



LUND
UNIVERSITY

18e maj 2017

PM BEHANDLING AV KLOSETTVATTEN

Utvecklingsseminarium klosettvatten 18e maj 2017

Detta PM är tänkt att fungera som underlag för workshopen under eftermiddagen. Det innehåller:

- En kort introduktion till klosettvatten/matavfall
- Kortare beskrivning av existerande behandlingstekniker (pilotskala/fullskala)
- Rapporterade nyckeltal för källsorterande system
- En lista över utvalda tekniker för näringsåtervinning (labbskala/pilot/fullskala)
- Sammanställning över föreslagna system i Helsingborg (H+) samt ett system under framtagning inom MACRO-projektet (Again Nutrient Technology).

KARAKTÄR PÅ KLOSETTVATTEN/MATAV FALL

En stark drivkraft för att källsortera avlopp är att behålla näringsämnen i en koncentrerad fraktion. För jämförelse så återges därför i tabell 1 ungefärliga koncentrationer som kan förväntas i olika avloppsfraktioner.

Tabell 1 – Ungefärliga koncentrationer i olika avloppsfraktioner. n.d. = ingen data anges.

	TS-halt	mg COD/L	mg N/L	NH ₄ -N	Mg P/L	Mg PO ₄ -P/L
Kommunalt avlopp ^{1,2}	<<1%	200	30-40	25-30	5-7	n.d.
Kvarnat matavfall ³	1-3%	30 000 – 60 000	500 – 1300	n.d.	100-200	n.d.
Klosettvatten (vakuum) ³	1%	8 000 – 10 000	1 300	1 100	150	130
Effluentvatten UASB (klosett+matavfall) ⁴	<1%	1000	1000	800	100	90

1) Lindquist (2003). 2) Stockholm Vatten (2016). 3) Jönsson et al. (2005). 4) STOWA (2014).

EXISTERANDE BEHANDLINGSTEKNIKER

Nedan följer en kortare beskrivning över ett fåtal utvalda existerande behandlingstekniker som testats i pilot- eller fullskala. Det vill säga tekniker som går att implementera idag.

Våtkompostering + ureahygenisering

Uppsamling av hela klosettavloppet (från vakuumsystem) för batchkompostering (40 °C) genom luftning. Processen kan bli autoterm (självvärmade) om tillräcklig hög koncentration av organiskt material nås. Uppehållstiden för kompostering är cirka 7 dagar. Därefter tillsätts urea för att uppnå tillräckligt hög koncentration av ammoniak för att uppnå hygienisering av klosettavloppet. Behövd behandlingstid och koncentration är en funktion av temperatur och lagringstid men omkring 0.5-1% (mass-%) tillsatt av urea med 7 dygns exponeringstid kan ses som riktvärde. Klosettavloppet med ammoniak lagras i tank varefter den kan certifieras som biogödsel med SPGR 178 och spridas/nedverkas flytande på åkermark. Fem fullskaleinstallationer med våtkompostering och/eller ureahygenisering finns i Sverige; Södertälje, Örebro, Strängnäs, Uddevalla och Haninge. Då systemet endast innehåller ett till två behandlingssteg (våtkompostering och ureahygenisering) kan det bedömas vara robust. Driftserfarenheterna är dock få (inget av de fyra systemen ovan har varit i drift längre än sedan 2012) och en viktig del av konceptet är jordbrukare som vill ta emot och sprida den relativt utspädda våtfraktionen.

Rötning i UASB med efterföljande struvitfällning och anammox

Detta system är utvecklat av WETSUS i Nederländerna och finns implementerat i ett flertal varianter i mindre områden. Arbetet kring källsorterande system i Nederländerna startade efter millennieskiftet under forskningsområdet "nieuwe sanitatie" (ny sanitet). Konceptet innefattar samhantering av matavfall (via kvarn) med klosettavlopp (vakuum) i gemensam vakuumledning. Den gemensamma fraktionen rötas utan förbehandling i slamseparerande biogasreaktor (UASB) varvid en effluent med låg partikelhalt (omkring 180 mg SS/L) samt hög andel lösta näringsämnen produceras. Effluents är därför lämplig för extraktion av näringsämnen. Konceptet med struvitfällning och efterföljande anammoxprocess (för denitrifikation av kväve) finns implementerade i bostadsområden sedan 2006 i staden Sneek. Just dessa tekniker får därmed anses vara väl beprövade utomlands. Pilot- och universitetsförsök med andra extraktionstekniker på effluentvätskan pågår även i Nederländerna. Dessa inkluderar algodling, mikrobiella bränsleceller samt spontan utfällning av fosfat med kalciumgranulering direkt i rötchammare. Generellt ligger Nederländerna långt fram när det gäller implementering och praktiska tester av reningsteknik på källsorterat avlopp, dock saknas en överförelse av kunskapen kring dessa tekniker till Sverige.

Rötning i MBR med efterföljande omvänd osmos (RO) eller zeolitextraktion

Källsorterat matavfall och klosettavloppet är förhållandevis tunt (jämfört med avloppsslam) och lämpar sig därför väl för rötning i en slamseparerande biogasreaktor. En membranbioreaktor (MBR) med mikrofiltreringsmembran har testats både i pilotskala (i Hammarby sjöstad) men också i fullskala i ett bostadsområde utanför Stuttgart i DEUS 21 projektet. Mikrofiltreringsmembran medför att rötslam och partiklar kan hållas kvar i reaktor varför biogasprocessen kan drivas vid låg temperatur (omkring 20 °C) vilket bidrar till en positiv energibalans. Vidare lämnar endast lösligt material genom membranet vilket ger en effluentvätska som är mycket lämplig för näringskoncentration (med RO) eller näringsextraktion. Försök med uppkoncentration av effluentvätska från rötat klosettavlopp och matavfall utfördes i pilotskala i Hammarby Sjöstad för omkring 10 år sedan. Vid behandling med RO pressas vatten ut ur effluentvätskan varpå näringsämnen koncentreras. En volymreduktionsfaktor (uppkoncentration) på mellan 5-15 gånger erhöles vid försöken i Stockholm. Dock återfinns även metallerna i koncentratet (dvs koncentratet innehåller samma förhållande mellan metaller och näringsämnen som avloppsvattnet). En viktig poäng är dock att klosettavloppet innehåller en lägre ratio mellan metaller och näringsämnen än

kombinerat avlopp). I DEUS 21 projektet testades istället extraktion av näringsämnen från effluentsvämman. Detta inkluderade jonbytesextraktion av ammoniumkväve med zeoliter. Zeoliter är en grupp naturligt förekommande silikatmineraler som innehåller mycket hålrum med katjoner och därmed en hög aktiv yta för jonbyte med ammoniumkväve. Försöken visade att upp till 95% ammoniumkväve kan utvinnas, men utvinningsgraden är kraftigt beroende på zeolitdos samt exponeringstid. Zeoliter (med utvunnet ammoniumkväve) kan appliceras direkt i jordbruksmark eller regenereras med syra (varpå ammoniumkvävet löser sig i syran som i sin tur kan omvandlas till en gödningsprodukt, flytande eller pelleterad).

Rötning av klosettatten och matavfall i MBR är således utförd i pilotskala men det finns inga fullskaleimplementeringar i drift. Detta gäller även för uppkoncentration av en effluentsvämman från dessa fraktioner med RO och zeoliter. Dock finns mycket erfarenheter från applikation på andra substrat. I MACRO-projektet utvärderas även zeolitteknik från företaget Again Nutrient Technology på rötat klosettatten och matavfall (tekniken finns redan utvecklad för enskilda avlopp och beskrivs kortfattat i tabell 3 under namnet Zeopeat).

Struvitfällning

Struvitfällning är främst ämnat för fosforåtervinning och sker genom att utgående vattenfas från röt-kammare leds till tank i vilken utfällning av struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) sker genom tillsatts av magnesium. Av molekylformeln för struvit framgår det att lika molandelar magnesium, fosfor och kväve fälls ut vilket medför att mindre kväveåtervinning också sker vid struvitfällning. Således är det istort sett endast fosfor som utvinns med struvit. Struviten (kristaller som varierar i storlek kring ett par mm) sedimenterar i tanken från vilken det får tömmas. Tekniken har på rejektivatten från konventionella röt-kammare visats ge över 90 % fosforåtervinning med lågt metallinnehåll. Struvitfällning finns implementerat i ett flertal större projekt runtom i världen och tekniken får anses vara väl beprövad. I Sverige marknadsförs tekniken bland annat av Ekobalans som har drivit flera pilotförsök med struvitfällning på rejektivatten. Struvit från reningsverk säljs också som gödselmedel i Nederländerna och Danmark. Det bör påpekas att struvitfällning kräver att fosfor återfinns i fosfatform varför rötat klosettatten vore lämpligt att behandla med struvitfällning (såsom också sker i Sneek i Nederländerna).

Ammoniumstripping

Med ammoniumstripping utvinns ammoniumkväve genom en rad subsekventa steg. Först ökas vattnets temperatur (upp till 65-80 °C) och pH justeras med stark bas (till omkring pH 10). Vid dessa betingelser återfinns en majoritet av ammoniumkvävet som ammoniak (NH_3) istället för ammonium (NH_4^+) och ammoniaken kan avgå som gas ur vätskan. Avgången sker genom spridning i kolonner med mötande luftflöde. Den utgående luften (med ammoniak) skrubbas sedan i stark syra (svavelsyra eller salpetersyra) varpå ammoniaken återgår till en flytande fraktion.

Ammoniumstripping finns installerad i flera fullskaleanläggningar i världen. Framförallt för avloppströmmar med högre kvävekoncentration (som rejektivatten från gödselrötning) men också på rejektivatten från rötning vid avloppsreningsverk. Två installationer på reningsverk i närområdet var Eslöv (ej i drift längre) samt reningsverk i Oslo där ammoniumstrippern är i drift sedan slutet på 90-talet. Tekniken kan således bedömas vara välbeprövad och uppemot 90% av ammoniumkvävet kan utvinnas. Driftproblem som rapporterats är igensättning av reaktionskärn och ledningar på grund av utfällningar vid det höga pH. Således krävs periodvis tvättning med syra. Vidare kräver ammoniumstripping lagring och arbete med starka syror och baser. Det finska företaget Ductor säljer ammoniumstrippingsanläggningar.

Det utvunna ammoniumkvävet (med svavelsyra eller salpetersyra) finns som direkt ekvivalens i mineralgödselindustrin och lämpar sig således väl för jordbruksåterförsel. Ekonomiskt är det dock

långt kvar för att kunna konkurrera med mineralgödseltillverkning. Det främsta problemet är den låga koncentrationen av ammoniumkväve (ca 1 gN/L) i källsorterat avlopp. Det har uppskattats att koncentrationen av kväve behöver uppkoncentreras en faktor 3-10 för att nå god ekonomi.

Vakuumindunstning av rejektvatten

Ett stort problem med våtfraktion av matavfall och klosettavlopp är den låga koncentrationen av näringsämnen (trots att källsorterande system har en mycket högre än koncentration än vanligt avloppsvatten vilket framgår av tabell 1). Extraktionstekniker som kräver pH-justering eller temperaturförändring blir uppenbarligen mer ekonomiska vid högre koncentrationer, men även återförsel av hela våtfraktionen blir mer ekonomisk ju mindre vatten som behöver transporteras. Försök att minska andelen vatten med hjälp av vakuumindunstning har utförts vid reningsverk i Danmark av Biofos och slutrapporterades under 2016. Vakuumindunstning innefattar en sänkning av atmosfärstrycket till 250 mbar varvid vattnet förångas vid 55-65 °C, vilket minskar energiåtgången för att koka bort vatten och därmed öka koncentrationen. En volymreduktionsfaktor på upp till 30 gånger erhålls vid försöken. När försöken utfördes utan pH kontroll kokade dock merparten av ammoniumkvävet bort med vattnet. Försök med pH-kontroll (pH <7.5) medförde att merparten av ammoniumkvävet stannade i koncentratet. Vidare uppmärksammades problem med utfällningar av fosfat och kalcium i koncentratet. Det rekommenderades kontrollerad fällning av dessa fraktioner under vakuumindunstningen för att minska oönskade problem med spontan utfällning i ledningar och reaktorkärl. Tekniken har endast prövats som forskningsprojekt. Vidare har vakuumindunstning aldrig testats på behandlat klosettavlopp eller matavfall, utan endast på rejektvatten från konventionella röt-kammare. Då rejektvatten har ungefär samma innehåll av näringsämnen som (men mycket högre partikelhalt än) behandlat klosettavlopp bör dock erfarenheterna vara överförbara. Ett business case över Avedøre reningsverk i Köpenhamn utfördes av Biofos som konkluderade att vakuumindunstning (för 320 000 pe) skulle bli relativt ekonomiskt kostsamt samt energitungt men att optimering av processen troligen kunde ske.

NYCKELTAL

Att producera nyckeltal för källsorterande system inklusive behandlingstekniker för näringsåtervinning är av stort intresse. I sin avhandling presenterar Kjerstadius (2017) sådana nyckeltal för ett utvalt källsorterande system (struvitfällning + ammoniumstrippning) och jämför det med ett konventionellt reningsverk i södra Sverige. Vidare sammanställs en rad internationella undersökningar av nyckeltal i rapporten av Kjerstadius et al. (2016). Dessa nyckeltal återges i tabell 2 nedan. Det framgår av tabell 2 att källsorterande system alltid förväntas öka produktionen av biogas respektive återförslän av näringsämnen från avlopp. För energiförbrukning rapporteras både ökning (Hillenbrand, 2009; Meinzinger, 2010; Thibodeau, 2014) respektive minskning (Kjerstadius et al., 2016; Remy, 2010, STOWA, 2014) av den totala energiförbrukningen. Som framgår av fotnoterna i tabell 2 är dock energiförbrukningen beräknad olika i de olika studierna. Det är inte heller identiska system eller systemgränser som har undersökts. En slutsats i avhandlingen av Kjerstadius (2017) är att lokala förutsättningar bestämmer vilka tekniker som är lämpliga att införa i samband med källsorterande system (exempelvis återförslän av hela våtfraktionen eller teknik för extraktion av näringsämnen). Det bör därför understrykas att liknande nyckeltal är intressanta att ta fram för hela system med de tekniker som listas i tabell 3 samt för olika geografiska områden (Stockholm respektive Helsingborg).

Tabell 2 – Rapporterade nyckeltal för källsorterande och konventionella system. Tabellen baserad på Kjerstadius et al. (2016).

	Remy (2010)	Hillenbrand (2009)	Meinzinger (2010)	STOWA (2014)	Thibodeau (2014)	Kjerstadius et al. (2016)
Biogasproduktion [kWh metan capita⁻¹ år⁻¹]						
Konv. system	12.1	-	-	61	121.5	80
Källsorter. system	44.4	-	-	122	116.5	128
Netto energiförbrukning [kWh capita⁻¹ år⁻¹]						
Konv. system	66.7 ^{1,6}	860 ⁶	278 ^{2,6}	88 ^{2,6}	219 ^{2,6,8}	165 ^{electr.} -392 ^{thermal}
Källsorter. system	15.6 ^{1,6}	1 500 ⁶	325 ^{2,6}	-184 ^{2,6}	274 ^{2,6,8}	119 ^{electr.} -281 ^{thermal}
Kväve till jordbruk [g N capita⁻¹ år⁻¹]						
Konv. system	402 ³	-	110 ⁵	-	390 ⁷	792
Källsorter. system	3 241 ⁴	+4 290	3 090	-	2 120 ⁷	3 894
Fosfor till jordbruk [g P capita⁻¹ år⁻¹]						
Konv. system	490	-	30 ⁵	-	540 ⁷	313
Källsorter. system	718	+540	440	-	600 ⁷	609

1) Includes substituted mineral fertilizer. 2) Calculated for primary energy. A negative sign indicates net energy production. 3) Assumed 100% sludge to farmland. 4) Return of entire treated wet fraction. 5) No nutrients are returned from the WWTP, only from food waste management. 6) Includes drinking water production. 7) Considers plant available nutrients after run-off and emissions. 8) Includes hot water production.

LISTA ÖVER UTVALDA TEKNIKER FÖR NÄRINGSÅTERVINNING FRÅN KLOSETTVATTEN/MATAV FALL

Nedan följer i tabell 3 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

Tabell 3 – Utvalda tekniker för näringsåtervinning av källsorterat klosettvatten/ matavfall.

Nr	Namn	Beskrivning	Återförsel av	Ungefärlig teknikmognad
Återförsel av hela våtfraktionen				
1	Våtkompostering	Batchkompostering av klosettavlopp varvid temperaturer upp till 40 °C kan uppnås autotermt genom oxidation av det organiska materialet i avloppsvatten. En kombination av temperatur och exponeringstid uppnår hygienisering av patogener.	Alla näringsämnen	En fullskaleimplementatio n i Sverige.
2	Ureahygenisering	Källsorterat klosettvatten 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 näringsämnen	Ett fåtal fullskaleprojekt i Sverige.

Extraktionsmetoder				
3	Kristallisation - Struvitfällning	Utfällning av lika molandelar fosfat/ NH_3 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 - Kalciumgranulering	Spontan granulering/kristallisation av löst fosfat i rötkammare. Granulerar skördas/filtreras ur slammet i botten på UASB-rötkammare.	Främst P	Försök i pilotskala.
5	Zeoliter	Extraktion av katjoner (NH_4^+ och K^+) i jonform. Lösta joner binder till zeolitmaterialet som sedan filtreras/sedimenteras ut. Zeolitmaterialet kan regenereras.	N och K	Flera längre forskningsprojekt i pilotskala.
6	Zeopeat (Again nutrient technology)	Extraktion av kväve, fosfor och kalium med zeolit och magnesiumladdad torv. Den extraerade produkten blandas med torv och säljs som odlingsjord.	P (95%) N (50-70%) K	Teknik för enskilda avlopp finns.
7	Ammoniumstripping	Extraktion av kväve i ammoniumform. Vattnets pH höjs med stark bas varefter NH_3 avgår i gasform i strippingtorn och extraeras med stark syra. Finns i fullskala på reningsverk i Oslo och finns på flera gödselanläggningar.	N	Implementerad i fullskala.

8	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 gaspermeabla membran nedan). MEC har testats på urin med upp till 80% N-extraktion till låg energiförbrukning.	N	Universitetsforskning.
9	Gas-permeabla membran	Extraktion av ammoniumkväve (NH_3) från vätska via förångning över ett hydrofobt membran. Förångad NH_3 fångas sedan i syra (stora likheter med amm. stripper).	N	Universitetsforskning.
10	Elektrodialys	Koncentration av katjoner (NH_4 och K) och anjoner (fosfat) genom jonbytesmembran. Transporten drivs av elektroder bakom resp membran. 10 ggrs uppkoncentration har erhållits. Kan kombineras med MFC.	N, K	Universitetsforskning.
11	Magnetisk separation	Adsorption av joner (N, P, K) på magnetisk bärarmaterial (ex. magnetit). Bärarmaterialet filtreras ut med magnetfält, varefter jonbytesteknik extraherar näringsämnen och det magnetiska bärarmaterialet kan regenereras.	N, P, K	Universitetsforskning.
12	Vätskeextraktion	Extraktion av lösta näringsämnen i jonform med opolär vätska. Extraktionsvätskan regenereras. Försök finns på fosfat.	P	Universitetsforskning.

Koncentrationsmetoder				
13	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.
14	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.
15	Destillation	Destillation av vatten för att koncentrera näringsämnen. Kräver pH sänkning om ammonium inte skall avgå i gasform.	Alla näringsämnen	
16	Vakuumindestning	Lågtryckskokning (250 mbar) medför att vatten avdunstar vid 55-65 °C. En volymreduktionsfaktor på 30 har erhållits vid försök på rejektivatten 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.
17	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 vakuumindestning)	-	Universitetsforskning.

Biologiska koncentrationsmetoder				
18	Soldatflugekompost	Odling av larver på källsorterat matavfall eller svarvatten. Test på TS-halter ned till 2% utförs inom MACRO. Larver används som foder till ex höns. Metoden utvecklas av SLU Uppsala.	Utvärd. inom MACRO	Universitetsforskning/ pilotskala
19	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.
20	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	Universitetsforskning.
21	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.

FÖRSLAG FÖR HELSINGBORG:

Nedan återges de tre systemförslag som togs fram vid det IWA seminarium om källsorterande system som hölls i Helsingborg i april 2015 och återges i Kjerstadius (opubl.). Två av systemen baseras på ett helt separat reningsverk för källsorterat avlopp (high-tech alternative 1 och 2) medan de två andra systemen bygger på att källsorterat BDT-vatten fortfarande kan hanteras vid det befintliga reningsverket (low-tech laternative 1 och 2).

FÖRSLAG FÖR AGAIN NUTRIENT RECOVERY:

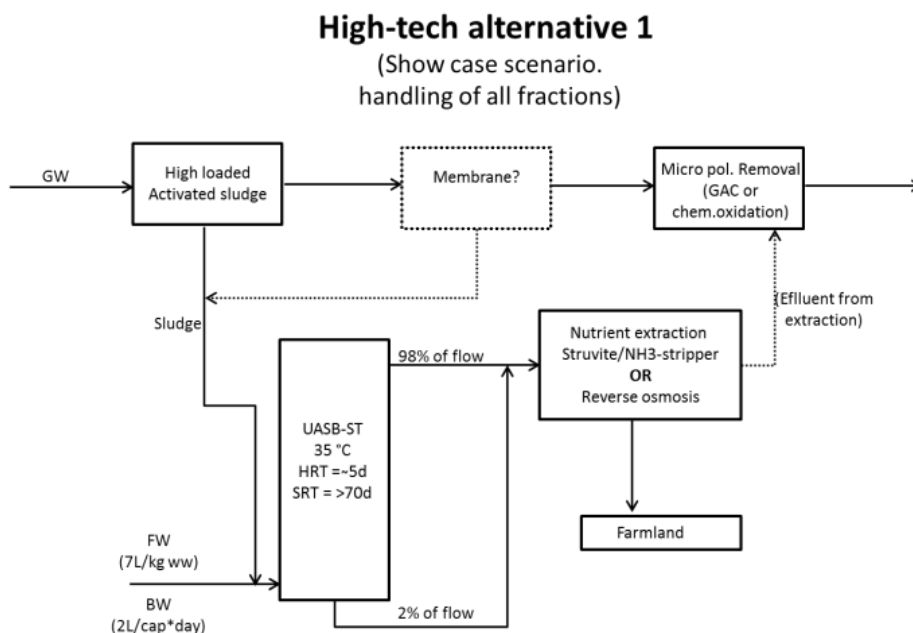
Nedan återges utkastet till det systemförslag som tas fram av LTH och Again Nutrient Recovery inom MACRO-projektet.

HELSINGBORG #1: High-tech alternative 1

Systemet bygger mycket på implementerat system i Sneek (Nederländerna) och baseras på extraktion av näringsämnen. Klosettvattnet (vakuumtoalett) och matavfall (köksavfallsskvarn) transporteras i gemensam ledning (eller separata ledningar) och rötas direkt i rötammare (UASB) utan förbehandling. Effluentvattnet från rötammaren har en låg partikelhalt (omkring 180 mg SS/L) och lämpar sig därmed för extraktion/koncentration av näringsämnet. I systemet föreslås antingen en kombination av struvitfällning/ammoniumstrippning (för extraktion av näringsämnen) eller omvänd osmos (för koncentration av näringsämnen). Samtliga tekniker beskrivs kortfattat i tabell 3. Källsorterat BDT-vatten (kallas GW i figur 1) behandlas med aktiv slam teknik precis som i Sneek. Den sammanslagna effluenten från behandlingen poleras för mikroföroreningar med aktivt kol (GAC) eller oxidering (exempelvis ozon).

Bedömda styrkor: Systemet finns beprövat vid reningsverk (hela systemet förutom ammoniumstripper finns i Sneek. Ammoniumstripper finns vid reningsverk i Oslo. RO teknik är väl utvecklad men inte testad på dessa avlopp). Systemet ger en mycket låg andel transporter (näringsämnen utvinns som högkoncentrerad struvit resp högkoncentrerat ammoniumsulfat. Eller som ett RO-koncentrat).

Bedömda svagheter: Ammoniumstripper kräver arbete med starka syror och baser vilket personal vid reningsverk inte normalt arbetar med (kräver ökat arbete med arbetssäkerhet). Viss erfarenhet med RO-koncentrering av avlopp från Hammarby Sjöstad finns men troligtvis kommer effluentvattnet behöva ngn typ av förfiltrering (MF eller UF) innan RO-koncentrering kan ske (annars kommer RO-enheten att foula). Vidare finns inget existerande system med producent av struvit/ammoniumsulfat/RO-koncentrat från avlopp i Sverige och därmed inget inarbetat system för mottagning vid jordbruk (kräver arbete för att finna jordbrukare som är villiga att ta emot fraktionerna). Sist bör det nämnas att systemet nedan inte kan nå utsläppskrav (ca 10 mg N/L resp 0.5 mg P/L) utan ytterligare behandling eller utspädning med dagvatten som vid konventionella reningsverk.



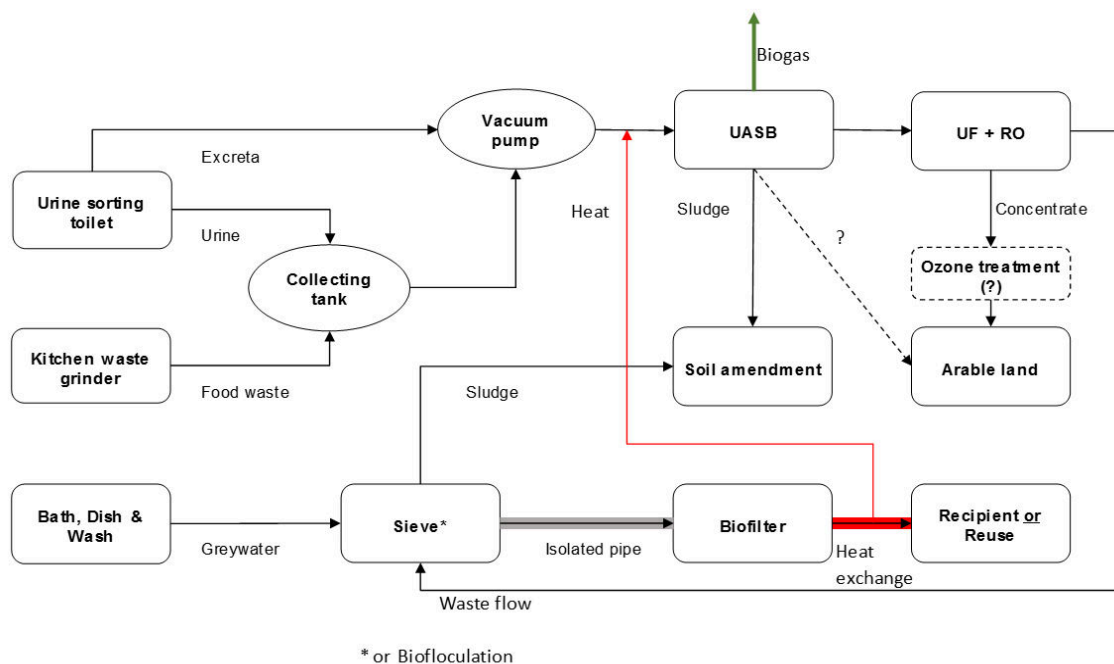
Figur 1 – Föreslaget behandlingssystem (high tech alternative #1) för ett lokalt reningsverk i Helsingborg.

HELSINGBORG #2: High-tech alternative 2

Systemet bygger delvis på samlade erfarenheter från försök med källsorterat avlopp i Hammarby Sjöstad. Systemet öppnar för ytterligare sortering av klosettvattnet (urinsortering) men är annars likt övriga vakuumsystem (insamling av klosettvattnet och matavfall i vakuumledning) med rötning (i UASB) som central process. Effluentvattnet från rötning filtreras (UF) och koncentreras (RO) varpå koncentratet fraktas till jordbruk. BDT-vattnet filtreras/bioflockuleras för att avskilja partikulära ämnen innan det renas för löst organiskt material och kväve i ett biofilter. Systemet inkluderar även värmeväxling från BDT-vattnet för att värme röttkammare.

Bedömda styrkor: System bygger mycket på beprövad teknik (vakuumsystem + rötning är beprövat i Sneek. Filtrering och biofilterrening av avlopp är väl beprövat). Vidare erhålls ett koncentrat (upp till 15 ggr med hjälp av RO) av näringsvätskan vilket minskar antal transporter. Produkten kan bli SPCR 178 certifierad (men detta har aldrig prövats i praktiken).

Bedömda svagheter: Test med UF + RO filtrering av rötvätska från dessa fraktioner finns inte i fullskala. Svensk kunskap kring detta bygger på försök vid Hammarby Sjöstad. Faktisk spridning av RO-koncentrat i jordbruk är oprövat så kontakter med jordbruk behöver utvecklas.



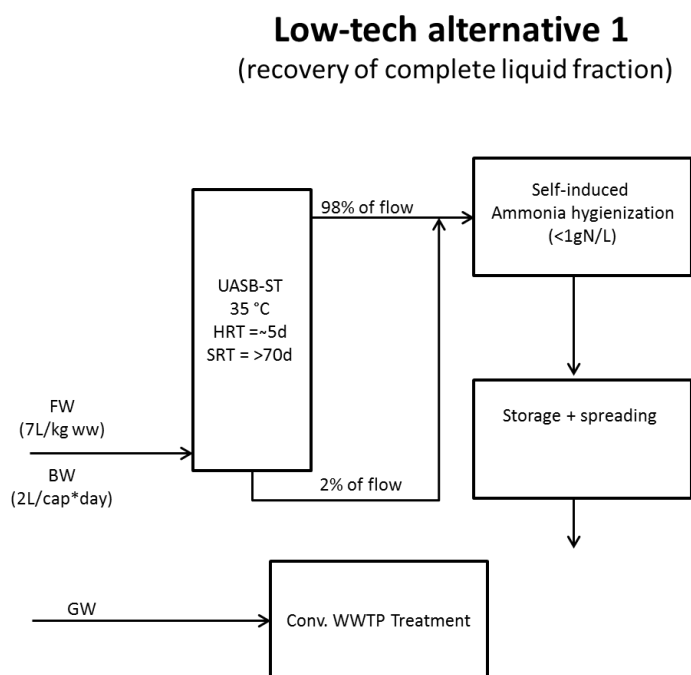
Figur 2 – Föreslaget behandlingssystem (high tech alternative #2) för ett lokalt reningsverk i Helsingborg.

HELSINGBORG #3: Low-tech alternative 1

Systemet bygger på återförsel av hela våtfraktionen av behandlat klosettavlopp och matavfall. Klosettavloppet (vakuumpolett) och matavfall (köksavfallskvärl) transporteras i gemensam ledning (eller separata ledningar) och rötas direkt i rötchammare (UASB) utan förbehandling. Den rötade effluentvattnet (samt den mindre andelen rötchlam) innehåller tillräckligt hög ammoniumkoncentration (NH_3) för att uppnå självhygienisering (ca 1g N/L) så länge temperaturen är tillräckligt hög så att kvävet återfinns som ammonium. Hela den hygieniserade våtfraktionen kan certifieras med SPCR 178 och spridas på åkermark.

Bedömda styrkor: Systemet använder sig av enkel teknik. Liknande vätskor har godkänts för SPCR 178 certifiering (dock för rurala områden).

Bedömda svagheter: Fraktionerna är lågkoncentrerade och således behövs mycket transporter (med ca 99% vatten). Oklart om transporter från stad till land kan löna sig för en så utspädd fraktion (systemet funkar där bättre för rurala områden där jordbruk är nära). Vidare bygger systemet på att befintligt ledningsnät finns kvar samt att andelen BDT-vatten till avloppsreningsverket gradvis ökar i takt med att systemet byggs ut.



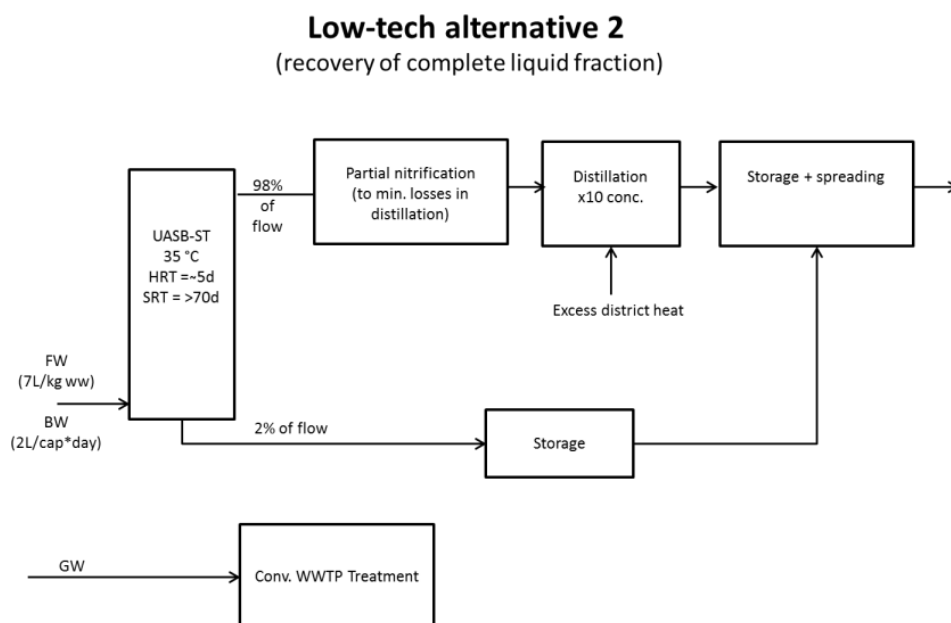
Figur 3 – Behandlingsystem som inkluderar det existerande reningsverket för grävattenbehandling, respektive återförsel av hela våtfraktionen från klosettavlopp + matavfall

HELSINGBORG #4: Low-tech alternative 2

Systemet bygger på uppkoncentrering av näringsämnen ur behandlat effluentvatten. Klosettvalet (vakuumtoalett) och matavfall (köksavfallskvärn) transporteras i gemensam ledning (eller separata ledningar) och rötas direkt i röt-kammare (UASB) utan förbehandling. Effluentvattnet från röt-kammaren har en låg partikelhalt (omkring 180 mg SS/L) och lämpar sig därmed för extraktion/koncentration av näringsämnet. I systemet föreslås partiell nitrifikation av ammoniumkväve. Detta sänker pH och leder till att ammoniumkväve återfinns som NH_4^+ som inte avgör till gasfas i destillering. Vid destillering kokas vatten bort från systemet (förslagsvis med vakuumindunstning vilket minskar energiåtgången då vatten kokas bort vid 55-65 °C) med en volymreduktion på upp till 30 gånger. Den låga temperaturen gör att lågtempererad fjärrvärme kan användas. Den koncentrerade fraktionen kan spridas flytande, eller underlätta extraktion av näringsämnen.

Bedömda styrkor: Systemet minskar kraftigt mängden transporter jämfört med ett våtfraktionssystem. Slutprodukten kan fortfarande certifieras med SPCR 178 (även om det aldrig har prövats i praktiken).

Bedömda svagheter: Partiell nitrifikation för stabilisering av ammoniumkväve är fortfarande under utveckling (utmaningen ligger i att undvika kväveavgång genom denitrifikation). Vidare så har de försök som utförts med vakuumindunstning visat på risker med utfällningar vid uppkoncentreringen. Således måste även denna teknik utvecklas (möjligtvis med kontrollerad fällning av näringsämnen för att undvika spontana utfällningar i ledningar, lagringskärl).



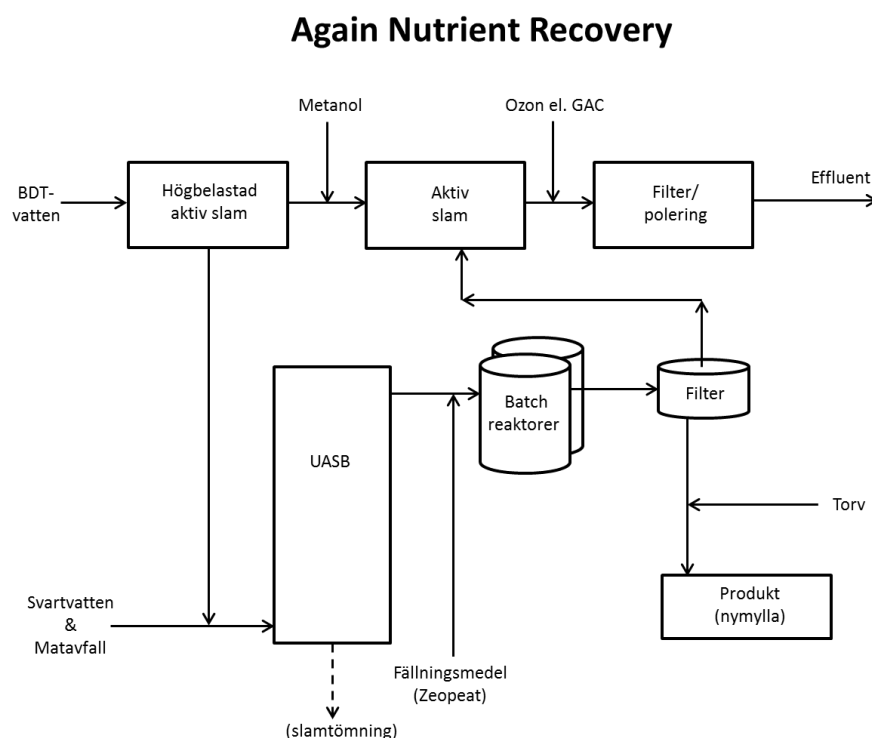
Figur 4 – Föreslaget behandlingsystem som bygger på stabilisering av ammonium med partiell nitrifikation samt koncentration av den stabila fraktionen genom destillering.

AGAIN NUTRIENT RECOVERY #1:

Systemet bygger på extraktion av näringsämnen (fosfor, kväve och kalium) med Again Nutrient Technologies produkt Zeopeat (beskrivs i tabell 3). Behandlingsmässigt liknar systemet många av de ovanstående. Klosettvattnet (vakuumtoalett) och matavfall (köksavfallskvärn) transporteras i gemensam ledning (eller separata ledningar) och rötas direkt i rötchkammare (UASB) utan förbehandling. Effluentvattnet från rötchkammaren har en låg partikelhalt (omkring 180 mg SS/L) och lämpar sig därmed för extraktion/koncentration av näringsämnet. Zeopeat tar ut >95% av fosfor och omkring 50% av kvävet. Det utvunna materialet separeras med hjälp av filter (förslagsvis skivfilter som är väl beprövat inom VA-teknik) och blandas med torv för att skapa produkten nymylla som säljs som odlingsjord för växthus/privat odling. Källsorterat BDT-vatten behandlas med aktiv slam teknik precis som i Sneek. Den sammanslagna effluenten från behandlingen poleras för mikroföroreningar med aktivt kol (GAC) eller oxidering (exempelvis ozon).

Bedömda styrkor: Systemet kan nå utsläppskrav för svenska reningsverk utan inblandning av dagvatten (ovanligt för källsorterande system). Vidare skapas en potentiell högvärdesprodukt (nymylla) för en existerande marknad (odlingsjord).

Bedömda svagheter: Agains teknik (zeopeat) är endast prövad för enskilda avlopp och inga försök har utförts med tekniken på reningsverk. Vidare krävs ganska stora fraktioner zeolit vilket ökar andelen transporter (å andra sidan minskar andelen slamtransporter pga mindre slamproduktion).



Figur 6 – Systemförslag för Agains teknik för extraktion av fosfor, kväve och kalium med Zeopeat.

REFERENSER

- Hillenbrand, T. (2009). *Analyse und Bewertung neuer urbaner Wasserinfrastruktursysteme (Analysis and evaluation of new urban water infrastructure systems)*. Doktorsavhandling, Universität Fridericiana zu Karlsruhe.
- Jönsson, H., Baky, A., Jeppson, U., Hellström, D., Kärrman, E. (2005). *Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model*. Göteborg: Urban Water.
- Kjerstadius, H. (opubl.). *Notes from the workshop on introduction of source separation systems in the H+ area in Helsingborg, Sweden*. Rapport, Lunds Tekniska Högskola.
- Kjerstadius, H., Davidsson, Å., la Cour Jansen, J. (2012). *Hållbara system för biogas från avlopp och matavfall*. Rapport, Svenskt Gastekniskt Center, Malmö.
- Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., Spångberg, J. (2016). *Can source separation increase sustainability of sanitation management?* Rapport VA-teknik Södra, Lund.
- Kjerstadius, H. (2017). *Enhancing anaerobic digestion in urban wastewater management*. Doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola.
- Lindquist, A. (Ed.) (2003). *About water treatment*. Helsingborg: On Paper.
- Meinzing, 2010; Meinzing, F., 2010. *Resource efficiency of urban sanitation systems: a comparative assessment using material and energy flow analysis*. Doktorsavhandling, Technische Universität Hamburg-Harburg.
- Remy, C. (2010). *Life cycle assessment of conventional and source separation systems for urban wastewater management*. Doktorsavhandling, Technische Universität Berlin.
- Stockholm Vatten (2016). *Miljörapport för Stockholm Vatten 2015*. Rapport, Stockholm Vatten, Stockholm.
- STOWA (2014). STOWA, 2014. *Evaluatie Nieuwe Sanitatie Noorderboek Sneek. (Evaluation of Nieuwe Sanitatie Noorderboek Sneek)*. Rapport, STOWA, Amersfoort (NL).
- Thibodeau, C. (2014). *Évaluation et développement de systèmes d'assainissement séparatif des eaux noires à l'aide de l'analyse environnementale du cycle de vie et l'analyse du coût sur le cycle de vie (Evaluation and development of source separation systems for black water using life cycle assessment and life cycle cost)*. Doktorsavhandling, École de technologie supérieure université du Québec.