem både vad gäller att leda urinen i rör samt att lagra urinen.

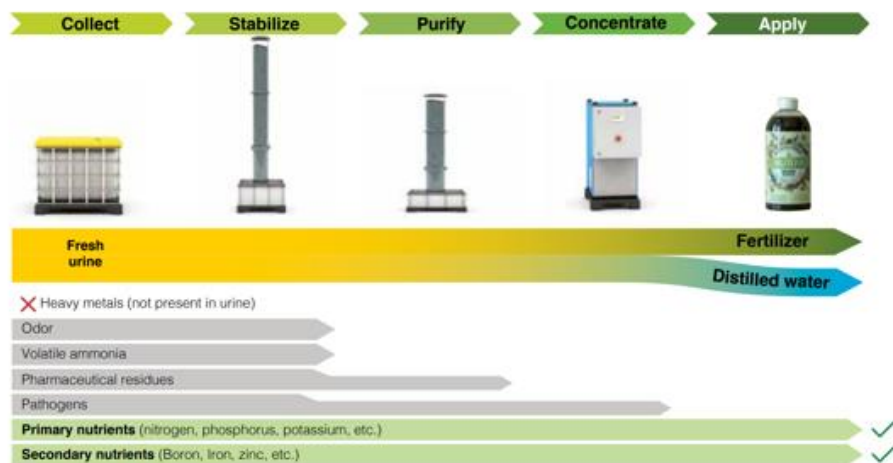
### VUNA

VUNA-processen är utformad för att återvinna alla näringsämnen ur urin och slutprodukten är ett koncentrerat flytande gödselmedel. Från 100 liter urin utvinns 3 liter färdigt gödselmedel och i stort sett alla näringsämnen som finns i urinen återfinns i den slutgiltiga produkten. Produkten kallas Aurin och är ett godkänt gödselmedel i Schweiz.

VUNA-processen är utvecklad för att behandla 50–100 l urin per dag och finns installerad på bl.a. EAWAG:s huvudkontor i Zürich och även på två siter i Sydafrika. Näringsåtervinningen och rening av läkemedelsrester sker i en process som kan delas upp i fyra steg, se Figur 5-1:

1. Urin från urinseparerande spolade toaletter leds till en uppsamlingstank. På EAWAG:s kontorsbyggnad spolas toaletter med regnvatten och en mindre mängd spolvatten tillåts följa med urinen för att motverka igensättning av rör. Mjukt regnvatten lämpar sig bra för detta ändamål.
2. Urinen doseras från lagringstanken till en luftad nitrifikationskolonn med biofilm på plastbärare. Processen är en partiell nitrifikation och kvävet stabiliserar som lika delar kväve och ammonium. Doseringen måste hållas jämn och konstant för att processen inte skall störas. pH och temperatur är också viktiga parametrar som måste övervakas kontinuerligt.
3. Stabiliserat urin leds genom ett GAK-filter för läkemedelsrening.

4. Stabiliserad urin, fri från läkemedelsrester destilleras slutligen i vakuumdestillation med värmeåtervinning. 97 % av vattnet avlägsnas i 85 C vid 0,5 bars tryck. Mindre än 1,5 % av ammoniumet avgår i form av ammoniak. Energiförbrukningen för destilleringen är ca 0,1 kW per liter urin.



Figur 5-1. VUNA-processen från separerad urin till färdigt gödselmedel.

### Sanitation360 – Alkalisk torkning

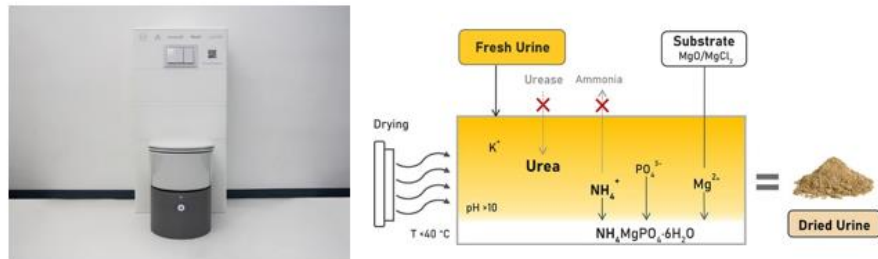
Alkalisk torkning är en metod för återvinning av näringsämnen i urin genom torkning av urinen på ett alkaliskt media, exempelvis släkt kalk eller aska. Metoden är ett resultat av forskning från SLU i Uppsala och utvecklas nu vidare av företaget Sanitation360.

Tekniken bygger på en urinseparerande spoltoalett (Laufen SAVE!) där urinen leds och tillsätts till ett alkaliskt substrat (ex. släkt kalk, magnesiumoxid eller aska). Detta höjer pH-värdet på urinen till >10, vilket leder till en stabilisering av urea. Därefter torkas urinen av en luftström och allt vatten avgår i ånga. Processen kan vara utformad så att luftströmmen endast använder sig av rumstemperatur men temperaturen kan även vara högre för att påskynda avdunstning.

Alkaliskt substrat med torkad urin blir sedan den färdiga slutprodukten och kan användas direkt som ett gödningsmedel på jordbruksmark med ett NPK (10-1.5-5) likt industriell mineralgödsel. Nytt substrat måste tillföras regelbundet och 1 kg substrat krävs för att behandla 20–50 l urin [25].

En prototyptoalett av tekniken finns installerad på VA-syds huvudkontor i Malmö där alkalisk torkning sker i en kassett under toalettstolen, se Figur 5-2. Möjligheten finns för en centraliserad lösning där torkning för flera toaletter kan ske i exempelvis en källare i ett flerbostadshus. Dock krävs då en lösning på problematiken med att leda urinen i rör utan att stopp uppstår pga. utfällning.

Fördelar med metoden är dess relativa enkelhet och att alla näringsämnen som finns i urinen återvinns. Processen kan potentiellt optimeras för att få en låg energiförbrukning och billiga samt lättillgängliga substrat kan användas. Dock behövs ytterligare processteg innan torkning för att avlägsna mikroföroreningar eller patogener då dessa annars hamnar i slutprodukten.



Figur 4 T.v. Prototyp av alkalisk torktoalett med integrerad torkning under toalettstolen. T.h. Principbild för alkalisk torkning av urin

Figur 5-2. T.v. Prototyp av alkalisk torktoalett med integrerad torkning under toalettstolen. T.h. Principbild för alkalisk torkning av urin.

## Bilaga 4

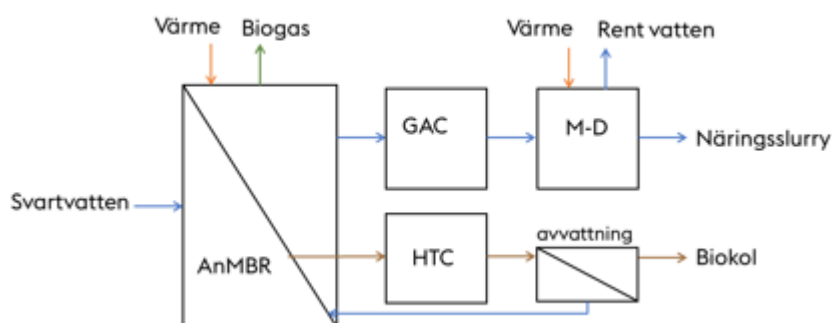
### Processalternativ undersökta till näringsfabriken

Två förslag på utformning för behandling av svartvatten har undersökts lite noggrannare och använts vid jämförelse inom projektet. Processerna benämns Koncentrering och Mineralisering. Processen Koncentrering visualiseras i Figur 5.3 nedan. Svartvattnet silas och leds in i en anaerob MBR (AnMBR) för rening av COD samt produktion av biogas. Den hydrauliska uppehållstiden är avgörande för dimensionering av processvolymen. Värme tillförs reaktorn för att nå mesofil temperatur, 37°C. Reaktorn förutsätts vara väl isolerad och mängden värme antas vara proportionerlig mot flödet av svartvatten. Biogasen som produceras antas vara proportionerlig mot belastningen av organiskt material.

Den partikelfria vätskefasen leds sedan till ett reningssteg för mikroföroreningar, här representerat av ett GAC filter. Detta steg skulle även kunna utgöras av ozonering. Filtrets storlek dimensioneras troligt via ytbelastning medan mängden föroreningar avgör hur ofta filtermaterialet behöver bytas.

Vätskefasen leds sedan till en membrandestillation (M-D) där rent vatten avskiljs och näringsämnen och eventuella kvarvarande föroreningar koncentreras upp. Värme tillförs. Membrandestillering undersöks vidare av Luleå i en labb pilotskala inom MACRO, se vidare Bilaga 8.

Slamfasen från AnMBR leds till en HTC för produktion av "biokol". HTC-processen är endogen och endast en startenergi behöver tillföras. Efter HTC reaktorn separeras biokolet från vattenfasen. Vattenfasen innehåller COD, N och P och leds tillbaka in i AnMBR. Mängden slam som produceras i AnMBR-processen är proportionerlig mot belastningen vilket innebär att hela slambehandlingssteget bör vara opåverkat av hur mycket vatten som finns i svartvattnet. Detta steg tas inte med i jämförelsen. Produkter är näringslurry och biokol.

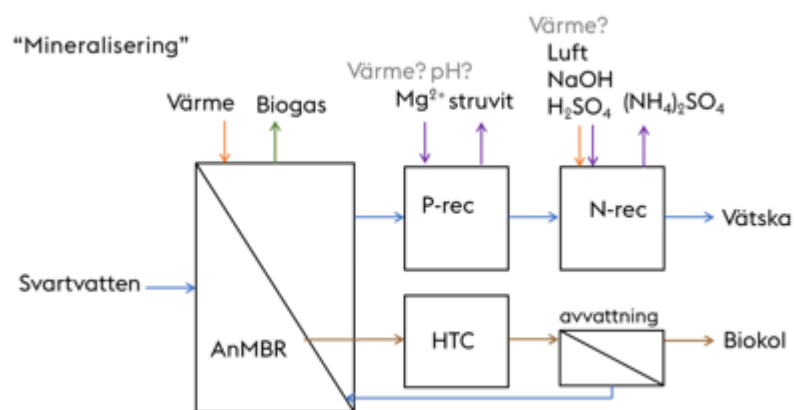


Figur 5-3. Flödesschema "koncentrering".



Processen mineralisering visualiseras i Figur 5.4. Det första steget detsamma som för "koncentrering", se Figur 5-3. Vätskefasen leds till en struvitutfällning för fosforutvinning i en ecoP process från Ekobalans. För att fälla ut struvit tillsätts magnesiumjoner. pH höjs något antingen med kemikalier eller genom CO<sub>2</sub> stripping. Eventuellt kan värme tillföras för att driva på reaktionshastigheten. Processvolymen dimensioneras utifrån en uppehållstid.

Vätskefasen leds sen vidare till ammoniakstripping och ammoniumkristallisering i en process, ecoN, utvecklad av Ekobalans. Ammoniakstripping sker i höga torn med fyllkroppar där ett vätskeflöde möter ett luftflöde. Lut (NaOH) tillsätts för att höja pH och driva jämvikten från ammonium till ammoniak. Luft tillförs för att driva av ammoniaken till gasfas. Troligtvis gynnas processen av en hög temperatur vilket innebär att värme tillförs. Ammoniakgasen leds sen till en kristallisationskolonn där den reagerar med svavelsyra och bildar ammoniumsulfat. Troligen är åtgången av syra proportionerlig mot avdriven mängd ammoniak, dvs styrs av belastningen. Restprodukt efter ecoP och ecoN blir en vätska med oklar sammansättning. Slamhanteringen ser likadan ut som för koncentreringsalternativet, se ovan. Produkter är struvit, ammoniumsulfat och biokol.



Figur 5-4. Flödesschema "mineralisering".

## Bilaga 5

### Anaerob teknik avsnittet

En intern studie på SVOA har genomförts där syftet var att undersöka och jämföra de två anaeroba behandlingsteknikerna anaerob MBR och UASB för behandling av svartvatten samt att även sammanställa om och vilka andra alternativa anaeroba tekniker som kan finnas och vara av intresse. Följande delar presenterades för respektive teknik; en kortfattad beskrivning av tekniken, relevanta driftparametrar, resurs- och platsbehov, reduktion av COD samt uppskattad möjlig bio- och metangasproduktion samt sammansättning av utgående strömmar

Det finns en hel del varianter av den anaeroba nedbrytningsprocessen där olika typer av anaeroba reaktorer kan användas och kan konfigureras på olika sätt. Generellt kan anaeroba behandlingstekniker delas in i två huvudgrupper:

- Konventionella anaeroba tekniker
- Anaeroba högflödestekniker

Anaeroba högflödestekniker eller reaktorer skiljer sig från konventionella anaeroba tekniker genom att den hydrauliska uppehållstiden (dvs. vattnets uppehållstid) kan separeras eller frikopplas från slamuppehållstiden. Det gör att vattnets uppehållstid kan hållas kort samtidigt som biomassans uppehållstid i reaktorn kan hållas lång vilket är gynnsamt för de långsamväxande anaeroba mikroorganismerna. Högflödessystem möjliggör därför (jämfört med konventionella anaeroba tekniker) att en mindre reaktorvolym behövs samt att en högre koncentration av biomassa kan bibehållas i reaktorn (Augusto et al., 2007).

De anaeroba högflödessystemen eller reaktorerna kan ytterligare delas in i två olika grupper: system där tillväxten av mikroorganismer sker på ett fast, inert bärrmaterial eller system där biomassan är suspenderad (Augusto et al., 2007). Till systemen med suspenderad tillväxt hör bl.a. UASB ("Up-flow Sludge Blanket reactor"), EGSB ("Expanded Granular Sludge Bed reactor"), IC-UASB ("Internal Circulation UASB"), AnHYB ("Anaerobic Hybrid Process"), AnMBR (Anaerob membranbioreaktor), ABR ("Anaerobic Baffled Reactor"), AMBR ("Anaerobic Migrating Blanket Reactor") och AnSBR ("Anaerobic Sequencing Batch Reactor") (Metcalf och Eddy, 2013; Augusto et al., 2007).

Gao et al. (2019a) jämförde hur metangasproduktionen i en UASB (vid 35 °C) påverkades för olika utspätt svartvatten. I studien jämfördes svartvatten som samlats in med konventionella toaletter (9 L spolvolym) och vakuumtoaletter (1 L spolvolym). Det mer utspädda svartvattnet hade en COD-koncentration runt 1 000 mg COD/L, en totalkvävehalt på 45–64 mg TAN/L, den fria ammoniumkoncentrationen var 1,7–2,5 mg/L, pH varierade mellan 7,6–7,9 och HRT mellan 1,4–5,5 dagar (Gao et al., 2019a). COD-reduktionen varierade då mellan 72–80 % och metangasproduktionen mellan 0,23–0,26 g CH<sub>4</sub>-COD/g COD<sub>in</sub> (Gao et al., 2019a).

För det mer koncentrerade svartvattnet var ingående COD-koncentrationer runt 9 500 – 10 000 mg/L, koncentrationen av totalkväve var runt 1 000 mg TAN/L, den fria ammoniakkoncentrationen var 98,9–123,5 mg/L (vilket är under de koncentrationer som kan verka inhiberande), pH var mellan 8,6 - 8,7 och HRT mellan 12–36 dagar (Gao et al., 2019a). En COD-reduktion på 87–89 % kunde då åstadkommas och metangasproduktionen uppgick till 0,41–0,48 g CH<sub>4</sub>-COD/g COD<sub>in</sub> (Gao et al., 2019a).

För både det mer utspädda och koncentrerade svartvattnet var koncentrationen av sulfat lägre än den gräns som rapporterats vara inhiberande och orsakade inte fullständig inhibering (Augusto et al., 2007; Gao et al., 2020b; Gao et al., 2019a). Vidare var COD/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - kvoten lägre (dvs. mängden sulfat i förhållande till COD var större) i det mer utspädda svartvattnet (Gao et al., 2019a).

Gao et al. (2019c) undersökte hur reduktionen av COD och produktionen av metangas varierade med en ökande OLR vid behandling av svartvatten i en UASB vid 35 °C. Vid en OLR på 4,1 kg COD/m<sup>3</sup>, d och HRT 2,6 dagar kunde en reduktion av COD på 84 % och en produktion av metangas på 0,68 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> reaktor och dag åstadkommas.

Vid försök med behandling av svartvatten och matavfall med AnMBR vid Hammarby Sjöstadsverk åstadkoms en reduktion av COD på 85–95 % och en metangasproduktion på 0,14 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg COD reducerad eller 0,13 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg COD in (metanhalten varierade mellan 66–88 % i den producerade biogasen) (Hellström et al., 2008).

Volymen har uppskattats för de två olika system för insamling av svartvatten:

1. Vakuumbaserat insamlingssystem (med vakuumpolett) med en spolvolym på 0,6 L/spolning, en specifik inkommande svartvattenvolym på 4,2 L/person och dag och för 9 000 personer ett flöde på 1,575 m<sup>3</sup>/h (Bigot, 2021). Koncentrationen av COD har då uppskattats vara ca 17 143 mg/L (Bigot, 2021).
2. Snålspolande insamlingssystem (med snålspolande toalett och självfallsledning) med en spolvolym på 2 och 4 L/spolning, en specifik inkommande svartvattenvolym på 18 L/person och dag och för 9 000 personer ett flöde på 6,75 m<sup>3</sup>/h (Bigot, 2021). Koncentrationen av COD har då uppskattats vara ca 4 000 mg/L (Bigot, 2021).

Samtliga driftparametrar har sammanställts i Tabell 5-9 och en sammanställning av det uppskattade energi, resurs- och platsbehovet finns i Tabell 5-10.

Tabell 5-9. Sammanställning av relevanta driftparametrar för UASB vid behandling av svartvatten.

Parameter	Mätvärde
Hydraulisk uppehållstid (HRT)	> 6–12 timmar (ev. 0,5–30 dagar)
Slamuppehållstid (SRT)	30–90 dagar
Organisk belastning (OLR)	<15–20 kg COD/m <sup>3</sup> , dA
Biologisk belastning (BLR)	0,05 – 0,15 kg COD/kg VS, d
Uppåtlöshastighet (V <sub>u</sub> )	0,5 – 1 m/timme (ev. 0,5–10 m/timme)
Reaktorhöjd (h)	3 – 20 m

<sup>A</sup>Troligtvis mellan 4–10 kg COD/m<sup>3</sup> och dag.

Tabell 5-10. Uppskattning av energi- och resursbehov samt behövd volym för en UASB vid behandling av svartvatten.

Parameter	Mätvärde
Energibehov	Värme: 30 kWh/m <sup>3</sup> <sup>A</sup> Elektricitet: Försumbar
Övrigt resursbehov	Inget övrigt resursbehov.
Behövd volym	162 m <sup>3</sup> <sup>B</sup>

<sup>A</sup> Värmebehovet är uppskattat baserat på en antagen inkommande vattentemperatur på 10 °C.

<sup>B</sup> Volymsbehovet är uppskattat baserat på en antagen organisk belastning på 4 kg COD/m<sup>3</sup> och dag enligt Ekvation 3.

En sammanställning av bio- och metangasproduktionen samt reduktionen av COD för UASB från några tidigare studier finns sammanställd i Tabell 5-11.

Tabell 5-11. Reduktion av COD och metangasproduktion för UASB vid behandling av svartvatten (från några tidigare studier).

Parameter	Mätvärde
Reduktion av COD	72 – 89 %
Metangasproduktion	0,23 – 0,48 g CH <sub>4</sub> /g COD <sup>D</sup> 0,25 – 0,33 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>C</sup>

<sup>C</sup>För en varierad sammansättning på spillvattnet, inkl. bl.a. både kommunalt avloppsvatten och svartvatten.

<sup>D</sup>Behandling av svartvatten.

En sammanställning av näringsämnen i utgående vattenfas samt reduktionen av metaller och mikroföroreningar över UASB finns i Tabell 5-12.

Tabell 5-12. Sammanställning av näringsämnen i utgående vattenfas samt reduktionen av metaller och mikroföroreningar över UASB.

Parameter	Mätvärde
Andel av inkommande fosfor (P) och kväve (N) i utgående vattenfas	61 – 91 % (P) 76 – 95 % (N)
Avskiljning av metaller från utgående vattenfas	-5 – 75 % <sup>A</sup>
Avskiljning av mikroföroreningar från utgående vattenfas	10 – 60 % <sup>B</sup>

Se Tabell 5-13 för sammanställning av relevanta driftparametrar för AnMBR och se Tabell 5-14 för sammanställning av uppskattat energi-, resurs- och platsbehov för AnMBR.

Tabell 5-13. Sammanställning av relevanta driftparametrar för AnMBR vid behandling av svartvatten.

Parameter	Mätvärde
Temperatur	ca 35 °C
Hydraulisk uppehållstid (HRT)	> 8–10 timmar (ev. uppemot 2–3 dagar)
Slamuppehållstid (SRT)	60–80 dagar
Organisk belastning (OLR)	<15 kg COD/m <sup>3</sup> , d <sup>A</sup>

<sup>A</sup>Troligtvis mellan 4–10 kg COD/m<sup>3</sup> och dag.

Tabell 5-14. Sammanställning av energi-, resurs- och platsbehov för AnMBR.

Parameter	Mätvärde
Energibehov	Värme: 30 kWh/m <sup>3</sup> Elektricitet: 0,19–0,49 kWh/m <sup>3</sup>
Övrigt resursbehov	Citronsyra: 9,3 - 35,7 kg/år Natriumhypoklorit: 8 - 34,4 kg/år
Behövd volym	162 m <sup>3</sup> <sup>B</sup>

<sup>B</sup> För en organisk belastning på 4 kg COD/m<sup>3</sup> och dag. Uppskattad volym endast för huvudreaktor. Membrantanksvolym tillkommer och behöver troligtvis vara i storleksordningen 1–10 m<sup>3</sup>.

Van Voorthuizen et al. (2008) jämförde behandling av svartvatten med UASB och membranfiltrering med anaerob MBR och aerob MBR (se Tabell 5–14). Metangasproduktionen var dock lägre än förväntat, enligt Van Voorthuizen et al. (2008).

Tabell 5-15. Jämförelse av utgående halter av COD, reduktion av COD, metangasproduktion och slamproduktion för UASB med membranfiltrering, anaerob MBR samt aerob MBR (Van Voorthuizen et al., 2008).

Reaktor	Utgående COD [mg/L]	Reduktion COD [%]	Metangasproduktion [g CH <sub>4</sub> /g COD]	Slamproduktion [g COD/g COD]
UASB m. membranfiltrering	104	91	0,27	0,30
Anaerob MBR	159	86	0,35	0,21
Aerob MBR	98	91	0	0,42

I Tabell 5-16 finns en sammanställning av reduktionen av COD och metangasproduktionen vid behandling av svartvatten med AnMBR från några tidigare studier.

Tabell 5-16. Reduktion av COD och metangasproduktion vid behandling av svartvatten med AnMBR (från några tidigare studier).

Parameter	Mätvärde
Reduktion av COD	85 – 95 %
Metangasproduktion	0,35 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>D</sup> 0,23 – 0,33 L CH <sub>4</sub> /g COD <sup>C</sup>

Van Voorthuizen et al. (2008) jämförde sammansättningen av näringsämnen i permeatet från AnMBR och aerob MBR vid behandling av svartvatten. I studien jämfördes två olika anaeroba membranbioreaktorer samt en aerob membranbioreaktor. Konfigurationen av de två membranbioreaktorerna var UASB följt av membranfiltrering samt en konventionell anaerob reaktor med ett internt placerat membran (se Tabell 5-17).

Tabell 5-17. Andel av ingående fosfor och kväve som återfinns i utgående vattenfas (van Voorthuizen et al., 2008).

Ämne	Ingående flöde	UASB m. membran utgående vatten	AnMBR utgående vatten	Aerob MBR utgående vatten
Totalkväve [mg N/L]	175	151	163	147
Totalfosfor [mg P/L]	188	112	113	119
Andel N utgående vatten [%]		86	93	84
Andel P utgående vatten [%]		95	96	100

Se Tabell 5-18 för en sammanställning av andelen näringsämnen som konserveras i utgående vattenfas samt avskiljningen av metaller och mikroföroreningar över AnMBR.

Tabell 5-18. Reduktion av COD och metangasproduktion vid behandling av svartvatten med AnMBR (från några tidigare studier).

Parameter	Mätvärde
Andel av inkommande fosfor (P) och kväve (N) i utgående vattenfas	74 – 96 % (P) 75 – 93 % (N)
Avskiljning av metaller från utgående vattenfas	> 95 %
Avskiljning av mikroföroreningar från utgående vattenfas	50 – 90 %

Fördelar med anaerob MBR inkluderar bl.a. att all biomassa kan bibehållas i reaktorn och att ett permeat med låg partikelhalt kan erhållas, att majoriteten av ingående näringsämnen bevaras i utgående permeat samt att det är ett kompakt system (Anjum et al., 2021). Den främsta utmaningen med AnMBR är membran fouling (Anjum et al., 2021).

Volymbehovet för respektive teknik har uppskattats baserat på den organiska belastningen som har antagits vara 4 kg COD/m<sup>3</sup> och dag. Utifrån den uppskattningen bedöms volymbehovet vara ungefär detsamma förutom att volymen för membrantanken tillkommer för AnMBR. Gissningsvis skulle den volymen kunna uppgå till mellan 1 – 10 m<sup>3</sup> beroende på hur stort inkommande svartvattenflödet är.

Metangasproduktionen bedöms vara snarlik för både AnMBR och UASB. Reduktionen av COD bedöms också vara snarlik (kan ev. vara något lägre för UASB) baserat på de tidigare studier som har undersökts. Där har reduktionsgraden kunnat uppgå till uppemot 80 – 90 % för både AnMBR och UASB.

Vad gäller sammansättningen av utgående strömmar bedöms innehållet av fosfor och kväve i utgående vattenfas vara snarlikt för både AnMBR och UASB och har varierat i några olika studier mellan 60 till > 90 % för fosfor och mellan 70 och > 90 % för kväve.

Utgående halter av COD och suspenderat material verkar generellt vara högre för UASB (ca 1 000 – 2 000 mg COD/L och 100 – 700 mg SS/L) jämfört med AnMBR (ca 300 mg COD/L och uppemot 0 mg SS/L).

Löst metan i utgående vattenfas förekommer både med UASB och AnMBR och verkar påverkas av bl.a. temperaturen och HRT (där en lägre temperatur och en kortare HRT verkar ge en större andel löst metan i utgående vattenfas).

Avseende reduktionen och fördelningen av föroreningar mellan utgående slam- och vattenfas verkar det som att reduktionen av metaller generellt är högre med AnMBR jämfört med UASB (det baseras dock på endast en studie med UASB och en studie med AnMBR men kan åtminstone ge en indikation). I en studie med AnMBR vid Hammarby Sjöstadsverk var reduktionen > 90 % för flera metaller som då huvudsakligen hamnade i slamfasen. Reduktionen av metaller över UASB var generellt lägre och mer varierad mellan -5 – 75 % för några olika metaller.

Reduktionen av mikroföroreningar över AnMBR och UASB verkar variera för olika ämnen. Det som går att säga baserat på två tidigare studier (en för AnMBR och en för UASB) är att viss reduktion verkar förekomma både med UASB och AnMBR men att organiska mikroföroreningar troligtvis kommer att förekomma i både utgående slam- och vattenfas.

Det finns en rad olika anaeroba behandlingstekniker som skulle kunna vara intressanta utöver AnMBR och UASB. Flera av dessa är varianter av UASB-reaktorn såsom t.ex. fluidiserad eller expanderad bädd (AFBR), UASB med intern recirkulation (IC-UASB), en hybridreaktor som består av en UASB där den övre delen av reaktorn består av en fast bädd eller ett anaerobt filter och även DACS som innehåller ett bärrmaterial och har ett nedåtgående flöde.

De främsta fördelarna med att även ha membranfiltrering jämfört med att enbart ha en UASB-reaktor är att utgående vattenfas troligtvis kommer att innehålla höga halter av fosfor och kväve samtidigt som det kommer att innehålla lägre halter av COD, suspenderat material och metaller.

De främsta nackdelarna med en anaerob reaktor åtföljd av membranfiltrering jämfört med enbart UASB är ett större energi- och resursbehov då membranfiltreringssteget läggs till.

Membran fouling begränsar anaerob MBR på några olika sätt då den är kopplad till bl.a. drifttemperatur, HRT och SRT. En alltför låg eller hög temperatur kan bidra till ökad fouling såväl som en alltför kort HRT och alltför lång SRT. Det verkar som att det kan gå att hitta så optimala förhållanden som möjligt för att minimera membrane fouling. Tidigare driftserfarenheter av AnMBR har bl.a. varit inom EU-



projektet "Run4Life". Inom det projektet verkar utrustningen ha fungerat väl och det verkar även som att membrane fouling har varit hanterbar.

Vid anaerob behandling av svartvatten kan det vara bra att vara observant på några saker. Dels kan halter av ämnen som ammonium, ammoniak och svavel vara förhöjda (men behöver inte vara det). Vid förhöjda halter kan dessa ämnen ha en inhiberande effekt på de anaeroba mikroorganismerna. pH spelar också in där pH > 7 bl.a. minskar toxiciteten hos svavel då mindre av det förekommer i form av sulfid. pH verkar dock generellt även kunna vara förhöjt i svartvatten (pH > 8) vilket kan ha inhiberande verkan på anaeroba mikroorganismer.

Samrötning av svartvatten tillsammans med matavfall är något som har visat sig dels kunna balansera pH, halterna av ammonium, ammoniak och sulfat. Samrötning med matavfall har även kunnat förbättra effektiviteten i hydrolyseringssteget som har visat sig kunna vara begränsande vid anaerob behandling av svartvatten (då mycket fast organiskt material behöver hydrolyseras). Dock kan samrötning försvåra användningen av rötresten då avlopp och matavfall följer olika regler.

## Bilaga 6

### Produkter från näringsfabriken

En studie har utförts av Biototal i uppdrag av SVOA i syfte att undersöka marknaden för produkter som skulle kunna framställas i en näringsfabrik kopplad till den planerade stadsdelen Loudden. I Loudden planeras byggnation av 4000 hushåll (10 000 personekvivalenter) som ska vara anslutna till ett källsorterande system som möjliggör separation av olika restströmmar, t.ex. urin, svartvatten, gråvatten och matavfall, samt återvinning av dessa i en "näringsfabrik" där restströmmarna ska behandlas för att skapa olika näringsprodukter. Visionen är att näringsfabriken ska kunna drivas med hjälp av restströmmarna från Loudden och att produkterna ska ha avsättning i närområdet. Produkter som har studerats är följande enligt nedan.

#### Produkter från näringsfabriken (behandlingsteknik, företag):

- Torkad urin (alkalisk torkning, Sanitation 360)
- Flytande näringsprodukt (membrandestillering samt VUNA-process)
- P –struvit (Ekobalans)
- N- ammoniumsulfat (Ekobalans)
- Gråvatten (behandlat till bevattning eller industrianvändning)
- Biokol (från HTC)
- Rötrest (från matavfall)

I Tabell 5-19 finns uppskattade mängder för respektive scenarion sammanställt.

Tabell 5-19. Uppskattade mängder för respektive produkt (inom parentes spannet för de olika scenariona med antal anslutna 1000–10 000)

Produkt	Mängd
Torkad urin	15–150 ton/år
Flytande näringsprodukter (NP)	
-Urin (VUNA)	16–160 ton/år
-membran destilleringen	77–770 m <sup>3</sup> /år
P-struvit	2–20 ton /år
N-ammoniumsulfat	14,6–146 ton/år
Gråvatten	40 000 – 400 000 m <sup>3</sup> /år
Biokol, HTC	9 – 90 ton/år
Rötrest (slammet)	4,4 – 44 ton/år

## Resultat - Bedömning av produkter

Det kommer kunna genereras olika näringsprodukter i näringsfabriken beroende på om urinseparation kommer införas eller inte. Här nedan utvärderas samtliga produkter utifrån näringsinnehåll, form (fast/flytande), avsättningsmöjligheter och beräknad giva där så är möjligt.

### Torkad urin

Med urinseparerande toaletter får man möjlighet att ta tillvara kvävet i urinen i stället för att spola bort det, något som i slutändan riskerar att bidra till övergödning av sjöar och vattendrag. Genom att torka urinen kan man uppnå en hög kvävehalt >20 % samtidigt som volymen minskar till 6 % av ursprunglig volym (Senecal, 2022).

I den torkade urinen förekommer kväve främst som urea (Björn Vinnerås, SLU, personlig kommunikation), en organisk förening med kvävet i amidform (kemisk beteckning CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>). Urea är inte ett optimalt kvävegödningsmedel då urea inte är växttillgängligt. Det måste först omvandlas i marken till ammonium och sedan vidare till nitrat för att komma växten till nytta. Det är därför ett ganska långsamtverkande gödningsmedel. Trots det är det väldigt vanligt i andra länder, men mindre vanligt i Sverige. Att det är så pass vanligt globalt sett beror på att det är billigt i jämförelse med andra mer förädlade produkter som ammonium- och nitratbaserade gödningsmedel.

Med dagens gödselpriser bedöms efterfrågan på torkad urin vara ganska stor, det gäller bara att hitta rätt köpare. Eftersom produkten härstammar från urin och inte har genomgått någon större förändring annat än torkning så kan "äckelfaktorn" (det motstånd som ofta möter alla produkter som producerats ur avloppsströmmar) spela roll. Det är inte heller alltid som lantbrukare eller andra odlare får använda sig av avloppsströmmar då deras kunder motsätter sig användning av avloppsfraktioner. Rekommendationen är därför att vända sig till lantbrukare som redan idag använder slam i sin odling. I Stockholm med omnejd finns ett starkt

motstånd till slamspridning hos kommunerna, något som även skulle kunna påverka spridning av urinprodukter. Det kan göra att produkten måste köras längre bort från Stockholm, vilket såklart medför högre transportkostnader.

För att kunna spridas på ett enkelt sätt skulle den torkade urinen behöva pelletteras, granuleras eller prillas. Den bör då kunna spridas med samma utrustning som konstgödsel. Om den är i pulverform är det svårare att sprida jämnt och det finns också risk att produkten inte slungas i väg tillräckligt långt vilket kommer kräva tätare vändningar på åkern och således bidra till högre grad av markpackning. Ett annat alternativ är att blanda in den torkade urinen i annat befintligt gödselmedel, t.ex. slam eller biogödsel. Då kanske pulverform fungerar, men det behöver man testa för att veta säkert.

Maxgivan kan beräknas utifrån fosforinnehållet, 20 kg/ton. Med en maximal fosforgiva på 22 kg/ha och år ger det en giva på 1,1 ton torkad urin per tillgänglig hektar åkermark. Det skulle ge en kvävegiva på 275 kg/ha. Det är en ganska hög kvävegiva, medelgivan 2018/2019 i Sverige var 110 kg/ha (112kg/ha i Stockholms län) (SCB, 2020). Därför är en mer rimlig giva förmodligen ca 0,44 ton/ha vilket ger en kvävegiva på 110 kg/ha. Det ger en bra basgiva som kan kompletteras med snabbverkande gödning vid sådd eller senare i grödans utvecklingsstadium. Mängden torkad urin beräknas vara 15–150 ton/år vilket ger ett ytbehov på 34–340 ha. Det motsvarar ungefär 1–5 medelstora gårdar. Den verkliga givan och därmed ytbehovet kan skilja sig från det beräknade med hänsyn till att kvävegivan beror på jordförhållandena, vilken typ av gröda som odlas och när på året kvävet sprids. Detta gäller för samtliga beräkningar av givor i denna studie.

### **Näringslösning från urin genom VUNA-processen**

Att tillverka en flytande näringslösning från separerad urin i en VUNA-process är ett annat alternativ, troligtvis med ungefär samma avsättningsmöjligheter som torkad urin. Kvävehalten beräknas vara 240 kg/ton, vilket är ungefär samma som för torkad urin och ger därför samma giva vid användning i jordbruk. Eftersom detta är en lösning krävs en annan typ av spridarutrustning än för den torkade urinen. Det är viktigt att utrustningen klarar av att lägga en liten giva (här uppskattad till 0,44 ton/ha) och att man undviker att få produkten på växtdelar som annars riskerar att brännas av den höga kvävehalten. Givan är så pass liten att en det inte är rimligt att sprida produkten i en vanlig flytgödselspridare som behöver en giva på åtminstone ~6 ton/ha, men gärna 10 ton/ha, för att sprida bra. Ett alternativ skulle kunna vara en växtskyddsspruta med dropp- /strålmunstycke som lägger produkten direkt på marken för att minimera kväveförlust och undvika att få produkten på växtens grönmassa. Det är dock inte någon särskilt vanlig utrustning i Sverige. Man skulle också kunna späda produkten med t.ex. gråvatten eller annan flytande gödsel, om lantbrukaren har. Då kan man lägga en högre giva vilket passar flytgödsel-/slangsläpspridaren bättre.

VUNA-processen uppges rena alla läkemedelsrester i urinen (VUNA, 2022) vilket skulle kunna öppna upp för viss acceptans även inom andra användningsområden.

Det kan dock vara svårt att kommunicera ut detta till andra användare, som exempelvis handelsträdgårdar, koloniträdgårdar m.m., då risken är att de fortfarande uppfattar produkten som urin. Det är dock en möjlighet som Biototal tycker skall undersökas tillsammans med möjliga kunder i närområdet. Förmodligen är lantbruk den enklaste avsättningen som också säkerställer avsättning av hela volymen. Här är det viktigt att få med sig kommunen genom att utbilda dem i produkten, hur den tillverkas och hur läkemedelsresterna renas bort. Kan man övertyga dem om att produkten är fri från läkemedel sänks tröskeln för att kunna sprida produkten i Stockholms kranskommuner.

Något att också tänka på när det kommer till flytande produkter är att lagringen är svårare. Antingen behöver producenten eller kunden ha någon typ av brunn eller tank är lagra produkten i fram till spridning. Detta kan påverka prisbildningen.

### **Näringslösning genom membrandestillering av svartvatten**

Om urinseparering inte införs finns fortfarande möjligheter att koncentrera näringen i avloppsvattnet genom membrandestillering. Eftersom urinfraktionen i detta fall inte separeras från fekalier och spolvatten kommer vattenfasen och dess näringsämnen att vara mer utspädda än en ren urinfraktion. Även den koncentrerade produkten beräknas ha lägre NPK-innehåll än torkad urin och näringslösningen från VUNA-processen.

Med en kvävehalt runt 4 % är det ändå inte en dålig produkt. Det som begränsar antalet möjliga avsättningsområden är att det fortfarande är ett avloppsvatten och det är förmodligen svårt att marknadsföra som något annat. Det gör att den bästa avsättningen även här är lantbruket, med fokus på lantbrukare som redan idag tar emot slam.

Eftersom näringsinnehållet är lägre för den membrandestillerade näringslösningen påverkas givan, det ekonomiska värdet hos produkten och därmed också möjligt transportavstånd för att transportkostnaden inte ska överskrida en eventuell intäkt. Med ett fosforinnehåll på 3,7 kg/ton blir maxgivan med avseende på fosfor 5,9 ton/ha och år. Med en kvävehalt på 40 kg/ton blir kvävegivan då 236 kg/ha, vilket är mer än man förmodligen vill lägga. Om man även här vill satsa på en kvävegiva runt 110 kg/ha blir givan i stället ca 2,8 ton/ha och år. Det är egentligen lite för lågt för en flytgödselspridare så antingen kan näringslösningen spädas med gråvatten eller så kan man välja att lägga den högre kvävegivan genom produktgivan 5,9 ton/ha. Det är en låg giva men det är troligtvis görbart. Givet en årsproduktion på 77–770 ton/år ger det behov av 28–280 ha åkermark, vilket motsvarar 1–4 medelstora gårdar i Stockholmsområdet. Det som bör utredas vidare är i vilken form kvävet föreligger då allt förmodligen inte är ammoniumkväve, utan även organiskt bundet kväve. Det är ammoniumkvävet som är tillgängligt för växten och som har störst betydelse för givan.

### **Ammoniumsulfat**

En annan teknik för utvinning av kväve ur avloppsvatten är strippning av ammoniumkvävet följt av kristallisation genom tillsats av svavelsyra för att bilda ammoniumsulfat i kristallin form. Fördelen med en så här hög förädlingsgrad är att kopplingen till avloppsvatten suddas ut och produkten uppfattas som just en produkt. Det öppnar upp för fler användningsområden än bara lantbruk.

Generellt är ammoniumsulfat, med kemisk beteckning  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , en väldigt populär produkt i växtnäringsssammanhang då allt kväve förekommer som ammonium som är en snabbverkande form av kväve. Ammoniumsulfat är lösligt i vatten och löser sig därför snabbt i kontakt med markfukt och vid bevattning. En nackdel med ammoniumsulfat är att det kan bildas klumpar vid kontakt med fukt i luften och kan därför vara svårt att sprida med samma metoder som konstgödsel. Det ställer även krav på lagringsmöjligheter, att kunna förvara den torrt. Biototal använder ammoniumsulfat främst för att spetsa flytgödselbrunnar i syfte att öka kvävehalten i gödseln, på så sätt undviker man problem med klumpbildning. Andra tänkbara användningsområden som bedöms som möjliga i närområdet kring Norra Djurgården är som näring på kyrkogårdar, i parker, kommunens planteringar, på golfbanor, handelsträdgårdar eller i jordtillverkning.

Inom lantbruket är efterfrågan stor och det kommer vara lätt att hitta avsättning för ammoniumsulfaten. Andra marknader är kanske inte lika vana vid produkten så där kan krävas mer marknadsföring, relationsbyggande och gemensam produktutveckling. Däremot är vår erfarenhet att intresset är stort för förnyelsebar växtnäring just nu när gödning är både dyrt och svårt att få tag på. Därför är det förmodligen inte omöjligt att hitta avsättning inom annat än lantbruk. En kombination av avsättning inom lantbruk och andra områden, exempelvis golfbanor, handelsträdgårdar och jordtillverkning är förmodligen att föredra då det kan finnas säsongsvariationer inom de olika branscherna som gör att behovet inte är jämnt fördelat över året. Med avsättning inom olika branscher ökar möjligheten att hitta en kontinuerlig avsättning och därmed minska behovet av lagringsyta.

Ren ammoniumsulfat har en kvävehalt på 21 %, d.v.s. 210 kg/ton, vilket beräknas kunna uppnås i näringsfabriken. Om man vill ha en kvävegiva på 110 kg/ha blir givan 0,52 ton/ha och år vid användning inom lantbruket. En årsproduktion på 14,6–146 ton/år kräver alltså en tillgänglig yta på ungefär 28–280 ha, vilket motsvarar 1–4 medelstora gårdar. Årsproduktionen motsvarar 4 bil med släp (36 ton/ekipage) per år vilket innebär att man skulle kunna köra 1 lass (bil med släp) per kvartal till 1 lantbrukare. Vid användning inom annat än lantbruket är mängdbehovet svårt att uppskatta då det beror på vilken typ av verksamhet som bedrivs och hur stor produktionen är (hos t.ex. handelsträdgårdar och jordtillverkare). Men om ammoniumsulfaten skulle användas för att gödsla gräsmattor i t.ex. parker eller golfbanor så kan man jämföra med vanliga gräsgödsel på marknaden. En jämförelse som har gjorts på gräsgödsel från en känd svensk gödselproducent visar att rekommenderad dosering är 3,5 g N/m<sup>2</sup>, d.v.s. 35 kg N/ha. För ammoniumsulfaten innebär det en dos/giva på 0,6 ton/ha, alltså i samma storleksordning som

vid användning inom lantbruket. Den stora skillnaden är att lantbrukarna har stora arealer och därför krävs färre kunder för att avsätta samma mängd produkt.

I verkligheten skulle ammoniumsulfaten förmodligen inte spridas torr p.g.a. risk för klumpbildning. Utblandning av ammoniumsulfat i annan gödsel är att föredra.

### **Struvit**

Till skillnad från ammoniumsulfat som bara återvinner kvävet i avloppsvattnet, innehåller struvit även fosfor. Struvit har den kemiska beteckningen  $MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$  och innehåller alltså magnesium, kväve och fosfor i molförhållande 1:1:1. Viktmässigt innehåller dock struvit dubbelt så mycket fosfor som kväve och kommer därför att efterfrågas främst i områden/produkter som behöver ett tillskott av fosfor.

Biototal's erfarenhet är att fosfor inte efterfrågas i någon större utsträckning inom jordtillverkning. Det betyder inte att det inte går att hitta avsättning där, produkten innehåller ju trots allt även en hel del kväve, men betalningsviljan för fosfor är förmodligen inte så hög. Vidare kommer fosfor inte heller till nytta vid gödsling av gräs och grönytor där syftet enbart är att göra gräset grönt, för sådana ändamål är kväve viktigast. Parker, planteringar och kyrkogårdar skulle nog däremot kunna vara möjliga avsättningsområden eftersom där finns all möjlig typ av växtlighet. Likaså skulle handelsträdgårdar och växthus som blandar sina egna näringslösningar kunna vara intresserade av att hitta förnybara alternativ till jungfrulig fosfor.

I övrigt är lantbruket en säker avsättning både med tanke på att det rör sig om så små volymer och med hänsyn till jorden runt Stockholm. Eftersom Stockholm inte längre är särskilt tätt med djur finns ett behov att tillföra fosfor, så en fosforgiva nära tillåtna 22 kg/ha och år är förmodligen önskvärt. Med en fosforhalt på 125 kg/ton ger det en giva på 0,18 ton/ha och år vilket är en rimlig giva för spridning med samma utrustning som för konstgödsel. Med en årsproduktion på 2–20 ton/år krävs en tillgänglig spridningsareal på 11–111 ha vilket motsvarar 1–2 medelstora gårdar.

### **HTC-kol**

HTC-kol är en produkt som tillverkas genom hydrotermisk karbonisering (HTC) och som fått mycket uppmärksamhet de senaste åren. Mycket har också klarnat kring produkten under denna tid när många, inklusive Biototal, har försökt förstå processen och vad den ger för typ av produkt. Inledningsvis talade man ofta om "biokol" även vid tillverkning i en HTC-process, något som senare visat sig vara missvisande då kolprodukten som bildas vid HTC-processen skiljer sig väsentligt från det biokol som tillverkas genom pyrolys. Därmed myntades också nya begrepp för att särskilja HTC-processens kol från biokol, två sådana begrepp är HTC-kol eller hydrokol. Fortfarande används dock begreppen slarvigt och blandas ihop med biokol, som produceras genom pyrolys. Det gör att även egenskaperna förväxlas, t.ex. kolets förmåga att binda vatten och näring samt dess funktion som kolsänka.

Fortfarande råder mycket oklarheter kring HTC-kolet, men det Biototal funnit genom egna tester och analyser är att HTC-kolet inte är särskilt stabilt. Tittar man på H/C- och O/C-kvoterna från Biototal's tester visar de att HTC-kolet ligger en bra bit ifrån EBC:s (European Biochar Certificate) gränser för vad som betraktas som stabilt nog för att ge en kolsänka. Med andra ord förkolnar inte det ingående materialet tillräckligt vilket leder till ett HTC-kol som är ganska likt ursprungsmaterialet sett till stabilitet. Biototal har också funnit att HTC-kolet är starkt hydrofobt vilket gör att kolets förmåga att binda vatten och näringsämnen kan ifrågasättas. HTC-kolets egenskaper är dock väldigt beroende av vilken typ av slam som används då olika typer av makromolekyler (cellulosa, lignin, protein, fett mm.) förkolnas vid olika temperaturer, varför det är viktigt att testa på just det slam som är avsett att användas.

I kontakt med några av våra nuvarande och potentiella kunder har Biototal funnit att det i dagsläget inte finns något intresse av att köpa HTC-kol i växtnärings-/jordförbättrings-syfte; det finns för få positiva effekter av kolet vad man har kunnat visa hittills. Det som skulle kunna vara ett alternativ är att sälja det som bränsle eftersom HTC-processen komprimerar och avvattnar slammet och därmed ger en högre energitäthet. Nackdelen är man går miste om chansen att skapa en kolsänka, något som dock ändå ser ut att vara svårt vad gäller HTC-kol.

### **Biokol**

Till skillnad från HTC-kol ger pyrolyprocessen helt andra möjligheter för slammet att förkolna till en stabil produkt, biokol. Just stabiliteten och därmed kolsänkepotentialen är viktig då det kan generera en extra intäkt eller lägre inköpspris för köparen av biokolet. Något annat som är avgörande är den specifika ytarean som ger ett mått på hur poröst biokolet är; ju större ytarea, desto större förmåga att binda vatten och näringsämnen.

Biototal har varit i kontakt med jordtillverkare som skulle kunna vara intresserade av biokol för dess vatten- och näringsbindande egenskaper samt för kolsänkan. Det som kan påverka huruvida de väljer att köpa in biokol gjort på slam är hur stor den specifika ytarean är, eftersom denna påverkar biokolets egenskaper. Biokol gjort på slam har visat sig ha en mindre ytarea än biokol gjort på träråvara vilket påverkar prisbilden negativt. Det är dock troligt att biokol gjort på slam kommer att användas i jordtillverkning framöver, förutsatt att produkten kommer ut på marknaden. Vidare har EBC för avsikt att inkludera slam på sin "positiva lista" över godkända insatsvaror vilket är mycket positivt om slambiokolet ska användas i jordtillverkning.

För lantbruk är det mer oklart vad biokolens roll och funktion kommer vara. Till skillnad från slam innehåller biokol varken ammoniumkväve eller särskilt mycket mullämnen, faktorer som gör att vanligt, obehandlat rötslam är populärt bland många lantbrukare. En väg framåt kan vara att göra försök på lantbrukarens egen mark där man under några år studerar effekterna av biokol på längre sikt. Det kan också vara nödvändigt att se över prismodellen och att i denna inkludera



intäkt för skapande av kolsänka. En möjlig modell är att producenten delar intäkten för kolsänkan med verifierande organ och lantbrukaren.

Vidare finns många andra spännande användningsområden för biokol, bland dessa finns att använda biokol som filtermaterial. Man har även gjort försök att använda biokol i betongtillverkning och har på så sätt kunnat minska användningen av cement, vilket i sin tur minskade koldioxidavtrycket från betongtillverkningen samtidigt som styrkan hos betongen under vissa förhållanden ökade (Mensah, et al., 2021). Dessa användnings-områden ligger en bit in i framtiden men kan vara något att ha i åtanke redan nu.

### **Biogödsel**

Biogödseln har fördelen att den är förknippad med mindre "äckelfaktor" än avlopps-fraktioner. Det gör det möjligt att använda biogödseln till flera ändamål. En idé är att använda biogödseln för att belysa kretsloppet som de boende i Loudden bidrar till genom att sortera sitt matavfall. Förslagsvis skulle de boende kunna få hämta biogödsel från en tank i bostadsområdet och använda den i sina odlingar på balkongen. Vill man ta det ett steg längre skulle man kunna anlägga små odlingslotter på gården eller i närområdet som de boende kan hyra för att odla egna blommor och grönsaker som de gödslar med biogödsel från deras egen matsamling. En sådan lösning ger en känsla av att "få något tillbaka" för att man som boende hjälper till att sortera sitt matavfall och kan också öka motivationen att sortera rätt. Man skulle även kunna förpacka biogödseln i dunkar eller flaskor och sälja eller ge bort till allmänheten.

Som komplement, då ovanstående förslag kanske inte ger avsättning för hela volymen, borde det kunna finnas koloniträdgårdar och 4H-gårdar som kan tänkas vara intresserade av att köpa in IBC-tankar för att själva hämta biogödsel till sina odlingar. Kan man dessutom KRAV-certifiera biogödseln, vilket inte borde vara omöjligt tack vare det smidiga insamlingsystemet, skulle den förmodligen tas emot ännu bättre hos trädgårdsodlare.

Sedan finns också lantbruket som avsättning även om det innebär lite längre transport. Eftersom det är så pass små mängder blir det dock bara 1–2 lass (bil med släp) per år som måste ut från stan. Något att tänka på i ett sådant fall är att man behöver kunna lagra årets produktion innan det är dags att köra i väg det till en lantbrukare. Den lilla årsvolymen kan också vara en nackdel om det ska gå till lantbruk då det blir så pass lite att lantbrukaren ändå måste köpa in mer någon annans ifrån.

Det finns också möjligheter att vidareförädla biogödseln vilket skulle kunna öppna upp för användning med vanliga bevattningssystem som finns i t.ex. växthus. Då krävs att biogödseln filtreras ner till partikelstorlek 50–100 µm för att inte dysor och droppslangar ska sätta igen.

Man kan också fundera på om avvattning av biogödseln kan löna sig. Då skulle man få två fraktioner: en mullfraktion med främst fosfor och mullämnen (jordförbättring) och en flytande med i huvudsak kväve (näringslösning). Avvattning har dock visat sig vara svårt när man bara, eller till stor del, rötar matavfall, förmodligen för att matavfallet ger en stor andel lösta ämnen och liten andel fibröst material. Det går dock att lösa genom tillsats av polymer, den avvattnade biogödsel påminner då om avvattnat rötslam. Nackdelen med att använda polymer är att det inte går att certifiera produkten enligt KRAV som reglerna ser ut idag (KRAV, 2022). Certifiering enligt Avfall Sveriges certifiering SPCR120 är dock möjligt förutsatt att man håller sig till högst tillåtna mängd polymer som är 10 kg aktiv substans polyakrylamidpolymer per ton TS biogödsel (Avfall Sverige, 2021). Väljer man att avvattna biogödsel kan det också underlätta filtrering av den flytande fasen om man vill att den ska kunna gå till bevattningssystem i växthus.

### **Gråvatten**

I ett hushåll går cirka 64 % av vattenförbrukningen till disk, tvätt och personlig hygien - det som kallas gråvatten. Genom att rena och återanvända gråvattnet finns stora möjligheter till besparingar från en både stor och stabil källa till vatten.

Näringen i gråvattnet antas komma från matrester från disk, smutsen på tvätt, rester från hud med mera från bad och dusch. Kalium kommer bland annat från dricksvatten, kaliumberikat bordssalt, olika rengöringsmedel och flytande tvättmedel.

Sannolikt är gråvattnet mer intressant som bevattningsvatten än som näringsprodukt med tanke på dess relativt låga näringsinnehåll jämfört med svartvatten.

### ***Användningsområde bevattning***

Användningsområdet för gråvatten som bevattningsvatten skulle kunna vara på gräsytor, kyrkogård, kolonilotter eller balkonglådor med varierande krav på rening.

Behovet av en hög kvalitet på det renade gråvattnet är störst vid bevattning av ätbara växter utifrån risker från innehållet av mikroorganismer eller andra föroreningar. Bär och bladgrönsaker äts ofta råa vilket medför en särskild risk för att sprida mikrobiologisk smitta. Användning av ytvatten som bevattningsvatten bör hålla låg fekal förorening och i bästa fall renas före bevattning enligt Livsmedelsverket (LV 2019). De sista två dagarna före skörd bör endast vatten av dricksvattenkvalitet användas (LV 2019). Gråvattnets ursprung gör att det innehåller mikroorganismer från t.ex. avföring från dusch-vatten eller smutstvätt och måste därför renas före bevattning.

Tabell 5-20 jämför halter i gråvatten, erhållna från SVOA, med gränsvärden gällande dricksvatten hos användare (SLVFS 2001:30). Metallerna bly, kadmium, kvicksilver, nickel och koppar förekom i halter tjänliga för ett kommunalt dricksvatten. Kromhalten låg strax över gränsen för otjänligt vatten (50 µg/l). För zink saknas gränsvärde för dricksvatten. Som jämförelse var zinkhalten inom klass 3 i en skala 1 - 5 motsvarande måttlig halt (10 – 100 µg/l) utifrån Sveriges Geologiska Undersökning (SGU:s) bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013).

Tabell 5-20. Halter av metaller och näringsämnen i gråvattenanalyser erhållna från Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) jämfört med Livsmedelsverkets gränsvärden hos användare (SLVFS 2001:30). (För koppar finns gräns för både "tjänligt med anmärkning" och "otjänligt")

Parameter	Gråvatten	Dricksvatten	Bedömning dricksvatten
Bly (µg/l)	2,1	1,0	Tjänligt
Kadmium (µg/l)	0,06	5,0	Tjänligt
Koppar (µg/l)	104	200/2000	Tjänligt
Krom (µg/l)	51	50	Otjänligt
Kvicksilver (µg/l)	<0,1	1,0	Tjänligt
Nickel (µg/l)	11,6	20	Tjänligt
Zink (µg/l)	95	-	-
Totalkväve (mg/l)	23	-	-
Totalfosfor (mg/l)	8,5	-	-

För att bedöma gråvattnets kvalitet som bevattningsvatten för ätbara växter behöver det undersökas ytterligare med avseende på främst förekomst av mikroorganismer.

Gråvattnets innehåll av små mängder organiskt material i form av döda hudceller, tvål och dylikt har en mild gödslande effekt som gör nytta i jorden. Materialet utgör även mat för bakterier med ökad risk för tillväxt i lagringstank med låg omsättning av vatten. Det skulle kunna vara en tank med överskott av bevattningsvatten som lagras längre tid, exempelvis under vintern. Här ökar behovet av rengöring av tank.

Att leda eller transportera bort vattnet för bevattning av gräsmattor, prydnadsplanteringar eller golfbanor är ett alternativ som inte kräver lika höga krav på rening. Cirka 7 km:s bilväg från Louddens tidigare avloppsreningsverk ligger Lidingö golfklubbs 18-hålsbana. En golfbana på 18 hål tar upp någonstans mellan 40 och 80 hektar mark (Golfprylar, 2022). Enligt Älvkarleby golfklubb, som hänvisar till Svenska Golf förbundet, behövs normalt ett vattenuttag på cirka 20 000 – 25 000 m<sup>3</sup>/år för att hålla en 18-håls golfbana i trim (Älvkarleby Golfklubb, 2017). Vattenuttag av den storleken är inte bara krävande ur vattenresssynpunkt utan även ur energisynpunkt.

Utifrån Google Maps finns även en golfklubb (Idrottshögskolans) på cirka fyra kilometers avstånd från Loudden, strax intill grönområdet vid Östermalms Idrottsplats. Utifrån kartan uppskattas grönytorna vid och i anslutning till dessa ha en sammanlagd area på cirka 7 ha.

Enligt uppgift från SVOA kommer den årliga mängden gråvatten från Loudden uppgå till 40 000 - 400 000 m<sup>3</sup>. En grov uppskattning är att 50 - 75 % av gråvattnet skulle åtgå vid bevattning av grönområden och golfbanor exemplifierade ovan vid en årlig mängd gråvatten på 40 000 m<sup>3</sup>. Fördelen med lägre krav på rening tas ut av nackdelen med det stora antalet transporter som avsättningen kräver.

### **Användningsområde hygien (dusch och handfat)**

I flerbostadshuset HSB Living Lab i Göteborg har man gjort försök med ett lokalt reningssystem för gråvatten utsorterat från enbart dusch och handfat. Syftet var att ta bort föroreningar för att sedan använda vattnet på nytt i dusch och handfat. Gråvattnet renas genom mekanisk filtrering, kolfilter följt av en jonbytarprocess, ultrafilter, desinfektion med UV-ljus och hydroxidradikaler som produceras från vattenmolekyler med hjälp av elektroder (Holm & Schulte-Herbrüggen, 2021). Även fast teknikerna inte är nya är det nytt är att dessa används för recirkulering av vatten inom hushåll (Holm & Schulte-Herbrüggen, 2021). Resultatet blir ett nästan helt avjoniserat, och lite "för rent", vatten. Det renade vattnet pumpas ut från en 100-literstank på nedersta våningen. Vattentemperaturen höjs med en genomströmningvärmare. Simuleringar har visat att man inte behöver ha så stor tank som 100 liter med en design för tillräcklig kapacitet i reningsanläggningen. Då kan den i stort sett rena och pumpa tillbaka vattnet i samma takt som det används (Holm & Schulte-Herbrüggen, 2021).

De viktigaste drivkrafterna bakom denna teknik är både återanvändning av vatten och återvinning av värmen i vattnet. Det renade vattnet kräver mycket mindre värme för att komma upp till duschtemperatur i stället för att värmen släpps ut på spillvattennätet. Simuleringar som gjorts visade att man vid insamling av vatten från duschar kan spara 90 % av vattnet till duschningen. Övriga 10 % förbrukas i processen till exempel vid backspolning och att kommunalt kallvatten måste blandas in i vattnet för att sänka det 60-gradiga vattnet till en temperatur som går att duscha i. I handfat är vattenbesparingen bara 50 % då mer kallvatten används där. Systemet förbrukar också energi i reningsprocessen och när vatten pumpas tillbaka in i huset. När allt detta är medräknat görs en total energibesparing på cirka 60 % av den varmvattenuppvärmning som går åt till duschvattnet. (Holm & Schulte-Herbrüggen, 2021)

Eftersom HSB Living Lab producerade mer rent vatten än man kunde göra av med ska man i nästa steg i projektet spola toaletterna i det lokalt renade vattnet (HSB, 2022).

### **Användningsområde toalettspolning**

Gråvattnet skulle kunna användas som spolvatten i toaletter i Louddens lägenheter eller möjligen på kryssningsfartygen som går från Värtan. Fördelar med detta användningsområde är en betydligt mindre äckelfaktor och därmed ökad acceptans samt minskat behov av rening. Kombinerat med till exempel dusch- och handfatsseparering skulle även behovet av att lagra stora mängder gråvatten minska.

### **Användningsområde industri**

Om gråvattnet ska användas vid industri bör man ytterligare kontrollera vattnets kvalitet utifrån industrins krav, till exempel beroende på vilka konstruktioner vattnet skulle komma i kontakt eller användningsområde.

Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) kan till exempel orsaka betongkorrosion vid halter över 30 mg/l (Svenskt Vatten, 2019). Det är inte troligt att allt kväve föreligger som ammonium. Skulle det vara fallet ligger beräknad halt (utifrån totalkvävehalten 23 mg/l, på 30 mg/l och kan behöva renas innan det går till industri.

Vid RecoLab i Helsingborg undersöks i skrivande stund gråvattnets användbarhet som spolvatten till verk (Edefell, 2022).

Det är i dagsläget okänt om det finns någon passande industri i Louddens närhet.

### ***Växter som gråvattenbehandling***

I takt med urbaniseringen blir det allt viktigare att hitta nya sätt att tillföra grönska på liten yta. Gråvattenfiltersystem i form av våtmarker med vegetation kan integreras som en del av landskapet i urbana miljöer. En annan lösning är att anlägga växtlighet på fasader, så kallade gröna väggar. Som en del av lokal gråvattenrening integreras tekniken med gröna väggar i byggnadsinfrastrukturen. De gröna väggarna fungerar som ett biofilter genom att naturliga processer utnyttjas. Vatten som sipprar ner genom väggen behandlas främst genom fysikaliska och biokemiska processer samtidigt som växterna tillförs vatten och näringsämnen. Fördelarna med gröna väggar är miljömässiga och ekonomiska - gynnar biologisk mångfald, mikroklimat och livsmedelsproduktion samt är estetiska och värmeisolerande (SiEUGreen, 2022). Förutom fördelen med att tillvarata gråvattnet med gröna väggar finns positiva effekter på hälsa och livskvalitet. Växtligheten kan hjälpa till att fördröja dagvattenflöden, binda koldioxid och vara ett viktigt verktyg för att hantera negativa effekter av klimatförändringen såsom värmeböljor eller extrema skyfall. Väggarna ger även en bullerreducerande effekt (HSB, 2022).

På några orter i Sverige används gröna väggar, byggda med lite olika tekniker. I några av projekten framgår att vattning av väggen i första hand sker med uppsamlat regnvatten, i andra hand med gråvatten från fastigheten och i sista hand med färskvatten (HSB, 2022).

En doktorand utför just nu försök på inkommande gråvatten som renas genom substrat med växter vid testlabbet på RecoLab i Helsingborg (Edefell, 2022).

### ***Ås i Norge – hydroponi och gråvattenutnyttjande***

På Campus Ås i Norge bygger man upp ett så kallat "Greenery"-system (SiEUGreen, 2022). Systemet har cirkulära lösningar som medför nära noll utsläpp, lågt klimat- och vattenavtryck samt ekonomiska och hälsomässiga fördelar. Det ska bli ett visningsobjekt för hur urbant jordbruk kan bedrivas året om i kalla klimat genom återvinning av stadsavfall och vattenresurser. Stadens behov av vatten till hushåll och grönområden kommer till större delen att kunna tillgodoses. Systemet kommer även att underlätta dagvattenhanteringen.

Här separeras gråvatten och svartvatten och behandlas på plats. Svartvatten och organiskt hushållsavfall används för produktion av biogas. Rötresten används för att producera gödsel och kompost för växtodling. I ett välisolerat växthus kommer att resurser från olika fraktioner nyttjas för att odla mat året runt i hydroponiska, akvaponiska, jordbaserade och pappersbaserade system (SiEUGreen, 2022). Detta

kan vara intressant att följa vidare när mer information kommer, för fler idéer om gråvattenutnyttjandet.

### Rekommenderade produkter

Biototal bedömning är att samtliga produkter går att avsätta i närområdet eller inom lantbruket i Stockholms län med undantag för HTC-kol som det i dagsläget råden mycket oklarheter kring, både vad gäller egenskaper och möjliga användningsområden (se Tabell 5-21). Vissa produkter har fler avsättningsområden än andra, tack vare en högre förädlingsgrad vilket minskar associationerna till ursprunget, d.v.s. avlopp. Även om lantbruket är väldigt intresserade av cirkulära gödselprodukter av hög kvalitet så finns det andra avsättningar på närmre håll och som dessutom är mer spännande och gynnsamma för projektet att bygga en stadsdel som tar vara på näringen i dess restströmmar.

Av de olika näringsprodukterna som kan tillverkas från urin eller svartvatten anser Biototal att ammoniumsulfat och struvit är mest intressanta. Detta för att förädlingsgraden är hög och därmed möjliggör fler användningsområden än produkter som fortfarande associeras starkt med avloppsfraktioner. De har också högt näringsinnehåll vilket alltid är en fördel. Ammoniumsulfat och struvit ser dessutom ut att kunna CE-märkas enligt EU:s nya gödselordning och därmed uppnå "end of waste-status". Den nya versionen av förordningen innehåller nya komponentmaterialkategorier (CMCs) som i vissa fall tillåter användning av avloppsfraktioner för tillverkning av gödsel- och jordförbättringsprodukter (Bernsel, 2022).

Tabell 5-21. Sammanställning av produkterna från näringsfabriken med avsättningsmöjligheter, fördelar och nackdelar.

Produkt	Avsättning	Fördelar	Nackdelar
Torkad urin	Lantbruk	Koncentrerad	Låg förädlingsgrad (äckelfaktor), läkemedelsrester
Näringslösning VUNA	Lantbruk	Koncentrerad, fri från läkemedelsrester och andra föroreningar	Låg förädlingsgrad (äckelfaktor)
Näringslösning membrandestillering	Lantbruk	Hyffsat koncentrerad	Låg förädlingsgrad (äckelfaktor), Högt vatteninnehåll möjliggör kortare transportavstånd
Ammoniumsulfat	Jordtillverkning, golfbanor, handels-trädgårdar, växthus, parker, kyrkogårdar, lantbruk	Hög förädlingsgrad (lägre äckelfaktor), produktstatus möjlig?	Ursprunget kan ev. fortfarande ha negativ påverkan
Struvit	Handelsträdgårdar, växthus, parker, golfbanor, kyrkogårdar, lantbruk	Hög förädlingsgrad (lägre äckelfaktor), produktstatus möjlig?	Ursprunget kan ev. fortfarande ha negativ påverkan

HTC-kol	Än så länge ganska oklart	Avvattnad produkt, högre energitäthet	Oklar stabilitet, dålig kolsänka, oklar användning
Biokol	Jordtillverkning, lantbruk, betong, filter	Poröst, stabilt, låg vikt	Sämre biokol är det som är gjort på träåvara
Biogödsel	Konsumentprodukt för trädgårdar och uteplatser, koloniträdgårdar, 4H-gårdar, jordtillverkning, växthus, lantbruk	Gjort på matrester (rel. Låg äckelfaktor), synliggör kretsloppet	Liten mängd för lantbruk, låg näringstäthet
Gråvatten	a) Bevattning av golfbana, gräsyta, växtodling. b) Hygienvatten, toalettspolning, gröna väggar. c) Industrivatten	a) Återvinna vatten samt viss näring (gräs/golf lägre reningskrav). b) Lokalt, ingen transport. Värme- och vattenåtervinning, miljöförbättring. Ingen rening grön vägg. c) Vattenåtervinning.	a) Transporter. Lagrings-behov. Till ätbara växter krävs rening till dricksvattenkvalitet. b) Rening för hygien- och toalettspolvatten krävs (men inte till dricksvatten-kvalitet). c) Rening av olika grad beroende på användning. Oklart om lämplig industri finns i närområdet.

Slammet är tänkt att rötas och därefter genomgå hydrotermisk karbonisering för att ge HTC-kol, även kallat hydrokol. Biototal har haft kontakt med några tänkbare kunder som visat intresse för produkten, men i takt med att mycket klarnar kring HTC-kolet och dess egenskaper finns inte samma intresse kvar. Biototal tycker därför att det är mer intressant att använda slammet som det är till lantbruk, alternativt se över möjligheterna att producera biokol genom pyrolys. Det ger en mer porös produkt som har förmågan att binda vatten och näring och som dessutom är betydligt mer stabil över tid. Biokolet är kanske främst intressant för jordtillverkning och för kolsänkans skull. Det skulle även kunna vara intressant inom lantbruket där just kolsänkan kan bli en viktig faktor. Restvärmen från pyrolysen och förbränning av pyrolysgaserna kan användas för att torka material eller värma upp lokaler och lägenheter i Loudden.

Biogödseln bör kunna användas som den är, och Biototal rekommenderar att den i första hand används för konsumentmarknaden framför lantbruket. Detta för att det synliggör kretsloppet som de boende i Loudden är med och bidrar till, särskilt om de boende själva har möjlighet att få tillbaka av det som de har samlat in.

Gråvatten som bevattningsvatten bör renas till dricksvattenkvalitet vid användning på ätbara växter. Behovet lokalt är sannolikt litet även om samtliga hyresgäster skulle odla i liten skala. Transport till närliggande växtodlingar som till exempel 4H-gården är inte rimligt, där finns även damm och sjö i närheten som kanske redan nyttjas för bevattning. Vid gråvattenmängd inom det lägre intervallet 40 000 m<sup>3</sup> finns avsättning i närområdet för större gräsytor som till exempel golfbanor som dock kräver transporter men mindre behov av rening. Det som produceras vintertid skulle även behöva lagras.

Rekommendationen är att rena gråvattnet till åtminstone dusch- och handfatskvalitet som cirkulerar. Förutom fördelen med värme- och vattenåtervinning ökar möjligheten till fler användningsområden som till exempel toalettspolvatten. Att använda en delström av gråvatten till bevattning av gröna väggar ger många fördelar i bostadsområdet som inte kräver föregående rening då vattnet renas och tas upp via växtväggen.

### **Marknadsföring och kommunikation**

Det är alltid svårt att kommunicera kring produkter som är tillverkade ur avloppsfraktioner. Man vill inte att diskussionen fastnar i produktens ursprung men man vill heller inte framstå som att man mörkar hur produkten tillverkas. Det bästa är nog att fokusera på hur produkterna skiljer sig från dess ursprungsform; berätta varför avlopp är en bra källa till näring, beskriva vilka delar/molekyler man har plockat ut ur restströmmarna och hur tekniken fungerar. Vidare tror Biototal att det är viktigt att marknadsföra produkterna som förnybara och cirkulära. Det är just nu stor efterfrågan på cirkulära gödselmedel och därför är det viktigt att framhålla just det cirkulära.

Namngivning av produkterna har också stor betydelse för hur de uppfattas. Här finns det åtminstone två vägar att gå: antingen väljer man att trycka på det cirkulära i namnet, t.ex. "Kretsloppsgödsel", eller så kallar man det bara för vad det är, såsom ammoniumsulfat och struvit. Båda alternativen har både fördelar och nackdelar. Det förstnämnda alternativet fångar uppmärksamheten men det finns en risk att användaren skapar sig en egen uppfattning om ursprunget. Det sistnämnda är mer neutralt och lägger ingen värdering i produkten, men är å andra sidan inte lika "trendigt". Beroende på vilken marknad man riktar sig mot kan det ena eller andra alternativet vara att föredra. Mot mer professionella marknader kan man nog vinna på ett mer neutralt namn och sedan berätta mer om produkten. Mot konsumentmarknaden vill man kanske ha ett namn som sticker ut lite mer för att fånga intresset hos konsumenten för där han man inte samma möjlighet att berätta mer än det som står på förpackningen. Man bör också undvika namn som associeras med avlopp, t.ex. "ReNurine". Det kan man kalla en produkt på forskningsstadiet men det kanske inte är lika lämpligt när man vill nå ut till konsumenter.

Gällande gråvattnet är en motverkande faktor till att återanvända gråvatten att det i nuläget är billigt med vatten. Den som inte har egen brunn med risk för vattenbrist vid torra somrar har troligen fokus på annat än att spara på dricksvatten.



Särskilt med de stora, tillgängliga mängderna i Mälaren som försörjer stockholmarna med dricksvatten. Kapaciteten att producera dricksvatten på vattenreningsverken är dock begränsad vid till exempel värmeböljor då mer vatten förbrukas till pooler och bevattning. I takt med att antalet invånare ökar krävs successivt också mer dricksvatten (Stockholm Vatten och Avfall, 2022). Att genom val av boendeform bidra med hushållning av dricksvatten, genom att återanvända gråvattnet, bör vara ett starkt incitament för den miljömedvetne.

Det finns ett visst motstånd och ovilja i samhället när det gäller att återanvända "grannens" vatten för att duscha. I HSB Living Labs hus var problemet dock inte så stort eftersom de boende från början varit medvetna om att de deltar i olika utvecklingsprojekt (Holm & Schulte-Herbrüggen, 2021).

Information är viktig för att öka acceptansen och bör komma i ett tidigt skede. Temat för att marknadsföra boendet vid Loudden kan vara att framhäva att det är en lösning för framtiden. Genom att välja detta boende deltar i arbetet med att tillvarata energi och livsviktiga resurser som dricksvatten. Till en början skulle information kunna spridas som utdelad broschyr parallellt med hemsida och på informationsmöte. Hemsidan [www.hsb.se/hsblivinglab](http://www.hsb.se/hsblivinglab) kan rekommenderas som inspirationskälla.

När hyresgästerna väl är på plats kan informationen lämpligen främst ske via hemsida men även på skärm i trapphuset eller i eventuell visningslokal. Innehållet bör vara illustrativt och pedagogiskt. Informationen kan innehålla uppgifter om hur vattnet renas, hur det cirkulerar i huset, hur kvaliteten kontrolleras med avseende på mikrobiell säkerhet och föroreningar. Intressant skulle vara att kunde följa löpande uppdateringar med data på storleken av besparingar av energi och vattenförbrukning.

De gröna väggarna är ett utmärkt sätt att synliggöra nyttan med att återvinna gråvattnet som genom dess exponering blir en lättillgänglig del av marknadsföringen.

Något som är på frammarsch är så kallad "gamification", spelifierat lärande, när man använder spelelement inom verksamheter som traditionellt sätt inte hör samman med spelande. HSB Living Lab använder programmet WaterAware för att genom så kallade insiktsstudier gå på djupet kring vattenanvändning. Det är en tävling med andra om att spara vatten i hushållet där man bland annat fyller i sin vattenförbrukning (till exempel via mobilen). Spelet har även innehåll som beror på sociala faktorer och vanor när det handlar om vattenförbrukning (HSB, 2022).

## Slutsats

Av de olika näringsprodukterna från urin eller svartvatten anser Biototal att ammonium-sulfat och struvit är mest intressanta då de har flest avsättningsmöjligheter och är minst kontroversiella. De har också ett högt näringsinnehåll vilket är bra oavsett användningsområde, eftersom kunden bara vill betala för själva näringen. Möjliga användningsområden är parker, kyrkogårdar, kommunala plante-

ringar, golfbanor, handelsträdgårdar och växthus. Även jordtillverkare kan använda produkterna i sina jordar för att minska sin användning av konstgödsel. Om man mot förmodan inte skulle hitta avsättning bland dessa verksamheter bedöms efterfrågan av cirkulära produkter som ammoniumsulfat och struvit vara stor inom lantbruket. Oavsett användningsområde bör hänsyn tas även till transporttillstånd och lagringsbehov då detta är faktorer som påverkar lönsamheten både för användaren och producenten.

Båda produkterna är i fast form vilket är bra både sett till lagring, frakt, hantering och flera av de användningsområden som föreslagits. I vissa fall, t.ex. för gödsling i växande gröda, kan det vara smidigare med en flytande produkt för att slippa mylla ner gödningen. I sådana fall kan användaren själv blanda ut produkterna i vatten till önskad koncentration.

Vad beträffar slammet tycker Biototal att man ska utreda pyrolys som teknik framför HTC, detta då det råder mycket oklarheter kring HTC-kolet och vad det ska användas till. Biototals kunder som tidigare har varit intresserade av HTC-kol har, i takt med att kunskapsnivån vuxit, börjat bli tveksamma till HTC-kol. Biokol är dock fortfarande intressant och används redan inom t.ex. jordtillverkning. Även om slambiol har visat sig inte hålla riktigt lika hög kvalitet som träbiokol så är det fortfarande en bra produkt som jordtillverkare är intresserade av. Det som också är intressant med biokol är kolsänkan och den intäkt den skulle kunna ge.

Biogödseln som bildas vid rötning av matavfallet från de boende i Loudden har förmodligen mindre äckelfaktor än vissa av produkterna som produceras av avloppströmmar. Det tycker Biototal att man ska utnyttja och göra produkter som tydliggör kretsloppet som de boende i Loudden bidrar till. Exempelvis kan de boende få tillbaka biogödsel att vattna med på balkonger och uteplatser under vår och sommar. Andra förslag är att förpacka biogödseln i dunkar och sälja eller skänka bort bredare, inte bara till de boende i Loudden. Det kan också vara möjligt att hitta 4H-gårdar, som lär ut kretslopps-tänk och självhushållning till barn, som kan vara intresserade av att ta emot en del biogödsel för användning i sin verksamhet. Likaså kan andra trädgårds-verksamheter, som koloniträdgårdar och handelsträdgårdar, vara tänkbara avsättningsmöjligheter. För lantbruket är den årliga mängden så liten att det knappt är till någon nytta för lantbrukaren. Men det är ett möjligt alternativ om syftet endast är kvittblivning.

Gråvatten är mer intressant som bevattningsvatten än som näringsprodukt med tanke på dess, jämfört med svartvattens, lägre näringsinnehåll. Ätbara växter kräver bevattningsvatten av dricksvattenkvalitet och behovet är litet i Louddens omedelbara närhet. Dessutom medför produkten bevattningsvatten för växtodling, golfbanor eller andra gräsytor nackdelar med många transporter och behov av att kunna lagra vatten vintertid. Därför valdes detta användningsområde bort till förmån för produkter som kan användas lokalt i bostadsområdet. Dels renat gråvatten för återcirkulerande dusch- och handfatsvatten med fördelar även i värmeåtervinning och möjlighet till fler användningsområden som exempelvis toalettspol-

vatten. Dels en delström med gråvatten som renas genom, och bevattnar, så kallade gröna väggar med växtlighet. Gröna väggar ger många fördelar både ur hälso- och miljösynpunkt i urbana bostadsområden. Exponeringen av de gröna väggarna bidrar dessutom till en del av marknadsföringen av Louddens bostadsområde.

## Bilaga 7

### Studier om självförsörjande näringsfabrik i stadsdel Loudden, Norra Djurgårdsstaden

#### Kan näringsfabriken vara självförsörjande med avseende på energi och värme?

Elektricitet och värme skulle kunna genereras från den metangas som produceras från rötning av svartvatten, matavfall och gråvattenslam i Näringsfabriken. Värme kan också återvinnas från gråvattnet via värmeväxling. Uppskattningen för hur mycket elektricitet och värme som skulle kunna genereras i Näringsfabriken har uppskattats för tre scenarier av produktion av elektricitet och värme: (a) Låg produktion, (b) Medelproduktion och (c) Hög produktion (se beskrivning nedan). Scenarierna undersöktes först baserat enbart på behovet av elektricitet och värme för svartvattenlinjen. (intern SVOA-rapport 2022)

I a) "Låg produktion- scenariot" är utgångspunkten:

- En låg verkningsgrad för produktion av elektricitet (0,3) och värme (0,4).
- Produktionen av metangas är endast 60 % av den teoretiskt möjliga produktionen på grund av förluster (vid rötning av svartvatten och matavfall i en AnMBR) och uppgår till 136 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d.
- Produktionen av metangas är lika stor för ett vakuumbaserat insamlings-system som för ett snålspolande alternativ.
- Värmeväxlingen från gråvatten är låg (20 % av den praktiska potentialen): ca 3 945 kWh/d.

För scenario (a) skulle behovet av elektricitet kunna tillgodoses för både processalternativ A och B (oavsett insamlingssystem) och ca 200 kWh/d skulle kunna produceras i överskott. För ett snålspolande system skulle minst 10 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 2 % för processalternativ B. För ett vakuumbaserat insamlingssystem skulle ca 45 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 2 % för processalternativ B.

Tabell 5-22. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett snålspolande insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Snålspolande system		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	542	12 274	-11 732
	Elektricitet	406	150,4	255,6
Processalternativ B	Värme	542	21 200	-20 658
	Elektricitet	406	184,5	221,5

Tabell 5-23. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett vakuumbaserat insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Vakuumsystem		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	542	2 989	-2447
	Elektricitet	406	89,6	316,4
Processalternativ B	Värme	542	4 980	-4 438
	Elektricitet	406	43,1	362,9

I (b) "Medelproduktionsscenario" är utgångspunkten:

- Ett medelvärde för produktion av elektricitet (0,36) och värme (0,45)
- Produktionen av metangas motsvarar den vid Bromma reningsverk, 177 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d, (vid rötning av vanligt avloppsslam i en konventionell röt-kammare).
- Antaget att metangasproduktionen är lika stor för ett småspolande som ett vakuumbaserat insamlingssystem.

För en medelproduktion av metangas skulle behovet av elektricitet kunna tillgodoses för både processalternativ A och B (oavsett insamlingssystem) och ca 500 kWh/d skulle kunna produceras i överskott. För ett småspolande system skulle minst 15 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 3 % för processalternativ B. För ett vakuumbaserat insamlingssystem skulle ca 66 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 15 % för processalternativ B. Se vidare Tabell 5-24 och Tabell 5-27.

Tabell 5-24. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett småspolande insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Småspolande system		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	796	12 274	-11 487
	Elektricitet	637	150,4	486,6
Processalternativ B	Värme	796	21 200	-20 404
	Elektricitet	637	184,5	452,5

Tabell 5-25. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett vakuumbaserat insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Vakuumsystem		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	796	2 989	-2 193
	Elektricitet	637	89,6	547,4
Processalternativ B	Värme	796	4 980	-4 184
	Elektricitet	637	43,1	593,9

I c) hög scenariot är utgångspunkten:

- en hög verkningsgrad för produktion av elektricitet (0,42) och värme (0,5)
- Produktionen av metangas motsvarar den vid Recolab vid rötning av svartvatten och matavfall (i en UASB), vilket var 207 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d.
- Antaget att metangasproduktionen är lika stor för ett snålspolande insamlingssystem som ett vakuumbaserat alternativ.

För en hög produktion av metangas skulle behovet av elektricitet kunna tillgodoses för både processalternativ A och B (oavsett insamlingssystem) och ca 700 kWh/d skulle kunna produceras i överskott. För ett snålspolande system skulle ca 20 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 4 % för processalternativ B. För ett vakuumbaserat insamlingssystem skulle ca 85 % av värmebehovet kunna tillgodoses för processalternativ A och ca 20 % för processalternativ B. Se vidare Tabell 5-26 och Tabell 5-27.

Tabell 5-26. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett snålspolande insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Snålspolande system		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	1 031	12 274	-11 243
	Elektricitet	866	150,4	715,6
Processalternativ B	Värme	1 031	21 200	-20 169
	Elektricitet	866	184,5	681,5

Tabell 5-27. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett vakuumbaserat insamlingssystem) med producerad mängd.

[kWh/d]		Snålspolande system		
		Producerad	Behov	Överskott
Processalternativ A	Värme	1 031	2 989	-1 958
	Elektricitet	866	89,6	776,4
Processalternativ B	Värme	1 031	4 980	-3 949
	Elektricitet	866	43,1	822,9

**Självförsörjningsgrad vid maximal biogasproduktion (rötning av svartvatten, matavfall och gråvattenslam) samt värmeväxling av gråvatten**

Om även rötning av gråvattenslammet skulle ingå, skulle biogasproduktionen kunna uppgå till 270 Nm<sup>3</sup>/d för 9 000 anslutna personer. Den praktiska potentialen av utvinning av värme från gråvatten via värmeväxling kan uppgå till ca 800 kWh/person och år eller 19 726 kWh/d för 9 000 anslutna personer. Notera att den praktiska potentialen är ett maximalt värde som t.ex. kräver en värmepump. Det kan jämföras med om passiva vertikala värmeväxlare används (som i fastigheter) då endast ca 20 – 25 % kan plockas ut vilket är ca 160 – 200 kWh/person och år eller 3 945 – 4 931 kWh/d för 9 000 anslutna personer.

I det här scenariot är utgångspunkten:

- En metangasproduktion som motsvarar den vid Recolab på 270 Nm<sup>3</sup>/d.
- Ett delscenario med låg utvinningsgrad av värme på motsvarande 3 945 – 4 931 kWh/d samt en låg verkningsgrad för elektricitet (0,3) och värme (0,4).
- Ett delscenario med hög utvinningsgrad av värme från gråvattnet motsvarande 19 726 kWh/d samt en hög verkningsgrad för elektricitet (0,42) och värme (0,5).
- Antag att lika mycket biogas kan produceras för ett snålspolande system som för ett vakuumsystem.

Behovet av elektricitet för processalternativ A och B går att tillgodose oavsett val av insamlingssystem (och oavsett om verkningsgraden är låg eller hög) och ett överskott på ca 700 – 1 000 kWh/d kan produceras. För ett snålspolande insamlingssystem kan värmebehovet för processalternativ A tillgodoses till mellan 100 – 400 % (med låg verkningsgrad och låg värmeväxling respektive hög verkningsgrad och hög värmeväxling). För processalternativ B kan värmebehovet tillgodoses upp till mellan 23 – 99 %. För ett vakuumbaserat insamlingssystem kan värmebehovet för processalternativ A tillgodoses upp till mellan 400 – 1 700 % och för processalternativ B upp till mellan 100 – 400 %. Se vidare Tabell 5-28 och Tabell 5-29.

Tabell 5-28. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett snålspolande insamlingsystem) med producerad mängd.

[kWh/d]			Snålspolande system		
			Produce- rad	Behov	Överskott
Processal- ternativ A	Värme	Låg	5 021	12 274	-7 253
		Hög	21 071	12 274	8 797
	Elektricitet	Låg	807	150,4	656,6
		Hög	1 130	150,4	979,6
Processal- ternativ B	Värme	Låg	5 021	21 200	-16 179
		Hög	21 071	21 200	-129
	Elektricitet	Låg	807	184,5	622,5
		Hög	1 130	184,5	945,5

Tabell 5-29. Jämförelse av behovet av elektricitet och värme för två processalternativ A och B för svartvattenlinjen (i kombination med ett vakuumbaserat insamlingsystem) med producerad mängd.

[kWh/d]			Vakuumsystem		
			Produce- rad	Behov	Överskott
Processal- ternativ A	Värme	Låg	5 021	2 898	2 123
		Hög	21 071	2 898	18 173
	Elektricitet	Låg	807	89,6	717,4
		Hög	1 130	89,6	1 040,4
Processal- ternativ B	Värme	Låg	5 021	4 980	41
		Hög	21 071	4 980	16 091
	Elektricitet	Låg	807	43,1	763,9
		Hög	1 130	43,1	1 086,9

### Effekt av antal anslutna till Självförsörjande näringsfabrik

Energi i form av elektricitet och värme skulle kunna genereras från den metangas som produceras från rötning av svartvatten, matavfall och ev. även gråvattenslam i Näringsfabriken. Värme kan också återvinnas från gråvattnet via värmewäxling. För att undersöka huruvida en framtida resursåtervinningsanläggning eller näringsfabrik skulle kunna vara självförsörjande eller inte (med avseende på elektricitet och värme) har det uppskattade behovet för behandlingen av respektive avloppsfraktion (svartvatten, gråvatten, matavfall och urin) uppskattats i en intern studie genomförd på SVOA. Det uppskattade behovet har därefter jämförts med den uppskattade möjliga produktionen av elektricitet och värme för att undersöka till vilken grad Näringsfabriken skulle kunna vara självförsörjande. Jämförelsen av behov och produktion har gjorts för två olika huvudscenarion:

1. Att de boende i Loudden enbart är anslutna till ett källsorterande avloppssystem vilket innebär att behovet och möjlig produktion av elektricitet och



värme enbart utgörs av behovet för och produktionen från resursåtervinningsanläggningen eller Näringsfabriken (för 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 och 10 000 anslutna personer).

- Att del av de boende i Loudden är anslutna till ett källsorterande avloppssystem (1 000, 2 000, 3 000, 5 000 och 10 000 personer) och att resterande är anslutna till det konventionella avloppssystemet (9 000, 8 000, 7 000, 5 000 och 0 personer) vilket innebär att behovet och möjlig produktion av elektricitet och värme utgörs av behov och produktion av elektricitet och värme för och från resursåtervinningsanläggningen eller Näringsfabriken och även ifrån konventionell avloppsrening.

Behovet av elektricitet och värme för Näringsfabriken har uppskattats för antagna inkommande volymer och några möjliga processalternativ för behandling av respektive fraktion. Då något slutgiltigt processval för en framtida Näringsfabrik inte har gjorts kan dessa uppskattningar endast ses som ett exempel och är en grov uppskattning för hur behovet skulle kunna se ut.

Uppskattningen av hur mycket elektricitet och värme som skulle kunna genereras i Näringsfabriken (och från konventionell avloppsrening) har gjorts för tre olika scenarier: (a) Låg produktion, (b) Medelproduktion och (c) Hög produktion. Det uppskattade behovet och möjlig produktion av värme respektive elektricitet presenteras i Tabell 5-30 och Tabell 5-31 respektive Tabell 5-32 och Tabell 5-33 då enbart källsorterande avloppssystem tillämpas.

Tabell 5-30. Uppskattat behov av värme för respektive fraktion. Värden inom parentes motsvarar behovet för anaerob behandling av gråvattenslam.

Antal anslutna personer	1 000	2 000	3 000	5 000	10 000
Svartvatten [kWh/d]	228–2 365	455–4 729	682–7 093	1 136–11 822	2 271–23 643
Matafall [kWh/d]	331 - 618	661 – 1 236	991 – 1 853	1 651–3 089	3 301 – 6 177
Gråvatten [kWh/d]	0 (22)	0 (44)	0 (66)	0 (110)	0 (220)
Urin [kWh/d]	0	0	0	0	0

Tabell 5-31. Uppskattad möjlig produktion av värme för de tre olika scenarierna: låg produktion, medelproduktion och hög produktion. Värden inom parentes motsvarar produktionen av värme enbart från förbränning av bio- och metangas.

Antal anslutna personer	1 000	2 000	3 000	5 000	10 000
Låg produktion	483 (45)	967 (90)	1 450 (135)	2 417 (226)	4 835 (452)

Medelproduktion	1 187 (91)	2 375 (183)	3 562 (275)	5 938 (458)	11 876 (917)
Hög produktion	2 341 (149)	4 682 (299)	7 023 (448)	11 706 (747)	23 413 (1 495)

Enligt det uppskattade behovet och produktionen av värme skulle ett lågt värmebehov för samtliga fraktioner kunna tillgodoses av en medel till hög värmeproduktion oavsett hur många personer som är anslutna till ett källsorterande avloppssystem.

Tabell 5-32. Uppskattat behov av elektricitet för respektive fraktion för ett källsorterande avloppssystem. Värdet i parentes motsvarar behovet för anaerob behandling av producerat gråvattenslam.

Antal anslutna personer	1 000	2 000	3 000	5 000	10 000
Svartvatten [kWh/d]	3–530	5–1 059	7–1 588	12–2 646	23–5 291
Matavfall [kWh/d]	14 - 121	27 - 242	40–362	66–603	132 – 1 206
Gråvatten [kWh/d]	48–307 (0,14–0,35)	96–615 (0,27–0,69)	144–923 (0,40–1,03)	240–1 539 (0,665–1,72)	480–3 078 (1,33–3,43)
Urin [kWh/d]	130–260	260–520	390–780	650–1 300	1 300–2 600

Tabell 5-33. Uppskattad möjlig produktion av elektricitet för de tre scenarierna: låg produktion, medelproduktion och hög produktion för ett källsorterande avloppssystem.

Antal anslutna personer	1 000	2 000	3 000	5 000	10 000
Låg produktion [kWh/d]	45	90	135	226	452
Medelproduktion [kWh/d]	82	165	247	412	825
Hög produktion [kWh/d]	125	251	376	628	1 256

Vid jämförelse av Tabell 5-32 och Tabell 5-33 går det att konstatera att det lägre uppskattade behovet för samtliga fraktioner inte går att tillgodose med en hög produktion av elektricitet. Om urinfractionen t.ex. exkluderas skulle ett lågt behov kunna tillgodoses både för en medelhög och hög produktion av elektricitet oavsett hur många personer som är anslutna till det källsorterande avloppssystemet

Sammanfattningsvis går det att konstatera att då enbart källsorterande avloppssystem tillämpas kan det uppskattade behovet av värme tillgodoses med den uppskattade produktionen oavsett hur många som är anslutna till det källsorterande

avloppssystemet förutsatt att behovet är lågt och att produktionen är medel till hög med de teknikval och volymer som undersöks här.

Med en kombination av källsorterande och konventionellt avloppssystem går behovet av värme att tillgodose även för en låg produktion. Det uppskattade behovet av elektricitet kan inte tillgodoses då enbart källsorterande avloppssystem tillämpas och alla fraktioner inkluderas för de uppskattningar som gjorts och med de teknikval och volymer som undersöks här.

Då resultatet från studien ska tolkas är det viktigt att ha i åtanke att det beräknade behovet av elektricitet och värme är uppskattade värden som är baserade på antaganden och värden hämtade från tidigare studier (varav en del värden kan vara ganska grova uppskattningar och där specifika förutsättningar kan råda för olika studier). Studien bör därför ses som en första undersökning och indikation på hur stort energibehovet respektive en möjlig produktion av elektricitet och värme skulle kunna vara och huruvida Näringsfabriken skulle kunna ha potential att vara självförsörjande. Studien kan också användas som underlag för att identifiera intressanta områden och frågeställningar som bör undersökas vidare. Slutligen kan den också bidra till att identifiera faktorer som påverkar självförsörjandegraden och som kan vara bra att ta hänsyn till vid t.ex. val av insamlingssystem och tekniker för behandlingen av respektive avloppsfraktion.

#### **Faktorer som påverkar behovet av värme och elektricitet**

Det uppskattade behovet av elektricitet och värme för respektive fraktion påverkas framför allt av hur många personer som är anslutna till det källsorterande avloppssystemet, hur stora volymer av respektive fraktion som behöver behandlas och vilka behandlingstekniker som väljs. Genom att välja behandlingstekniker för respektive fraktion med ett lågt energibehov och genom att försöka minska inkommande volym som behöver behandlas (där så är möjligt) ges förutsättningar för ett så lågt energibehov och en så hög självförsörjningsgrad hos Näringsfabriken som möjligt.

För svartvattenfraktionen påverkas inkommande volym av vilket insamlingssystem som används. Det vill säga, om ett vakuumbaserat insamlingssystem används som ger en mindre inkommande svartvattenvolym jämfört med t.ex. ett snålspolande insamlingssystem. Ett mer koncentrerat svartvattenflöde ger förutsättningar för ett lägre energibehov som nämnts i avsnitt 4.5.4 och att det eventuellt även kan bidra till en högre bio- och metangasproduktion för svartvattenfraktionen. Detta är dock förutsatt att inte begränsande faktorer träder in då svartvattnet blir mer koncentrerat. Begränsande faktorer kan vara förhöjda koncentrationer av t.ex. fri ammoniak och svavel, förhöjt pH eller att effektiviteten i hydrolysteget blir begränsande. Dessa faktorer kan minska bio- och metangasproduktionen. Lösningar kan dock finnas som t.ex. att slamuppehållstiden kan förlängas eller genom att matavfall samrötas tillsammans med svartvattnet då det har visat sig ha en positiv effekt på alla ovan nämnda faktorer eller alternativt att inte koncentrera svartvattnet för mycket.

Det finns därför troligtvis en balansgång mellan att varken ha ett alltför koncentrerat eller utspätt svartvatten. En tumregel skulle kunna vara att ju mer koncentrerat svartvattnet är, desto bättre, så länge inte begränsande faktorer träder in som påverkar bio- och metangasproduktionen negativt. Hur metangasproduktionen faktiskt påverkas av olika koncentrerat svartvatten och vilka begränsande faktorer som kan finnas och träda in vid olika koncentrationsgrad av svartvattnet behöver undersökas vidare genom förslagsvis pilotförsök i fortsatt arbete.

För behandlingen av svartvattenfraktionen har de processalternativ som har undersökts överlag innehållit ganska energiintensiva tekniker. Det gäller framför allt membrandestillering, ammoniakstrippning och anaerob MBR. *Andra behandlingstekniker med ett lägre energibehov kan ev. finnas och kan behöva undersökas vidare i det fortsatta arbetet.* Det kan t.ex. vara framvänd osmos för koncentrerat av näringsämnen eller UASB för anaerob behandling av svartvatten och matavfall. Se vidare Bilaga 2 och Bilaga 5 för sammanställningar av de näringsåtervinnings-tekniker som finns idag och en jämförelse av bl.a. AnMBR och UASB där för- och nackdelar med respektive teknik presenteras. Det kan troligtvis bli en avvägning mellan resursbehovet som tekniken kräver och vilket behandlingsresultat som önskas. Det kan också vara bra att vara öppen för utvecklingen av mer energisnåla tekniker som kan komma att utvecklas framöver. Avseende teknikval har samma tekniker som för behandlingen av svartvattenfraktionen antagits för matavfallsfraktionen förutom att förbehandling och pastörisering (och ev. biogasuppträdning) som även tillkommer för behandlingen av matavfallsfraktionen.

#### **Faktorer som påverkar produktionen av värme och elektricitet**

Flera faktorer kan ha påverkan på hur stor den faktiska produktionen av elektricitet och värme kan komma att bli. Produktionen kan bl.a. komma att bero på hur mycket värme som kan återvinnas från värmeväxlingen av gråvattnet och det konventionella avloppsvattnet samt hur hög verkningsgraden för att producera elektricitet och värme via förbränning av biogasen faktiskt blir i praktiken.

Som nämndes tidigare utgör tillskottet av värme från värmeväxlingen av gråvattnet och det konventionella avloppsvattnet en stor del av den värme som kan produceras.

I dagsläget kan ca 3,32 kWh värme/person och dag återvinnas från konventionellt avloppsvatten. Det är mer värme jämfört med den praktiska potentialen som uppskattats för gråvatten av Kärrman et al. (2017) som uppgick till 2,19 kWh/person och dag. Teoretiskt sett bör potential för en högre värmeåtervinning finnas från gråvattnet jämfört med konventionellt avloppsvatten. Dels på grund av att gråvattnet planeras att värmesväxlas närmare källan (i fastighet eller på områdesnivå) och dels på grund av att mindre kallvatten blandas in i form av smält- och regnvatten. Baserat på Hallbäck (2022), Kärrman et al. (2017) och Dalgren (2022) bör det vara möjligt att återvinna mellan 1 – 3,32 kWh värme/person och dag från gråvattnet eller mer då gråvattnet värmesväxlas vid en högre temperatur (närmare källan och utan tillskottsvatten). *Frågan är därmed hur mycket värme som kan återvinnas i praktiken och huruvida den återvunna värmen kan behöva uppträdas till en*

*högre temperatur via en värmepump och hur mycket elektricitet som kan behöva tillföras för att i så fall göra det.*

Produktionen av elektricitet och värme kommer även att påverkas av hur många personer som är anslutna till Näringsfabriken och det konventionella avloppssystemet. Det beror på att färre anslutna personer ger ett lägre gasflöde. Olika typer av utrustning, ex. mikroturbin, gasturbin eller biogasmotorer kan vara anpassade för olika stora gasflöden. T.ex. kan mikroturbiner som är anpassade för ett lägre gasflöde ha en lägre verkningsgrad än gasturbiner som är anpassade för högre gasflöden och större skala (Kaparaju et al., 2014). Turbiner kan också ge en lägre verkningsgrad då de inte körs vid full belastning (Ebrahimi et al., 2015). *Vilken typ av utrustning att använda för att generera elektricitet och värme kan därför behöva undersökas i mer detalj.*

Det går dock att konstatera att det verkar finnas mikroturbiner på marknaden som kräver ett lägre flöde av naturgas (13,7 Nm<sup>3</sup>/dag) än den lägsta produktionen av ren metangas som har uppskattats här (do Nascimento et al., 2014). Det innebär att även vid en låg produktion av bio- och metangas och endast 1 000 anslutna personer till ett källsorterande avloppssystem bör lämplig utrustning finnas tillgänglig.

Sammanfattningsvis kommer graden av självförsörjande hos Näringsfabriken framför allt att bero på teknikvalet för behandlingen av respektive avloppsfraktion (och hur processen utformas, t.ex. med avseende på värmeåtervinning i form av värmewäxling mellan olika processteg) samt hur stora volymer som behöver behandlas.

Graden av självförsörjande kommer också att bero på hur mycket elektricitet och värme som kan produceras i praktiken med hänsyn till hur mycket bio- och metangas som kan utvinnas och vilken verkningsgrad som kan erhållas då bio- och metangasen används för att producera elektricitet och värme. Den kommer även att bero på hur mycket värme som kan återvinnas från gråvattnet i praktiken och huruvida temperaturen hos den värme som återvinns från gråvattnet ger någon begränsning i vad den kan användas till.

Att välja energisnåla tekniker, att minimera inkommande volymer som behöver behandlas (utan att bio- och metangasproduktionen påverkas negativt på grund hämmande faktorer) och att maximera produktionen av bio- och metangas samt den värme som kan återvinnas från gråvattnet ger så goda förutsättningar som möjligt för en självförsörjande Näringsfabrik och kan ev. även ge ett överskott. Baserat på det uppskattade behovet och möjlig produktion av elektricitet och värme går det att dra slutsatsen att Näringsfabriken kan ha potential att vara självförsörjande.

Det är svårt att dra någon klar slutsats kring huruvida värme bör återvinnas på fastighets- eller Näringsfabriksnivå. Klara fördelar med värmeåtervinning på fastighetsnivå är att mindre värme förloras via ledningsnätet och att den återvunna

värmen tillfaller fastighetsägarna. Några fördelar med värmeåtervinning nedströms Näringsfabriken skulle kunna vara att gråvattnet troligtvis kan värmeväxlas till en lägre temperatur (t.ex. 0 °C som idag) och att Näringsfabriken ges större möjligheter till självförsörjning.

### Småskalig biogasproduktion- Studentprojekt utfört av KTH-studenter

KTH studenter fick i uppgift är att undersöka hur biogasproduktion kan ske och användas i näringsfabriken i stadsdelen Loudden i Norra Djurgårdsstaden. Projektuppgiften bestod i att föreslå en teknisk lösning för tre scenarier, med olika antal anslutna till näringsfabriken. Scenarierna innebär 1000, 5000 och 10 000 personer. Svartvattnet och matavfallet ska ej blandas utan behandlas separat. Projektuppgiften är publicerad i Ahlström m. fl., 2022.

Resultatet visade att en självförsörjande näringsfabrik är möjlig enbart vid högsta antal anslutna-scenariot, dvs en anslutning av 10 000 personer och om värmeåtervinning via gråvattnet tillvaratas. Producerade biogasen föreslogs att användas i en kombinerad värme och kraftmotor för energi till näringsfabriken. Överskott av biogas föreslogs till fordonbränsle eller konvertering till elenergi. Uppgraderad biogas till fordonsgas visades sig i studien vara mera ekonomisk gynnsam än att sälja energin som el. Självförsörjningsgraden i näringsfabriken ökar vid större mängd anslutna, vilket även visades i investeringskostnaden per person som minskar vid med ökat antal anslutna. Anaerobiska membranreaktorn står för 74–95% av totala kostnaden i framtaget förslag.

I Figur 5-5 visas att en självförsörjande näringsfabrik kan erhållas under hela året i scenariot med 10 000 anslutna och med utnyttjande av värme från gråvattnet. Det gäller för både konventionella och vakuumtoaletter. När en 100% självförsörjande grad inte kan uppnås behöver extern energi köpas in till näringsfabriken. Mängden av extern energi som behövs presenteras i Tabell 5-34.

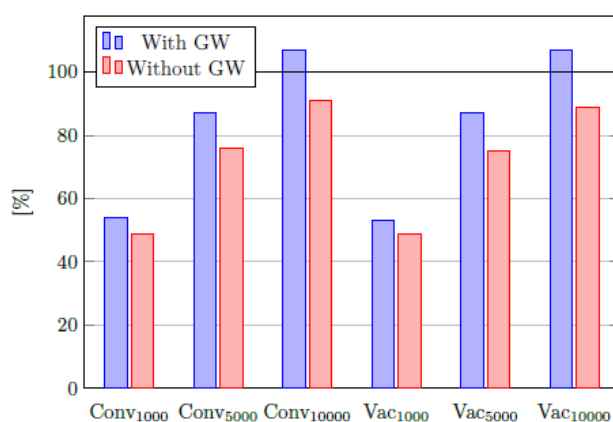


Figure 17: Self-sufficiency on a yearly basis for the different process alternatives. The cases that are self-sufficient reach above the black line at 100%.

Figur 5-5. Graden av självförsörjande för de olika studerade scenarion med olika antal anslutna och med självfall eller vakuumledningar (Ahlström m.fl., 2022).

Tabell 5-34. Total extern energi som behövs dagligen för respektive system. Energi inkluderar både matavfall och svartvatten (Ahlström m. fl., 2022)

Population scenario	GW [MJ/d]	Without GW [MJ/d]
1000 <sub>conv</sub>	11 717	14 011
5000 <sub>conv</sub>	10 158	21 628
10000 <sub>conv</sub>	0*	13 969
1000 <sub>vac</sub>	11 885	14 403
5000 <sub>vac</sub>	10 327	22 919
10000 <sub>vac</sub>	0*	16 312

\*Self-sufficient

Den föreslagna lösningen för biogasproduktion i Loudden består av flera moduler. Svartvatten och matavfallsströmmarna kommer att behandlas separat då de har olika regelverk att ta hänsyn till, ex måste matavfallet hettas upp innan rötning. Den producerade biogasen kommer att ledas till en och samma CHP motor (Combined Heat and Power) för att producera värme och elenergi. Förslagen process visas i Figur 5-6 nedan.

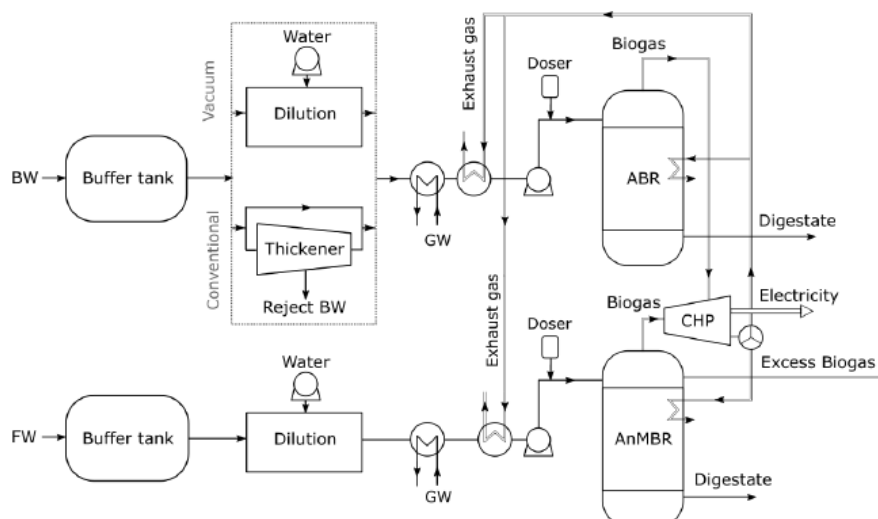


Figure 9: Flowsheet overview of the proposed process.

Figur 5-6. Översikt av föreslagen process (hämtad ur Ahlström m.fl., 2022).

Slutsatser från projektuppgiften:

- Den mest lämpligaste bioreakton för att producera biogas vid Loudden är ABR (Anaerobic Baffled Reactor) för svartvatten och AnMBR (Anaerobic membrane bioreactor) för matavfall.
- Självsjälvförsörjande näringsfabrik kunde endast uppnås i scenariot med 10 000 anslutna och när gråvatten användes som värmekälla. I det scenariot blev det även ett överskott av biogas på 170m<sup>3</sup>/d. En självförsörjande näringsfabrik beror inte på valet mellan konventionella och vakuumtoaletter utan har en betydande beroende av säsong i stället. Energi måste kunna bli lagrat under sommar, vår och höst för att kunna användas under vintern, för att nå ett självförsörjande över hela året. För att minska det totala energibehovet och öka möjligheten för självförsörjande är isolering och val av t.ex. reaktormaterial av betydande, t.ex. betong är mer användbart än rostfritt stål.
- Vacuum toaletter anses som bästa alternativet för Loudden, vilket i denna studie ger högre metanproduktion, mindre ytbehov och bättre utnyttjande av COD.
- Ekonomiska beräkningarna visar att total investeringen minskar med ökat antal anslutna. Scenariona med 1000, 5000 anslutna är inte ekonomiskt gynnsamma.
- Den maximala metanproduktionen erhöles med vakuumtoaletter vilket blev 5250 m<sup>3</sup>/d för en scenariot med 10 000 anslutna med både svartvatten och matavfall. Svartvatten var 150 m<sup>3</sup>/d av totala produktionen, vilket motsvarar halva produktionen hos dagens Henriksdal.

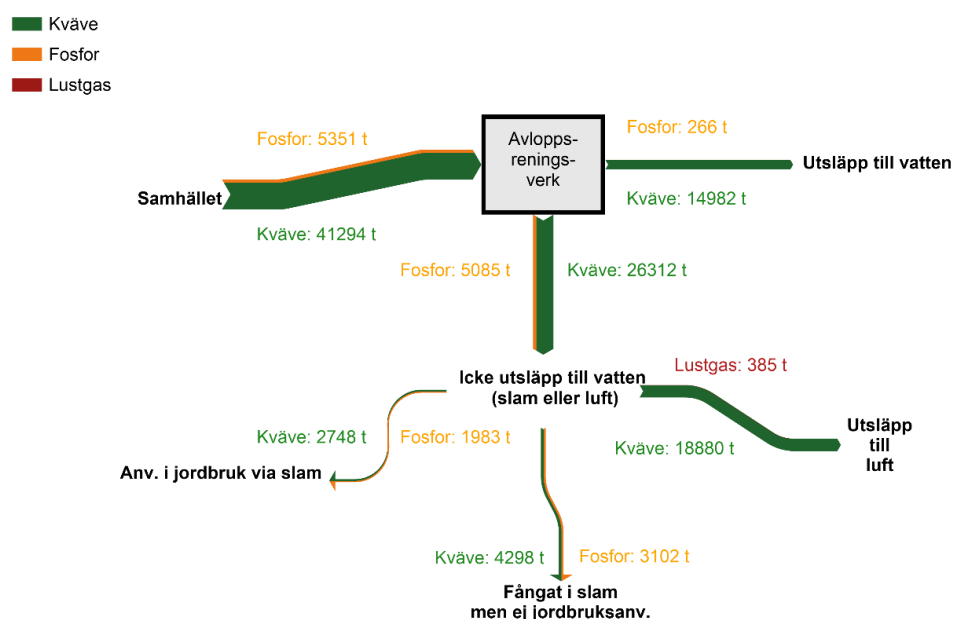


## Bilaga 8

### Försök med membrandestillering för uppkoncentrering av klosettatten på Luleå Tekniska Högskola

Vårt avloppsvatten innehåller den växtnäring som vi får i oss via maten. Växtnäringsåterföringen från våra avloppssystem tillbaka till jordbruket är begränsad till fosfor. Figur 5-7 visar att kväve, det växtnäringsämne som jordbruket använder mest av, inte recirkuleras i någon större utsträckning från dagens avloppssystem. I en cirkulär växtnäringsekonomi måste även kväve, och annan växtnäring i avloppet, cirkuleras. Vad gäller kväve och fosfor måste vi hålla oss inom de planetära gränserna för kväve- och fosforcyklerna<sup>4</sup>, där växtnäringscirkulation är en viktig pusselbit. Det har också blivit mer och mer viktigt, i och med erfarenheterna under covidpandemin och med kriget i Ukraina, att säkerställa tillgång till inhemskt producerad växtnäring för livsmedelsproduktion. Samtidigt är det viktigt att minska avloppsreningens miljö- och klimatpåverkan samtidigt som miljö kvalitetsmål såsom Giftfri miljö inte får äventyras.

### N- och P-flöden i Sverige



Figur 5-7. Kväve- och fosforflöden i Sverige, baserat på data från svenska reningsverk 2018.

Avloppsfraktionerna har olika innehåll av växtnäring. Källsorterande avloppssystem ger en möjlighet att samla in och behandla avloppsfraktioner av olika kvalitet

<sup>4</sup> Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.; Fetzer, I.; Bennett, E.; Biggs, R.; Carpenter, S.; de Vries, W.; de Wit, C.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.; Persson, L.; Ramanathan, V.; Reyers, B.; Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. Vol 347(6223), doi : 10.1126/science.125985

separat. Klosettvattnet innehåller den största delen av växtnäringen som finns i avloppsvattnet. För växtnäringsåterföring bör klosettvattnet samlas in med så liten utspädning som möjligt. I H+ i Helsingborg samlas klosettvattnet in via vakuumsystem i byggnad, och vidare med vakuumsystem i gata. Denna insamlingsmetod minimerar utspädningen av klosettvattnet och förenklar återvinningen av växtnäring.

Det finns olika sätt att återföra växtnäring från klosettvattnet efter hygienisering: (i) efter enbart hygienisering<sup>5</sup>, (ii) efter återvinning av separata näringsämnen, exempelvis struvit och ammoniumsulfat, från dekantatet efter biogasproduktion<sup>6</sup> (iii) efter uppkoncentrering av dekantatet efter biogasproduktionen. Det sistnämnda sättet är intressant då samtliga näringsämnen i dekantatet har potential att återföras via denna teknik. Indunstning som metod testades framgångsrikt på klosettvattnet från Nederländerna under projektet MACRO 2<sup>7</sup>. Membrandestillering är en intressant uppkoncentreringsteknik för detta ändamål, som ska kunna drivas på restvärme<sup>8</sup> och den har visat sig lovande för uppkoncentrering av växtnäring i effluent från rötning av matavfall<sup>9</sup>. Företaget Circular Water Technologies<sup>10</sup> har sådan membrandestilleringsteknik, framtagen för att producera ultrarent vatten. Inom Vinnova-projektet Kvalitetssäkrad Stadsgödsel (KVASt) startades ett samarbete med Circular Water Technologies.

## Syfte

Syftet med detta underprojekt till MACRO 3 var att:

1. Utvärdera flödet av klosettvattnedekantat genom membrandestilleringssystemet vid olika reaktortemperaturer och pH;
2. Karakterisera inflödet i processen, klosettvattnedekantat, med avseende på bland annat COD, BOD, flyktiga organiska ämnen (VFA), metaller och organiska föroreningar;
3. Utvärdera flödet genom membrandestilleringssystemet över tid, produktion av ultrarent vatten, karakteristik av den uppkoncentrerade fraktionen, med avseende på kväve, viskositet, indikatorbakterier, mikroföroreningar och metaller.

Förseningar i genomförandet på grund av problem med utrustningen har gjort att punkt 3 ovan har inte kunnat utföras fullständigt inom tidsramen för MACRO 3, se mer under Diskussion.

---

<sup>5</sup> Detta görs exempelvis från anläggningar i Hölö, Knivsta, Tranås och Haninge.

<sup>6</sup> Detta görs på RecoLab i Helsingborg.

<sup>7</sup> [https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2018/11/Systemstudie\\_indunstning-och-biokol.pdf](https://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2018/11/Systemstudie_indunstning-och-biokol.pdf)

**1.1 8 Woldemariam, D.; Kullab, A.; Fortkamp, U.; Magnier, J.; Royen, H.; Martin, A. 2016. Membrane distillation pilot plant trials with pharmaceutical residues and energy demand analysis. Chemical Engineering Journal, Volume 306, 15 December 2016, Pages 471-483**

Noor, I.; Martin, A., Dahl, O. 2021. District Heating Driven Membrane Distillation for Advanced Flue Gas Condensate Treatment in Combined Heat and Power Plants, J. Clean. Prod., Volume 292, 10 April 2021, 125979.

<sup>9</sup> Khan, E.; and Nordberg, Å. 2018. Membrane Distillation Process for Concentration of Nutrients and Water Recovery from Digestate Reject Water. Sep. Purif. Techn. 206.

<sup>10</sup> <https://circularwatertechnologies.com/sv/startsidea/>

### Försöksuppställning och metod

För att utvärdera punkt 1 under Syfte ovan gjordes ett antal försök med Circular Water Technologies' membrandestilleringsmodul (se Tabell 5-36) för att identifiera lämplig temperatur och pH för efterkommande försök.

Olika temperaturer och pH testades för uppkoncentrering av 10 L dekantat till 5 L, dvs med en uppkoncentreringsfaktor av ca 2. Försöken lades upp med full faktordesign med två faktorer (pH och temperatur) och med tre replikat av centerpunkterna för att kunna utvärdera variansen. För randomisering av utförandet av försöken användes Modde 13.

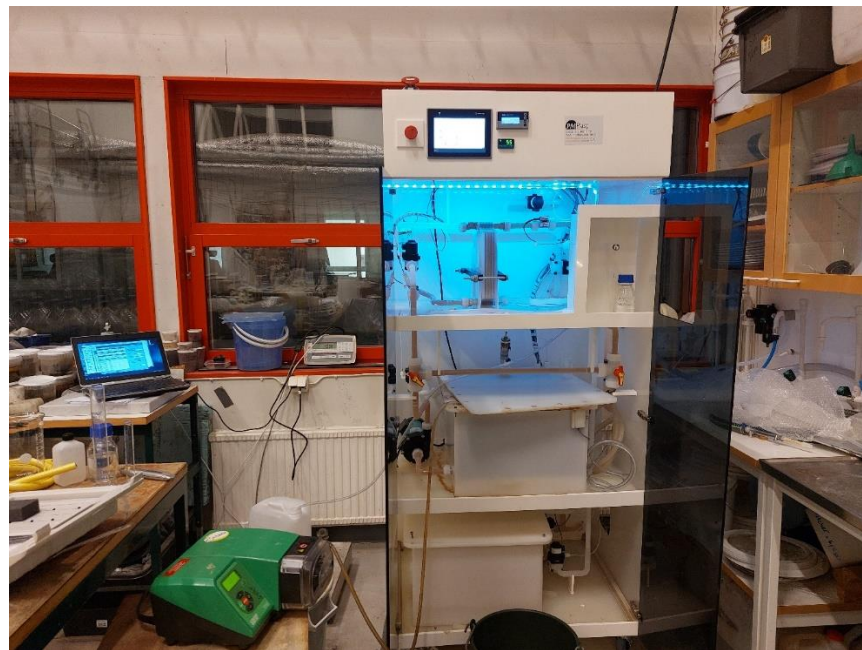
Försöksordning och när de faktordesignade försöken utfördes är sammanfattade i Tabell 5-35. I Tabell 5-36 sammanfattas analyserna gjorda under experimentet.

Tabell 5-35. Försöksnummer av det faktordesignade försöken samt analyser gjorda i varje försök.

	Försöks- nr	Temp. (°C)	pH	Datum för experiment (ordning inom parentes)
Faktor försök	1	40	6	2022-05-20 (4)
	2	70	6	2022-05-23 (5)
	3	40	2,5	2022-05-17 (1)
	4	70	2,5	2022-05-19 (3)
	5	55	2,8	2022-05-24 (6)
	6	55	2,8	2022-05-18 (2)
	7	55	2,8	2022-08-16 (7)
Extra försök	8	55	2,8	2022-12-05 (8)
	9	55	2,8	2022-12-05 (9)
	10	55	3,0	2022-12-06 (10)
	11	55	4	2022-12-07 (11)

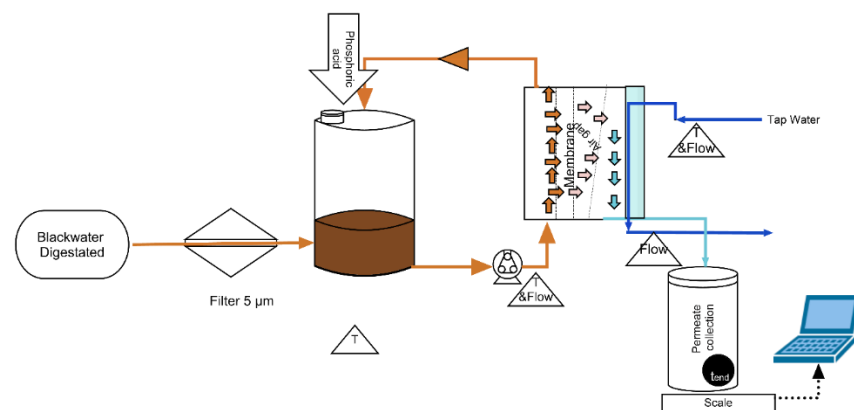
Tabell 5-36. Analyser utförda före, under och efter försöken.

Taking from	Parameter	Sampling at		
		T0	Tend	During experiment
Drain of the concentrate and collection tank (feed)	Temperature (factor 1)	Every Run	Every Run	Permanent control
	Flow	Every Run	Every Run	Permanent control
	N (NO <sub>3</sub> / NO <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> /N <sub>tot</sub> )	Every Run	Every Run	Not Planned
	PO <sub>4</sub> , P <sub>tot</sub>	Every Run	Every Run	Not Planned
	pH	Every Run(factor 2)		Not Planned
	Conductivity	Every Run	3	
	Temperature	Every Run	Every Run	Every Run
	Flow	Every Run	Every Run	Every Run
Cold side	Temperature	Every Run	Every Run	
	flow	Every Run	Every Run	
Permeate	Conductivity	Every Run	Every Run	
	Flux	Every Run	Every Run	
	pH	Every Run	Every Run	
	Ammonium	Every Run	Every Run	
Exhaust Gas	Not possible to analyze parameters due to set-up	-	-	



Figur 5-8. Foto av Circular Water Technologies membrandestilleringsmodul (foto: S. Fehrmann-Rusch).

En schematisk beskrivning av försöksupställningen visas i Figur 5-9.



Figur 5-9. Försöksupställning för koncentreringsförsöken (10 L).

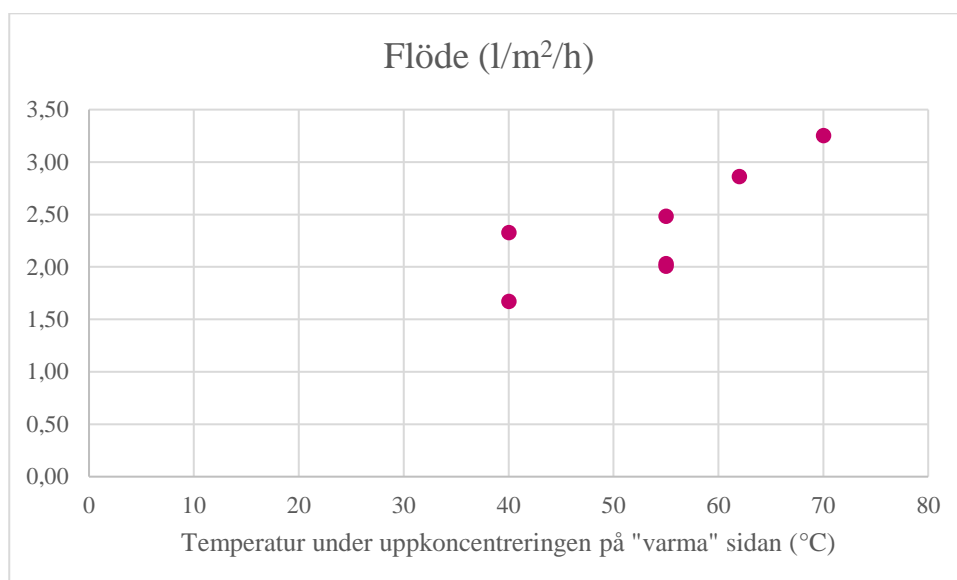
Utrustningen var en prototyp och inte riktigt optimalt konstruerad. Under drift var försöksupställningen uppållad i ena änden för att åstadkomma en lutning på 62-litersbehållaren så att uppkoncentrering skulle kunna ske ner till 5 L.

## Resultat

### Försöksserie med uppkoncentreringsfaktor ca 2 - Temperatur, pH och flöde

Målet var att hitta det högsta pH och lägsta temperatur för vilken uppkoncentreringsringen fungerade för att kunna driva experimentet med lägst resursåtgång.

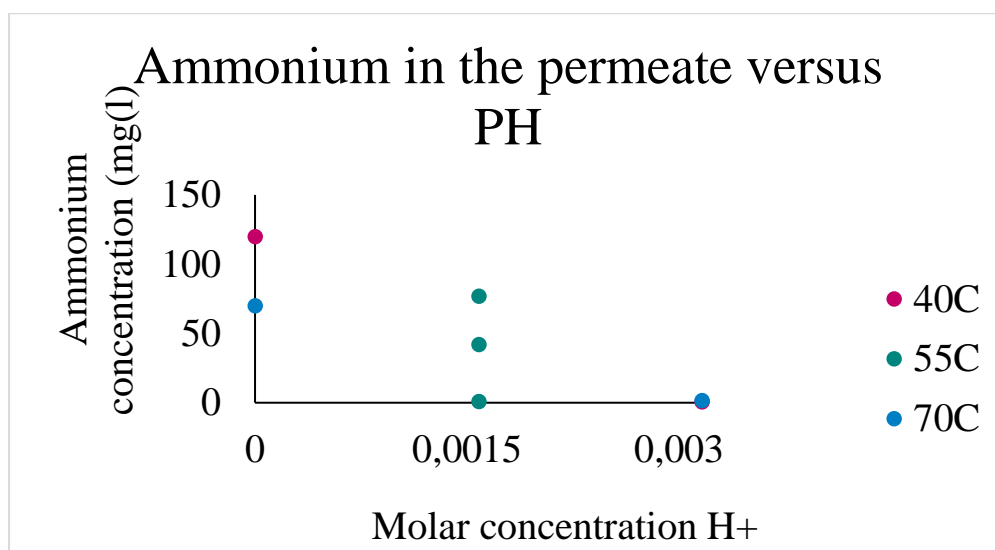
I Figur 5-10 har temperatur på varma sidan i processen och flödet ( $L/m^2/h$ ) plottats. Det är få punkter i figuren, men den tyder på ett samband mellan temperatur och flödes hastighet, dvs desto högre temperatur, desto snabbare går uppkoncentreringsprocessen. Detta var ett väntat resultat. Praktiskt fungerade dock inte processen så bra vid de högre temperaturerna: mycket vätska förångades. Dessutom är energikonsumtionen högre vid de högre temperaturerna.



Figur 5-10. Temperatur på "varma" sidan i membranet och dess påverkan på flödet genom utrustningen.

### pH

I Figur 5-11 visas  $NH_4-N$  i permeatet som en funktion av pH, fast visat i molarkoncentration av  $H^+$ -joner (1 M är detsamma som pH 0 och  $10^{-14}$  är detsamma som pH 14). I punkterna nedan är pH 6 längst till vänster, pH 2,8 i mitten och pH 2,5 längst till höger. Inte oväntat får vi en högre andel ammonium i permeatet vid högre pH. Dock åtgår mindre syra vid högre pH, så det är önskvärt ur den punkten att köra membrandestilleringen vid ett pH där man har tolerabla förluster av ammonium till permeatet.

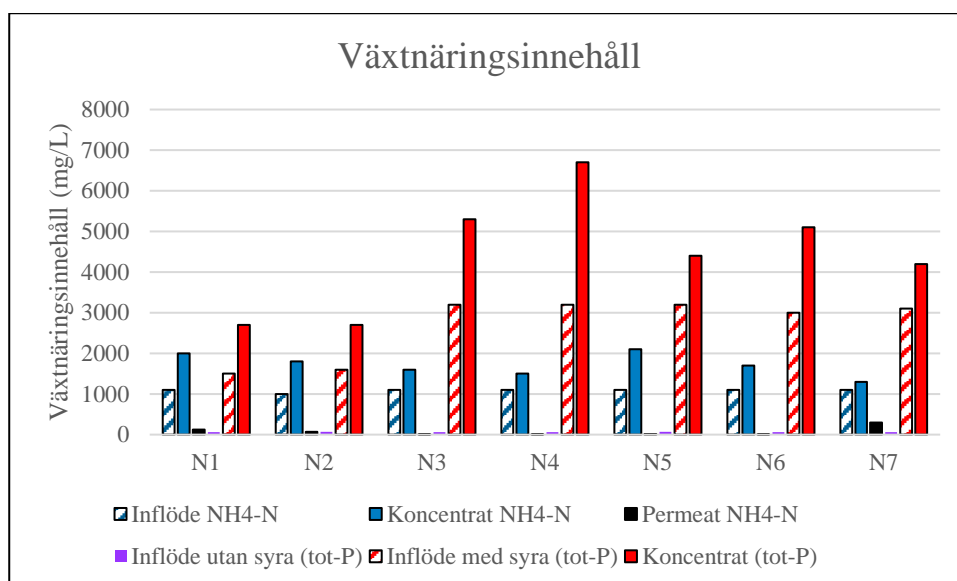


Figur 5-11.  $\text{NH}_4\text{-N}$  i permeatet som en funktion av molarkoncentrationen av  $\text{H}^+$ -joner (10-pH).

#### Växtnäringsinnehåll

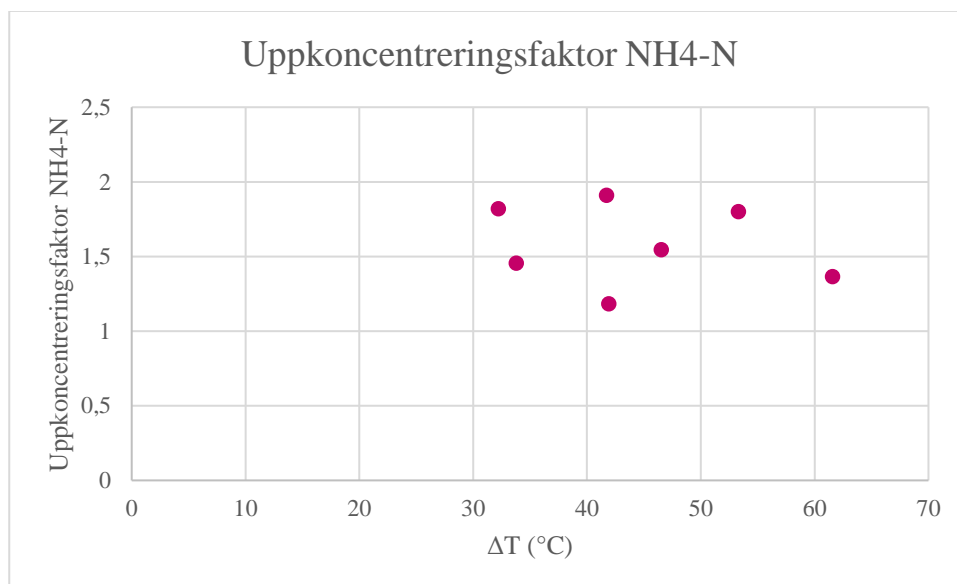
Figur 5-12 visar växtnäringsinnehållet i klosettattendekantatet i inflödet, i koncentratet och i permeatet. När ca halva volymen i dekantatet har avlägsnats i membrandestilleringen har halten ammoniumkväve ökat med 1,2 till 1,9 gånger. Total-fosforhalten har ökat med 1,4 till 1,9 gånger. Den sämsta uppkoncentreringen skedde i N7, då också en betydande del av ammoniumkvävet tappades till permeatet. Anledningen till den låga uppkoncentreringen då var att membranet inte fungerade som det skulle, förmodligen pga. att membranet var smutsigt och därmed tappat sin hydrofobicitet. En anledning till att uppkoncentreringen inte blivit exakt den dubbla även för de fungerande experimenten är att utrustningen inte tillät exakt flödeskontroll. Dessutom tappades en okänd volym vatten genom förångning vid de högre temperaturerna.

Vi drar dock slutsatsen av dessa sju försök att tekniken kan användas för att uppkoncentrera växtnäringen i klosettattendekantatet till en faktor 2. Vi konstaterar också att det, pga. klosett-vattendekantatets höga alkalinitet, åtgår så mycket syra att dekantatets ursprungliga innehåll av totalfosfor ökar 23 till 53 gånger.



Figur 5-12. Växtnäringsinnehåll i det uppkoncentrerade klosettavtandekantatet.

I Figur 5-13 visas  $\Delta T$  och uppkoncentreringsfaktorn för  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Det verkar inte som om storleken på  $\Delta T$  har någon direkt påverkan på uppkoncentreringsfaktorn, vilket är positivt ur ett energiperspektiv (möjligt att uppkoncentrera effektivt vid lägre temperaturer).



Figur 5-13. Uppkoncentreringsfaktorn för  $\text{NH}_4\text{-N}$  som en funktion av  $\Delta T$ .

### Karakterisering av klosettavtandekantatet

I Tabell 5-37 visas metallinnehållet av klosettavtandekantatet före och efter filtrering vid en provtagning den 3 november, 2023 samt 6 december 2023. Flera ämnen ligger under detektionsgränsen, exempelvis Cd, och Hg för båda datumen. Pb ligger nära detektionsgränsen för det ofiltrerade provet i november och under för det filtrerade medan decemberprovet har högre Pb-halter både filtrerat och



ofiltrerat. Endast för Co, Cu, Fe och Zn (+Pb för decemberprovet) är det en större skillnad mellan ofiltrerat och filtrerat prov, vilket indikerar att en del av dessa ämnen föreligger i partikulär form. Övriga metaller verkar vara i löst form.

Tabell 5-37. Metallinnehåll i klosettvtändekantatet före och efter filtrering.

Ämne	Enhet	Ofiltrerat	Filtrerat	Ofiltrerat	Filtrerat
Datum		2022-11-03	2022-11-03	2022-12-06	2022-12-06
Al, aluminium	µg/L	18,6	19,7	22,1	18,3
As, arsenik	µg/L	14	12,7	7,21	6,77
Ba, barium	µg/L	9,44	9,61	13,4	11,4
Ca, kalcium	mg/L	33,5	34,2	49,4	43
Cd, kadmium	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Co, kobolt	µg/L	0,32	0,156	0,339	0,0713
Cr, krom	µg/L	<0.5	<0.5	0,818	0,595
Cu, koppar	µg/L	47,7	11,4	358	18,4
Fe, järn	mg/L	0,0962	0,0374	0,142	0,0669
Hg, kvicksilver	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
K, kalium	mg/L	268	282	330	293
Mg, magnesium	mg/L	13,5	15	9,17	8,03
Mn, mangan	µg/L	9,41	7,04	15	7,26
Mo, molybden	µg/L	0,933	0,782	1,7	<0.5
Na, natrium	mg/L	329	350	380	331
Ni, nickel	µg/L	5	5,78	6,29	4,2
Pb, bly	µg/L	0,216	<0.2	0,684	0,254
V, vanadin	µg/L	0,186	0,211	0,166	0,24
Zn, zink	µg/L	23,3	8,36	85,4	16,1

I Tabell 5-38 visas det ofiltrerade klosettvtändekantatets innehåll av volatila organiska föreningar. Endast bensen, kloroform och vinylklorid har analyserats i en koncentration över detektionsgränsen i provet som togs den 3 november; i decemberprovet kunde ingen volatil organisk förening detekteras över detektionsgränsen. Halterna är låga även för de ämnen som gav utslag i novemberprovet. Som jämförelse har vi tittat på gränsvärden för dricksvatten<sup>11</sup> där det för bensen och vinylklorid anges att om halten överstiger 1 µg/L och 0.5 µg/L, respektive, hos användaren (eller förpackat) är det otjänligt som dricksvatten. Halterna av bensen och vinylklorid i det ofiltrerade klosettvtändekantatet i novemberprovet var 0.6 och 0.5 µg/L.

<sup>11</sup> <https://www.svenskvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagn-ing/dricksvattenforeskrifterna.pdf>

Tabell 5-38. Volatila organiska föreningar i det ofiltrerade klosettattendekantatet.

Ämne	Enhet	Ofiltrerat		Ämne	Enhet	Ofiltrerat	
		22-11-03	22-12-06			22-11-03	22-12-06
Bensen	µg/L	0,6	<0.20	vinylklorid	µg/L	0,5	<0.10
Toluen	µg/L	<0.20	<0.20	1,1-dikloreten	µg/L	<0.10	<0.10
etylbensen	µg/L	<0.10	<0.10	cis-1,2-dikloreten	µg/L	<0.10	<0.10
o-xylen	µg/L	<0.10	<0.10	trans-1,2-dikloreten	µg/L	<0.10	<0.10
m, p-xylen	µg/L	<0.20	<0.20	trikloreten	µg/L	<0.10	<0.10
summa xylener	µg/L	<0,150	<0,150	tetrakloreten	µg/L	<0.20	<0.20
metylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	1,2-diklorpropan	µg/L	<1.0	<1.0
Etylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	1,3-diklorpropan	µg/L	<1.0	<1.0
n-propylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	2,2-diklorpropan	µg/L	<1.0	<1.0
iso-propylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	1,2,3-triklorpropan	µg/L	<1.0	<1.0
n-butyl acetate	mg/L	<0,020	<0,050	1,2-dibrom-3-klorpropan	µg/L	<1.0	<1.0
isobutylacetate	mg/L	<0,020	<0,050	1,1-diklorpropen	µg/L	<1.0	<1.0
sek-butylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	cis-1,3-diklorpropen	µg/L	<1.0	<1.0
tert-butyl acetate	mg/L	<0,020	<0,050	trans-1,3-diklorpropen	µg/L	<1.0	<1.0
n-pentylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	hexaklorbutadien	µg/L	<1.0	<1.0
iso-pentylacetat	mg/L	<0,020	<0,050	2-Klortoluen	µg/L	<1.0	<1.0
MTBE (metyl-tert-butyleter)	µg/L	<0.20	<0.20	4-Klortoluen	µg/L	<1.0	<1.0
tert-butylalkohol	µg/L	<5.0	<5.0	monoklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
Klormetan	µg/L	<10	<10	brombensen	µg/L	<1.0	<1.0
brommetan	µg/L	<1.0	<1.0	1,2-diklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
diklormetan	µg/L	<2.0	<2.0	1,3-diklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
dibrommetan	µg/L	<1.0	<1.0	1,4-diklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
bromklormetan	µg/L	<2.0	<2.0	1,2,3-triklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
Kloroform	µg/L	0,15	<0.10	1,2,4-triklorbensen	µg/L	<0.10	<0.10
bromoform	µg/L	<0.20	<0.20	1,3,5-triklorbensen	µg/L	<0.20	<0.20

bromdiklormetan	µg/L	<0.10	<0.10	styren	µg/L	<0.20	<0.20
dibromklormetan	µg/L	<0.10	<0.10	iso-propylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
tetraklormetan	µg/L	<0.10	<0.10	n-propylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
triklorfluormetan	µg/L	<1.0	<1.0	1,2,4-trimetylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
diklordifluormetan	µg/L	<1.0	<1.0	1,3,5-trimetylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
Kloretan	µg/L	<1.0	<1.0	n-butylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
1,1-dikloretan	µg/L	<0.10	<0.10	sek-butylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
1,2-dikloretan	µg/L	<0.50	<0.50	tert-butylbensen	µg/L	<1.0	<1.0
1,2-dibrometan	µg/L	<1.0	<1.0	p-Isopropyltoluen	µg/L	<1.0	<1.0
1,1,1-trikloretan	µg/L	<0.10	<0.10	naftalen	µg/L	<1.0	<1.0
1,1,2-trikloretan	µg/L	<0.20	<0.20				
1,1,1,2-tetrakloretan	µg/L	<0.10	<0.10				
1,1,2,2-tetrakloretan	µg/L	<0.20	<0.20				

I Tabell 5-39 kan konstateras att inga volatila fettsyror kunde analyseras över detektionsgränsen i det ofiltrerade provet.

Tabell 5-39. VFA i det ofiltrerade klosettattendekantatet.

Ämne	Enhet	Ofiltrerat	
		22-11-03	22-12-06
Datum			
Mjölksyra	mg/L	<25.0	<50.0
Ättiksyra	mg/L	<25.0	<25.0
propionsyra (propansyra)	mg/L	<25.0	<25.0
smörsyra + isosmörsyra	mg/L	<25.0	<25.0
isovaleriansyra (isopentansyra)	mg/L	<25.0	<25.0
valeriansyra (pentansyra)	mg/L	<25.0	<25.0
hexansyra (kapronsyra)	mg/L	<25.0	<25.0

Tabell 5-40 visar övriga parametrar som analyserades för klosettattendekantatet.

Tabell 5-40. Övriga analyserade parametrar för klosettavtattat.

Ämne	Enhet	Ofiltrerat	
		22-11-03	22-12-06
Datum			
Klorid	mg/L	504	557
Fluorid	mg/L	<0,400	<0,400
ammoniak och ammonium som NH <sub>4</sub>	mg/L	1440	1460
ammoniak- + ammoniumkväve	mg/L	1120	1130
totalkväve, Kjeldahl	mg/L	1090	1000
nitrit- och nitratkväve, summa	mg/L	0,09	<0,300
nitrit, NO <sub>2</sub>	mg/L	0,0981	<0,0656
nitritkväve, NO <sub>2</sub> -N	mg/L	0,0299	<0,0200
nitrat, NO <sub>3</sub>	mg/L	<0.27	<1.32
nitratkväve, NO <sub>3</sub> -N	mg/L	0,06	<0,300
Totalfosfor	mg/L	78,5	160
sulfat, SO <sub>4</sub>	mg/L	34	112
fosfatfosfor, PO <sub>4</sub> -P	mg/L	74	64,8
fosfat, PO <sub>4</sub>	mg/L	227	198
Totalkväve	mg/L	1090	1000
BOD 7	mg/L	174	207
COD-Cr	mg/L	813	930
DOC, löst organiskt kol	mg/L	180	166
TOC	mg/L	210	280
pH vid 25°C		7,7	7,8
Konduktivitet vid 25°C	mS/m	996	968
Alkalinitet som HCO <sub>3</sub> @ pH 5,4	mg HCO <sub>3</sub> -/L	4520	4490
Färg	mgPt/l	2650	2890
mättemperatur pH	°C	24,8	25,1
mättemperatur konduktivitet	°C	24,5	24,5
S, svavel	mg/L	33,8	46,6
Turbiditet	ZFn (NTU)	110	142

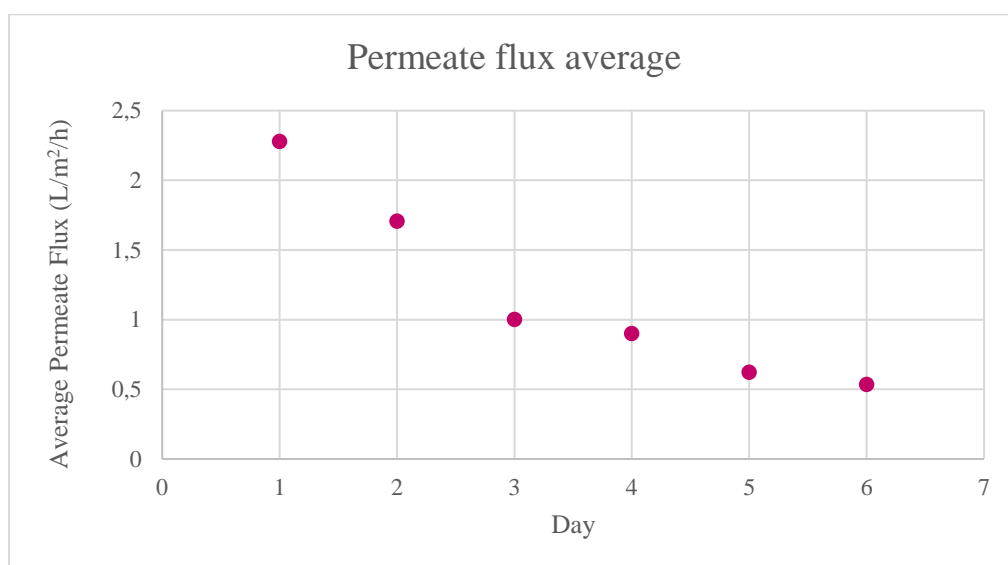
#### Uppkoncentreringsförsök: från 100 L till 5 L

Vid detta uppkoncentreringsförsök användes samma uppställning som för de tidigare försöken, med skillnaden att nytt dekantat (upp till en total volym av 100 L) pumpades in i behållaren med ungefär samma hastighet som permeatet producerades. Detta experiment utförs vid pH 4 och en temperatur på 55°C. Membranets kalla sida har en temperatur på ungefär 8,3°C.

Vid tiden för skrivandet av denna rapport hade inte experimentets kunnat slutföras. Vid skrivandet av rapporten har uppkoncentreringsexperimentet pågått i tio dagar, och uppkoncentreringen har uppnått en ungefärlig uppkoncentreringsfaktor av 2. Koncentreringsexperimentet kommer att fortsätta under de kommande veckorna.

Vi har dock gjort nedanstående observationer:

- 44 L av permeat har producerats under projektets gång, och allt dekantat har tillsatts. Detta innebär att det är vätskeförluster i systemet, förmodligen via evaporation;
- Flödet av permeat från membrandestilleringen sjönk under de första sju dagarna av uppkoncentreringsexperimentet: från ett medelflöde av 2,3 till 0,53 L/m<sup>2</sup>/h (se Figur 5-14). Det är vid tidpunkten för skrivandet av denna rapport oklart om nedgången i flöde beror enbart på att membranet har blivit smutsigt eller om det också beror av att koncentrationen i dekantatet har ökat;
- Det uppstår en oangenäm lukt vid uppkoncentreringen;
- Även permeatet har en lukt av ruttna ägg.



Figur 5-14. Medelflöde av permeat över tid under de första sju dagarna av uppkoncentreringsexperimentet.

## Diskussion

### Problem med utrustningen

Circular Water Technologies utrustning är framtagen för att producera ultrarent vatten, inte för att maximera uppkoncentreringen av växtnäring i klosettwater. Därför var det oklart från början om och hur processen och utrustningen skulle fungera för detta ändamål. Det är därför inte konstigt att det blivit förseningar och problem, men vi vill ändå nedan försöka förklara hur utrustningen fungerat/inte fungerat.

Utrustningen skulle levereras i februari 2022. Tyvärr kunde detta inte ske (problem med leverans av material för produktion av utrustningen). Den levererades i stället i maj 2022, och i en mer prototypliknande och enklare version än den som ursprungligen diskuterats med Circular Water.

Försöken kunde starta i maj 2022 men vi hade inte fått något protokoll för rengöring av membranen, som började sätta igen under försökens gång. Vid ett försök

vid hög temperatur och högt pH slutade membranerna att fungera och fick skickas tillbaka till Circular Water för rengöring. Membranet kom sedan tillbaka i augusti 2022, men pga. läckage fungerade det inte och membranet skickades tillbaka igen. När membranet var åter i Luleå gick det inte att få det att fungera och ge acceptabla nivåer på konduktivitet i permeatet, och sensorerna i utrustningen fungerade inte så då fick vi skicka tillbaka hela utrustningen till Circular Water. Detta hände i september 2022.

Vi fick sedan inte tillbaka utrustningen förrän 21 november 2022, och först då fick vi ett rengöringsprotokoll för membranerna. Stephanie körde tester på 10L och det gick bra (bra värden i konduktivitet och flöde etc.). Vid start av 100L-försöket minskade flödet genom membranet med en faktor 10 och försöket kunde inte slutföras innan jul. Detta har gjort att huvudexperimentet – att uppkoncentrera 100 L till 5 L har inte kunnat utföras inom MACRO:s projekttid. Planen var att genomföra uppkoncentreringsförsöket under januari 2023 (på andra medel än MACRO 3-finansieringen) men då krånglade biogasproduktionen i RecoLab och vi kunde inte få tillgång till klosettattendekantat förrän i februari 2023. LTU rapporterar de resultat av uppkoncentreringen som var framme vid tid för slutrapportering i MACRO 3, trots att annan finansiering användes för det sista experimentet.

### **Temperatur, pH och flöde**

För att tillse ett så högt flöde som möjligt är det viktigt med en så hög temperatur som möjligt. Å andra sidan är det viktigt att hålla temperaturen så låg som möjligt för att kunna driva processen så energieffektivt som möjligt. För att minimera förlusterna av kväve i processen är det viktigt att ha ett så lågt pH som möjligt. Å andra sidan kräver ett lågt pH en stor tillsats av syra vilket inte är önskvärt ur ett hållbarhetsperspektiv.

Ur ett praktiskt perspektiv tyder resultaten från de första sju försöken på att en lämplig temperatur att använda för uppkoncentreringsförsöket av klosettatten är 55°C. Vi tror att det kan gå att uppkoncentrera effektivt med relativt låga förluster av kväve vid pH 4. Denna temperatur och pH är de vi använder det större uppkoncentreringsförsöket under 2023.

Flödet är relativt lågt: 1,5 till 3 L/m<sup>2</sup>/h, där det högre flödet uppnås vid de högre temperaturerna. Vid temperaturen 55°C, den temperatur vid vilken vi tror att det är lämpligt att köra membrandestilleringen, var flödet 2,48 l/m<sup>2</sup>/h. Om en person ger upphov till ca 6 L klosettatten per dag och om vi antar att 1/3<sup>12</sup> av detta blir dekantat skulle det vid 24-h gång av membrandestilleringen krävas 0,034 m<sup>2</sup> per person i membranyta för att behandla dekantatet i denna utrustning. Dvs för 1000 personer skulle en membranyta av 34 m<sup>2</sup> krävas.

Flödet i det större uppkoncentreringsexperimentet låg i samma storleksordning under den första dagen av experimentet (2,3 l/m<sup>2</sup>/h) men sjönk sedan till 0,53 2,3 l/m<sup>2</sup>/h under dag 7.

---

<sup>12</sup> Gissning.

### **Växtnäringsinnehåll**

Membrandestilleringen klarade av att uppkoncentrera växtnäringen i klosettvtendekantatet. Viktigt att titta närmare på halterna av metaller och föroreningar i relation till växtnäringen i den uppkoncentrerade fraktionen i vidare studier.

### **Användning av fosforsyra**

Den höga alkaliniteten i klosettvattnen gör att surgörningen av dekantatet kräver stora mängder syra. Genom att använda en fosforsyra för detta ändamål tillförs så otroligt mycket fosfor att den uppkoncentrerade fraktionen blir obalanserad, och främst en fosforgödsel baserat på syratillsatsen snarare än en högkvalitativ produkt baserat på sitt eget innehåll. Vi tror att biologisk stabilisering är en hållbarare väg framåt än tillsats av syra. Vi tror också att membrandestilleringen kan fungera bättre på ett klosettvtendekantat som stabiliserats biologiskt i stället för kemiskt.

### **Fortsatta studier**

LTU kommer att, utanför MACRO 3-projektet och med andra medel, genomföra det planerade, större uppkoncentreringsförsöket under januari-februari 2023 för att testa membrandestilleringens kapacitet för uppkoncentrerings och kvalitet på koncentratet i huvudsaklig överensstämmelse med punkt 3 under Syfte. Inom ett annat projekt kommer biologisk stabilisering att testas. Vidare kommer en annan typ av uppkoncentreringsmetod (indunstning) att testas tillsammans med ett keramiskt filter och ett kolfilter under hösten 2023.