Rapport
Emulsionen Ekonomisk Förening

Utvärdering av system för BDT-vattenrening med avseende på resurseffektiva städer och hållbar urban livsstil inom EVAA-projektet och H+ området, Helsingborg.

Oktober 2012

Dan-Eric Archer

Sammanfattning

Bad- disk-, tvättvatten (BDT-vatten) är mer utspätt än blandat avloppsvatten med avseende på näringsämnen och COD. Halten av vissa föroreningar, metaller och organiska, är dock högre. Dess karaktär liknar dagvatten men är mer koncentrerat. En signifikant skillnad är halten av svavel. Vid återvinning av BDT-vatten måste därför svavelhalten på något sätt reduceras i processen.

Det finns bra möjligheter att åstadkomma ett återvinningssytem för BDT-vatten med god standard med avseende på energi och resursutnyttjande om visst uppströms arbete vad föroreningar samt viss utveckling av teknik för lokal fysisk och biologisk rening genomförs. Det kan medföra ytterligare fördelar i form av positiv boendemiljö och återkoppling om kretsloppet för de boende genomföras med näringsupptagande växter som del i reningsprocessen. Mängden näringsämnen är dock så hög att nödvändig odlad areal blir svårhanterligt stor.

En lösning är att behandla BDT-vatten (eller BT-vatten, utan det som spolas ner i köksvask) lokalt med existerande produkter på marknaden som i princip är biofilter (MBR) så att koncentrat kan sändas till ordinarie reningsverk och det filtrerade vattnet kan användas lokalt. Ännu mer lovande är att behandla BT-vatten med ultrafiltrering och UV-ljus som ger mindre energianvändning och därefter kan vatten filtreras ytterligare i växtbäddar innan återanvändning. Det skulle också ge in god återkoppling till boende, så de ser att kretsloppet fungerar.

Utomlands, främst i Holland och Tyskland, finns ett flertal pilotanläggningar och även ett par storskaliga projekt som implementerar innovativ teknik på området som är väl värd en närmare granskning innan riktlinjer för byggande i det framtida H+ området fastställs.

Innehållsförteckning

Bakgrund EVAA projektet....1
Syfte....1
Målgrupper....1
Begränsningar....1
Genomförande....1
Introduktion....2
Förväntade flöden med variationer....3
Volym....3
Variationer i volym....3
Variationer i innehåll....4
BT-vatten....4
Växtnäringsinnehåll....5
Föroreningar....7
Metaller....7
Organinska föroreningar....8
Särskilt intressanta substanser....8
Patogener....9
Biogaspotential....10
Uppströms arbete....10
Behandlingsmetoder....12
Återvinningssystem för BDT-vatten på marknaden idag....12
Ozon....12
Ultraviolett ljus....12
Filter....13
Biofilter....13
Återanvändning av BTD-vatten för tvätt och spolning....13
UASB och liknande rötare....14
Bevattning....14
Scenarion....15
Referenssystem....15
Scenario 1 – Konventionell BT-vattenrening, spolvatten, tvätt, disk....15
Scenario 2 – UF, UV, bevattning med uppsamling, spolvatten, tvätt, disk....16
Resultat....17
Dagvatten....18
Diskussion....19
Kretslopp....19
Perspektiv på energi....19
Bakgrundinformation....21
Det planerade H+ området....21
Öresundsverket....21
Allokering....22
Fjärrvärme....22
Intressanta exempel....23
Folehaven, Danmark....23
Sneek, Holland....23
Villa Flora, Holland....24
Gröna väggar och tak....25

Bakgrund EVAA projektet

EVAA är ett delprojekt inom stadsförnyelseprojektet H+ i Helsingborgs Stad. EVAA drivs i samverkan mellan staden och de regionala aktörerna Öresundskraft, NSVA och NSR, i syfte att ta fram principer för innovativa, integrerade systemlösningar inom Energi, Vatten, Avlopp och Avfall i H+ området, samt att undersöka, designa och därefter implementera dessa. En övergripande utgångspunkt, är att de integrerade systemlösningarna säkerställer att H+ som område, sett över året, kan generera ett energiöverskott, vilket härleds tillbaka till stadens övergripande mål om ett energineutralt Helsingborg 2035.

WSP har fått i uppdrag att processleda arbetet i EVAA-projektet och tillhandahålla analys, värdering av systemlösningar och scenarios som syftar till beslutsstöd inför val av energi-, vatten-, avlopp- och avfallssystem inom H+ området. I det arbetet bidrar Dan-Eric Archer (Emulsionen Ekonomisk Förening) med en studie för att utvärdera olika tekniska systemlösningar för hållbar användning av BDT-vatten.

Syfte

Rapporten utvärderar käraktäristik för BDT-vatten samt vilka system som är lämpade för BDT-vattenrening i kombination med separata svartvattensystem med avseende på de mål om resurseffektiva städer och hållbar urban livsstil som beskrivs inom EVAA-projektet. Systemen skall vara anpassade efter EVAA:s mål att erhålla lösningar som ökar återkopplingen för brukare i H+ området.

Målgrupper

Stadsplanerare och kommunala VA-grupper anses särskilt berörda av de lösningar som kommer att föreslås inom studien. Studien ska vara anpassad efter H+ området men kan tjäna som förebild för planering av nya systemlösningar i kombination med svartvattensystem.

Begränsningar

Studien avgränsas såtillvida att den inte ämnar vara en översikt över alla tänkbara tekniker utan fokuseras på de som är relevanta för H+ området.

Genomförande

Studien genomfördes i form av litteraturstudier, egna beräkningar och intervjuer fördelat på 165 arbetstimmar under augusti och september 2012.

Studien kommer att vara ett komplement till den fördjupningsstudie som nyligen startats upp inom EVAA-projektet i samarbete med VA-Teknik på LTH, i vilken man ska utvärdera hållbarheten med separerade system för svartvatten och matavfall från hushåll i syfte att öka energiproduktionen.

Studien undersöker förutsättningar och lösningar för att uppnå de mål om hållbara, resurssnåla urbana miljöer med ökad personlig återkoppling för invånare och andra brukare som EVAA efterfrågar till stadsförnyelseprojektet H+. Fokus läggs på möjlighet att omhänderta och behandla BDT-vatten vid en separation från svartvatten och hushållsmatavfall från eventuella framtida systemlösningar.

Introduktion

Avloppsvatten ifrån olika delar av hemmet har olika innehåll och karaktär. Genom att separera de olika fraktionernas flöden går det att uppnå en högre effektivitet avseende på energi och andra kostnader och en större nytta med avseende på kretsloppsanpassning och biogasproduktion samt minskad negativ miljöpåverkan. Enklaste uppdelningen är svartvatten från toaletterna, och BDT-vatten (eller gråvatten) ifrån övriga hushållet. Generellt kan man säga att BDT-vatten har betydligt större volym men lägre koncentration av de flesta ämnen, jämfört med svartvatten. Ytterligare uppdelning av svartvatten är i urin som innehåller stor andel av växtnäringsämnen och är relativt rent ifrån patogener, samt fekalier som innehåller stor andel fasta organiska föreningar och hög halt patogener.

BDT-vatten kommer främst ifrån följande punktkällor i hemmet:

Köksvask; komposterbart hushållsavfall, fetter och oljor, salt, syntetiska smakämnen, konserveringsmedel, näringsämnen, jord, matrester, rester av bekämpningsmedel, diskmedel, tvål, andra rengöringsmedel.

Diskmaskin; fetter och oljor, salt, syntetiska smakämnen, konserveringsmedel, näringsämnen, jord, matrester, diskmedel, tvål, andra rengöringsmedel.

*Tvättmaskin;*hår, jord, tvättmedel, mjukmedel, tvål, salt, blekmedel, fetter och oljor, parfymer, textilfibrer, hår och hud rester, urin och avföring.

Dusch/badkar/handfat; tvål, rengöringsmedel, hårfärgningsmedel, tandkräm, hår och hud rester, jord, urin och avföring.

Det går att göra ytterligare uppdelning av BDT-vatten: Lätt BDT-vatten innehåller lägre halt COD och består av vatten från tvättmaskin, dusch, badkar och handfat. Tungt BDT-vatten kommer ifrån köksvask och diskmaskin och har högre koncentration COD.

I de fall där köksavfallskvarn (KAK) används (LTH och Urban Water 'scenario 3') försvinner köksvaskens andel i BDT-vatten, kanske inte diskmaskinvattnet men definitivt handdisk, eftersom det blir opraktiskt att växla till ett annat rör då KAK används. Den här avloppsfraktionen, vi kan kalla den för BT-vatten (diskmaskinen kommer dock troligtvis anslutas till BDT-vatten fraktionen), har mindre volym och något förändrad sammansättning jämfört med vanligt BDT-vatten.

Decentraliserad behandling av BDT-vatten, vanligtvis för återvinning som spolvatten, förkommer i många länder där färskvatten är en bristvara. Ett exempel ifrån Israel för återanvändning som spolvatten kan se ut som följer [1]:

1. Fine screen (FS)
2. Equalisation basin (EB)
3. Rotating biological contactor (RBC)
4. Sedimentation basin (SB)
5. Sand filtration (SF)
6. Disinfection

Den här metoden för BDT-vattenbehandling har en rad begränsningar; hög energianvändning, utrustning (dyrt), kräver stort utrymme, ingen biogas produktion, inte anpassat för återvinning av näringsämnen. Det finns även exempel där BDT-vatten, till och med svartvatten, återställs till dricksvatten kvalité. Då finns typiskt behandlings metoder aktivt kol, ultra- eller mikrofiltrering (UF, MF) samt alltid omvänd osmos (RO) som avslutande processteg vilket innebär ännu högre energianvändning.

Förväntade flöden med variationer

Volym

Svenska hushåll förbrukar cirka 150 liter BDT-vatten per person och dygn enligt gällande schablonvärden från Naturvårdsverket, [2]. Det överensstämmer med statistik från Svenskt Vatten [3]. Dock så har senare undersökningar på BDT-vattenflödet uppmätt lägre värden, 104 och 108 liter per boende och dygn i Ekoporten [4] respektive i Tuggelite [2]. I en enkätundersökning från år 2000 där ett tiotal hushåll medverkat uppges BDT-vatteförbrukningen vara knappa 90 liter BDT-vatten per person och dygn [5]. En låg BDT-vattenförbrukning, endast 66,4 liter per person och dygn, har också uppmätts i Vibyåsen [6]. Den här utredningen kommer anta värdet 100 liter per dygn som föreslås som nytt designvärde för Sverige i en relativt ny och omfattande studie, [7]. 100 liter är volymen BTD-vatten från hemmet. Man antar i [7] att ytterligare 30 % genereras per person och dag utanför hemmet.

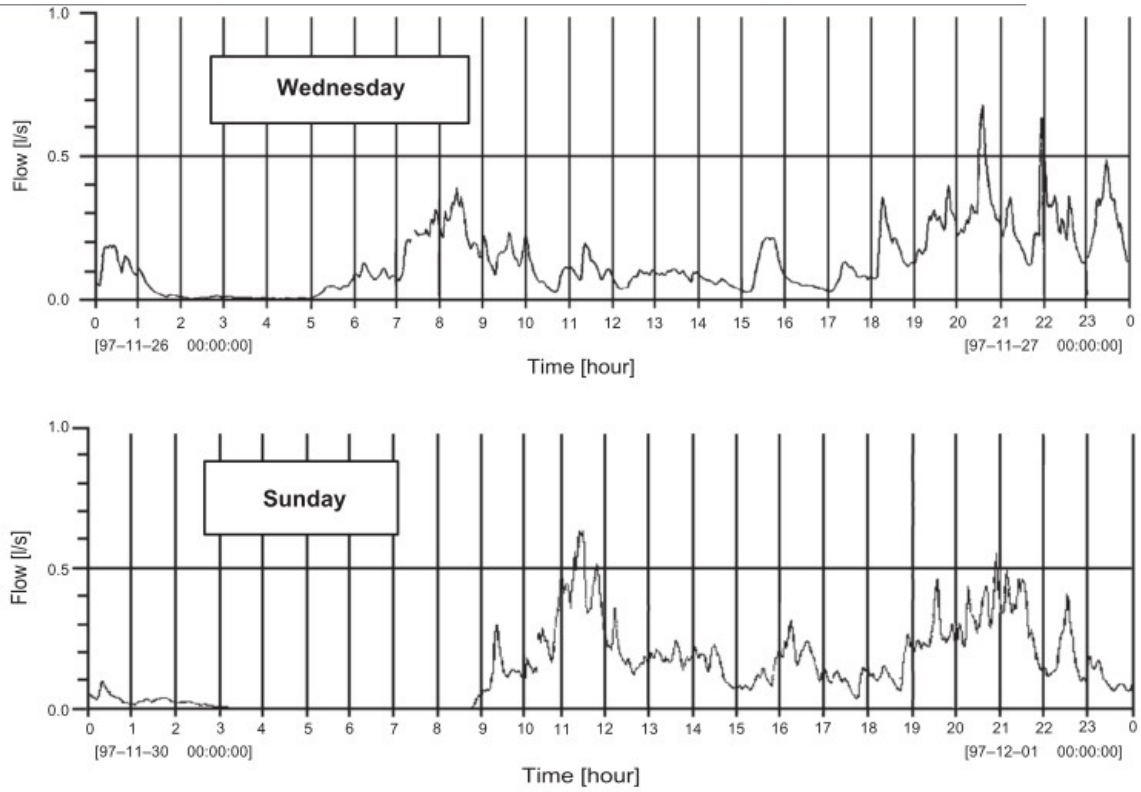

Fig. 4. Variations of the greywater flow at Vibyasen North in November 1997. Observed accumulated flows were 11.5 m^3 on the Wednesday (1997-11-25), corresponding to 68 L/p,d, and 12 m^3 on the Sunday (1997-11-30), corresponding to 71 L/p,d, for the 169 residents (B. Gutfelt, personal comm.).

Variationer i volym

Variationer i flödet över dagen en normal vecko- samt helgdag visas i figur ovan, [8]. Man kan se att det maximala flödet, är 4,5 gånger högre än genomsnittet. Om dygnet delas upp i en högflödesperiod, 40 % av tiden och främst kvällar och helger, samt en lågflödesperiod, 60 % av tiden, fann man medelvärden på 5,3 respektive 1,1 liter per timme. Genomsnittligt flöde var i den här studien 66 liter per person och dag varför värden bör multipliceras med en faktor 1,5 om de ska motsvara designvärdet 100 liter per person och dygn vilket man bör dimensionera efter. Hög- och lågflöde blir därmed 8 respektive 1,7 liter per timme. Nödvändig buffertkapacitet för att tillse ett jämnt flöde genom ett avloppsbehandlingssystem blir därmed 37 liter per person.

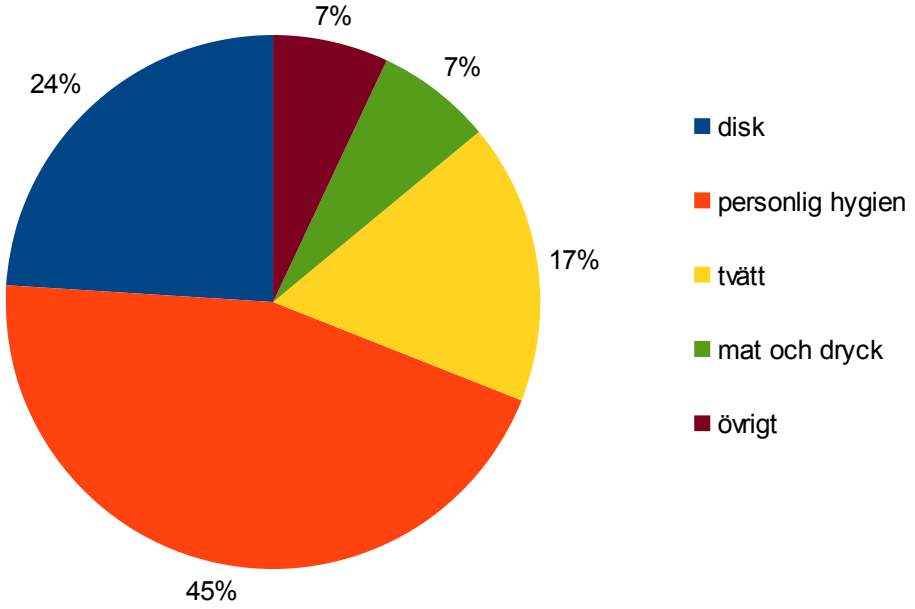

Illustration 1: BDT-vattenvolym uppdelat på källor i hemmet kan fördelas på följande aktiviteter: Personlig hygien 45 %, disk 24 %, tvätt 17 %, mat och dryck 7 %, övrigt 7 %, [9][3].

Variationer i innehåll

BDT-vatten karaktäristik har studerats vid två platser i Holland, Groeningen och Sneek med stora skillnader i resultat. Groeningen hade avsevärt högre volym av BDT-vatten samtidigt som koncentrationen av COD samt oönskade metaller och andra ämnen var lägre. I Sneek var halten bor och aluminium högre än gränsvärdena för vad som får användas som bevattning. Biologisk nedbrytbarhet var lägre i Sneek, kanske på grund av inhiberande ämnen, [9].

I de studier som gjorts i Sverige varierar BDT-vatten karaktäristik en hel del:

Total volym	66 till 133 liter per person och dag
COD	35 till 70 gram per person och dag
N	0,75 till 1,7 gram per person och dag
P	0,3 till 2,2 gram per person och dag

Höga värden för fosfor kommer ifrån äldre studier som gjordes innan policys om fosfatfria tvättmedel infördes. Vad gäller föroreningar så har nya byggnader ofta lägre halter av vissa skadliga ämnen än gamla på grund av att vissa miljöfarliga byggmaterial fasats ut.

BT-vatten

BT-vatten definieras i den här rapporten som BDT-vatten minus vattenflöde som går ut genom köksvasken för de scenarion där avfallskvarn används och leder den fraktionen till särskild separat behandling eller samrötning med svartvatten. BT-vatten har givetvis något lägre volym än BDT-vatten och också något lägre halt COD eftersom vatten som spolas ut i köket har hög COD halt jämfört med övrigt BDT-vatten. Vatten från tvättmaskin ingår i BT-vatten och spolas alltså inte ut med vatten och avfall ifrån avfallskvarnen.

Växtnäringsinnehåll

Ämne	kg/m3	kg/år pe	kg/år
N	0,0137	0,5	5500
P	0,0052	0,19	2090
K	0,01	0,365	4015
S	0,016	0,584	6424
Ämne	**mg/m3**	**mg/år pe**	**kg/år**
Mn	36	1314	14
Se	0,2	7,3	0,0803
Fe	2	73	0,803
Cu	68	2500	28
B	55	2004	22
Zn	100	3650	40

Tabell 1: Makro- och mikronäringsämnen i BDT-vatten

Makronäringsämnena är kväve, fosfor, kalium och svavel behövs för jordbruk och tillsätts som gödsel. Även mikronäringsämnen är viktiga, mangan, selen, järn, koppar, bor, klor, molybden och zink. I konventionellt jordbruk tillförs makronäringsämnena med mineralgödsel. Vid ekologiskt jordbruk är mineralgödsel förbjudet och biogödsel används istället. I det långa perspektivet bör näringsämnen ingå i ett slutet kretslopp, från jordbruksmark, livsmedel, människa, avlopp, hygienisering och tillbaka till jordbruket. Växtnäringsämnen på fel plats orsakar problem, exempelvis vill man undvika utsläpp till sjöar och hav där de orsakar övergödning.

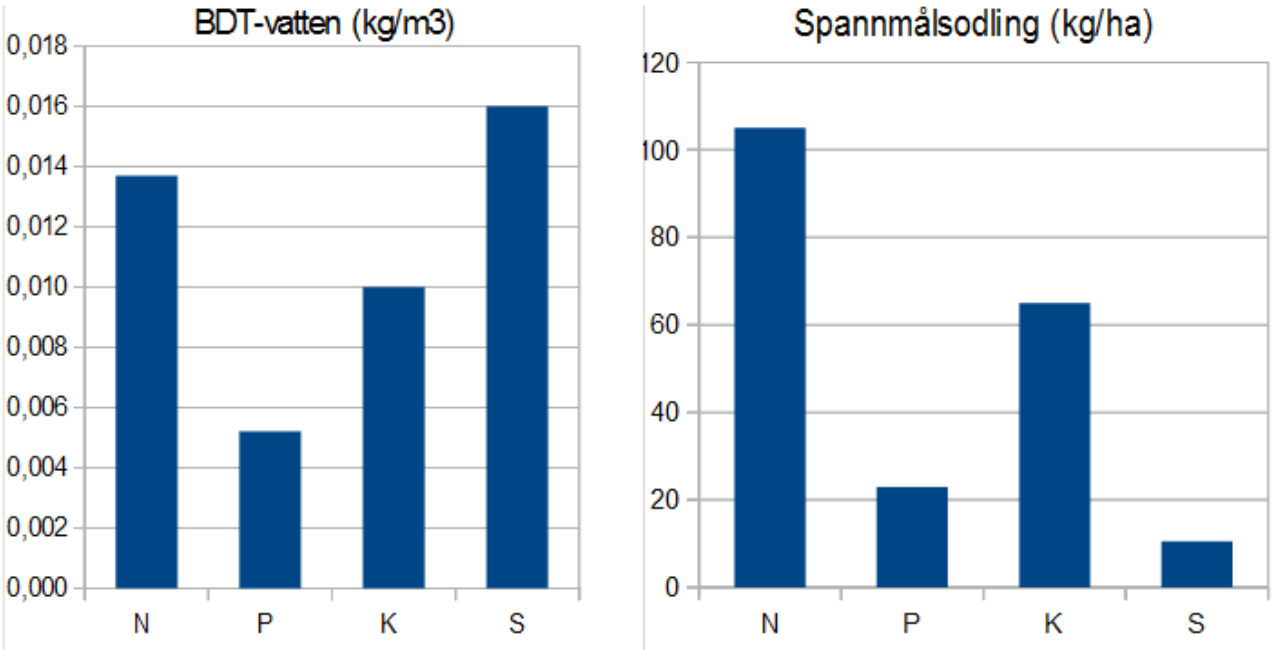

Illustration 2: Jämförelse näringsinnehåll av makronärningämnen i BDT-vatten respektive rekomenderad näringsgiva för spannmålsodlingar i Sverige.

Värden på växtnäringsinnehåll i BDT-vatten varierar lite mellan olika undersökningar. I den här utredningen kommer designvärden från en sammanställande rapport ifrån 2005 [7] att användas.

Kväve förekommer som ett antal olika föreningar del i organiska ämnen som till exempel proteiner (aminosyror) samt i mindre molekyler som urea, ammonium, nitrat eller nitrit. Svavel finns inte med bland de föreslagna designvärdena därför används här ett värde som uppmätts av två andra studier, [10]. I BDT-vatten är innehållet av kväve något lågt relativt de övriga näringämnena varför det är lämpligt att använda för odling av kvävebindande växter.

Svavelhalten i BDT-vatten är ca 10 gånger högre än vad som vore proportionerligt jämt emot andra näringsämnen för att motsvara gödningsbehovet vid spannmålsodling. Svavlet kommet ifrån främst olika typer av anjoniska tensider, den vanligaste gruppen tensid i BDT-vatten; linjära alkylbensensulfonater (LAS), laurylsulfat, dialkyl-sulfosuccinat och lignosulfonater. Även tensider med både anjoniska och katjoniska dislokationer som sulfobetainer, [11]. Lämpligt vore att utforska metoder att fälla ut eller på något sätt reducera mängden slavel för att ett kretsloppsanpassat system baserat på näringsupptag av växter. Att minska mängden svavel som vid källan är givetvis möjligt men svårt eftersom till och med produkter med miljömärkning innehåller svavelhaltiga ämnen.

Till mikronäringämnen räknas ofta mangan, järn, koppar, bor, klor, molybden och zink. De är också essentiella för växterna men i så små kvantiteter att de sälla behöver tillföras. Vid bevattning med BDT-vatten tillsätts även dessa men risken kan vara större att de tillsätts i för stor kvantitet vilket då får en negativ effekt på växtligheten.

Föroreningar

Till föroreningar räknas här ämnen som på något sätt är eller kan vara skadliga för levande organismer då de sprids i mark, luft eller vatten. Växtnäringsämnen som kväve och fosfor är också föroreningar, mycket allvarliga sådana, då de är på fel plats i fel koncentration. De är dock även en resurs och har behandlats i kapitel *Växtnäringsinnehåll*. De flesta data om föroreningar i BDT-vatten kommer ifrån en studie i Vibyåsen år 2001 [8] vilken är en bra källa till ytterligare information på ämnet om så önskas.

Metaller

Det finns ett antal mineral som inte är önskvärda i gödningen. BDT-vatten är den avloppsfraktion a som innehåller den största halten föroreningar i form av metaller. De kommer från damm, utlakning från metallinnehållande material som bestick, kastruller, metallknappar, blixtlås, textilfärger, tandamalgam, ledningar, maskiner med mera. De finns också i hushållskemikalier och byggmaterial, [10] [7]. Höga halter av bly hamnade i vår miljö under perioden då det tillsattes i bensin för att motverka knackning i våra motorer. Via vatten och damm kommer det in i byggnader och därmed BDT-vatten. Halterna sjunker nu stadigt och troligtvis är det främst i gamla byggnader dessa fortfarande är höga. Koppar i BDT-vatten kommer främst ifrån vatten och avloppsrör, återigen främst i gamla byggnader som höga halter av dessa återfinns.

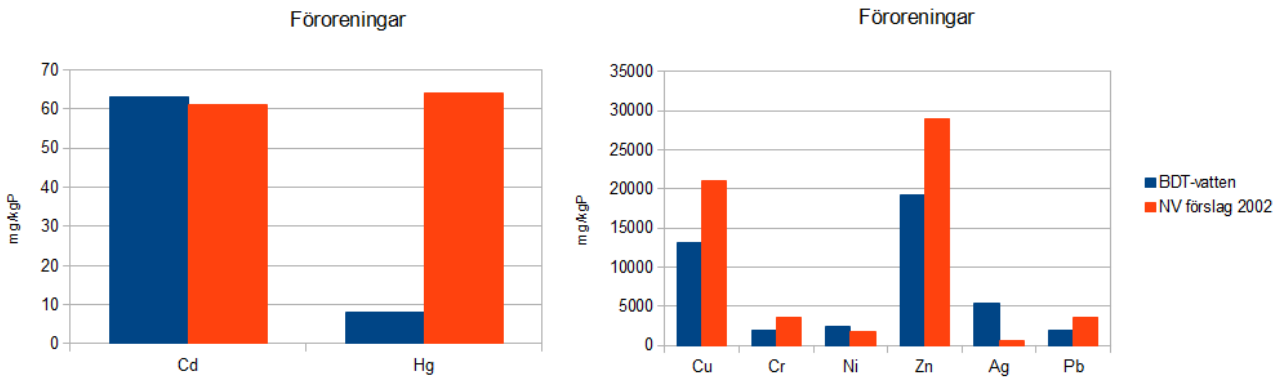

Illustration 3: Jämförelse metallföroreningar i BDT-vatten och tillåtna halter enligt naturvårdsverket, notera särskilt den höga halten silver.

I tabell nedan listas metallföroreningar förväntade i BDT-vatten i Sverige, förväntad flöde per år och person ekvivalent (pe) samt förväntat flöde från ett H+ område med 11 000 invånare baserat på halter uppmätta i Vibyåsen, [8].

Ämne	mg/m3	mg/år pe	kg/år
Pb	10	365	4,015
Cd	0,329	12	0,132
Hg	0,041	1,5	0,0165
Cu	68,5	2500	27,5
Cr	10	365	4,015
Ni	12,3	450	4,95
Zn	100	3650	40,15
Ca	28,3	1033	11,4
Fe	2	73	0,803
Mg	5	183	2,01
Na	51	1862	20,5
Ag	0,29	10,6	0,116
Al	920	33580	369
B	54,9	2004	22,0

forts på nästa sida.

Ämne	mg/m3	mg/år pe	kg/år
Bi		<2	<0,022
Co	0,44	16,06	0,177
Mn	36	1314	14,454
Mo	1,2	43,8	0,4818
Pd		<1	<0,011
Pt	0,016	0,584	0,0064
Rh		<0,5	<0,0055
Sb	0,21	7,67	0,084
Se	0,2	7,3	0,080
Sn	1,8	65,7	0,723
Sr	67	2446	26,9
Te	0,021	0,7665	0,0084
W	0,009	3,285	0,0361

Tabell 2: Uppmätta halter för tungmetaller i BDT-vatten i Sverige

Organiska föroreningar

BDT-vatten från hushåll innehåller också ett stort antal organiska ämnen varav vissa kan antas vara riskämnen, t.ex. bromerade flamskyddsmedel, tennorganiska ämnen, nonylfenol m.fl., finns inte många uppgifter i litteraturen. För att öka kunskapen om vilka av avloppsvattnets föroreningar som kommer från hushållsspillvattnet utfördes 2001 en studie i bostadsområdet Vibyåsen i Sollentuna. Förutom de vanliga avloppsparametrarna och metallanalyserna utfördes en undersökning av organiska ämnen och andra riskämnen i gråvatten och svartvatten. Av de 105 för försöket utvalda föreningarna hittades 71 i det BDT-vatten som undersöktes, [8]. PCB'er kunde inte detekteras i varken svart- eller BDT-vatten. Nedan förjer en genomgång av de som räknas till de mest relevanta vad gäller toxicitet i uppmätt koncentration, [3].

Särskilt intressanta substanser

Polyaromatiska kolväten, PAH, är en grupp ämnen som man bland annat finner i stenkol och petroleum. Det kan bildas vid förbränning av organiskt material. De består av minst tre sammankopplade aromatiska ringar som ofta avger en stark lukt. Exponering för material som innehåller PAH kan medföra en ökad risk för cancer. Ftalater används som mjukgörare i polymerer (plaster) och tros vara en källa till cancer och hormonstörningar. Organiska tennföreningar har använts som gift med bred biocidverkan i bland annat träskyddsmedel och textilier, [12].

Alkylfenoletoxilater är en grupp kemiska föreningar som tidigare använts som tensider i bilvårdsprodukter och olika rengöringsmedel. Alkylfenoletoxilaterna bryts förhållandevis lätt ned i naturen och bildar då alkylfenoler (t.ex. nonylfenol, oktylfenol) som nedbrytningsprodukt. Alkylfenolerna är svårnedbrytbara och bioackumuleras i miljön och är giftiga för vattenlevande organismer och kan orsaka skadliga långtidseffekter i miljön, [13].

Bromerade flamskyddsmedel (hit hör hexa- och tetraBDE från tabell nedan) tillsätts i produkter som kan vara brandfarliga, såsom plaster, textiler och elektronisk utrustning. De är vanliga i lättillgängliga material till exempel möbler i offentlig miljö, hemelektronik och värmeisolering i byggnader. Avsikten med flamskyddsmedel är att ge skydd under en produkts hela livscykel, vilket resulterat i att flera av dem är svårnedbrytbara. Det är inte helt klarlagt hur stor påverkan de här ämnerna har på människan, det finns resultat som tyder på att de är skadliga för foster och spädbarn, [14].

Triklosan har använts i ett flertal hygienprodukter som deodoranter, tvål, tandkräm och rengöringsmedel men på senare år har antalet produktgrupper minskat. Triklosan har på grund av sin bakteriedödande egenskap även använts i skor, sportkläder och disksvampar. Det finns studier som tyder på att ämnet orsakar förhöjd risk för cancer och sterilitet.

Ftalater (DEHP, DBP, BBP, DINP, DNOP och DIDP) används som mjukgörare i PVC-plast i byggmaterial, elektriska kablar, förpackningar, leksaker med mera. De används även i färg, gummiprodukter, lim och textilier.

Polyfluorerande kemikalier (PFOS, PFOA) finns i arbetskläder, sportkläder, skor, impregneringsmedel, golvpolish och släckskum.

Substans	mg/m3	mg/år pe	kg/år
PAH	0,298	7,2	0,0792
Di(2-etylhexyl)ftalat	57,7	1396	15,4
triclosan	3,43	83	0,913
tributyl tin (TBT)	0,248	6	0,066
4-nonylphenol	3,80	92	1,012
4-oktylphenol	0,107	2,6	0,0286
hexaBDE	0,0037	0,09	0,00099
tetraBDE	0,124	3	0,033

Tabell 3: Urval av uppmätta organiska föroreningar i BDT-vatten vid Vibyåsen i september 2001

Patogener

Skadliga bakterier, virus och andra patogener finns främst i fekalier och alltså inte i BDT-vatten men halten är ofta inte så obetydlig att den kan ignoreras. Många system för BDT-vattenåtervinning innehåller behandlingssteg som syftar till att minska mängden patogener. Det bedöms vara oklart om exempelvis UV-behandling för destruktion av patogener verkligens behövs för BDT-vatten. Alternativa behandlingsmetoder såsom infiltration genom växtbäddar har sannolikt en effekt på halten patogener, men den är i dagsläget inte klarlagt. Mer forskning behövs på området.

Biogaspotential

Mängd COD per person och dag i BDT-vatten varierar mellan olika undersökningar, mellan ca 35-70 gram per person och dag. Den här utredningen kommer utgå från en mängd av 52 gCOD per person och dag föreslås som designvärde i [7] vilket är ca 45 % av COD i allt avlopp totalt och 25 % av COD i avlopp plus matavfall. Det här kan jämföras med totalt inflöde av COD till Öresundsverket idag som är 182 g per person och dag. Teoretiskt maximal metan produktion från BDT-vatten från hushåll är därmed ca 4,7 kg eller 73 kWh per person och år. Metaniseringen av COD vid Öresundsverket är idag ca 18 % vilket innebär att BDT-vatten sannolikt bidrar med ca 13 kWh metan per person och år. Det är dock inte alls klarlagt hur stor andel av de COD källor som främst finns i BDT-vatten, tensider och tvålämnen, bryts ner anaerobt vid Öresundsverket och bidrar till biogas produktionen.

COD är ett mått på hur mycket syre som krävs för att oxidera organiska ämnen i vattenlösningar. COD för metan självt är 0,25 kgCH4/kgCOD eftersom det vid fullständig förbränning av en mol eller 16 gram CH4 går åt två mol eller 64 gram O2. Det finns dock ett antal faktorer som drar ner värdet. Bakterietillväxten som möjliggör metanproduktionen konsumerar själv en del COD genom sig egen biomassa. Den här förlusten ligger vanligtvis på mellan 4 % och 10 %. Sulfat som ofta återfinns i substrat reduceras av en särskild typ av mikroorganismer till SH2 på bekostnad av COD. Det finns ett antal övriga ämnen som kan oxidera COD på bekostnad av CH4 produktion, [15]. I litteraturen används oftast värdet 0,35 Nm3 CH4 per kgCOD som motsvarar teoretiskt maximalt biogas utbyte omräknat till volymsenhet vid 1 bar och 0° C.

Biologisk nedbrytbarhet av COD i BDT-vatten till metan är relativt hög, ca 76 %, vilket visats i utrötningesförsök, [16] Anjoniska surfaktanter (tensider) har låg anaerob nedbrytbarhet, 35 %. Katjoniska och nonjoniska surfaktanter visade relativt god anaerob nedbrytbarhet, 71 % respektive 80 %, [17]. Man har i laboratorieskala utvärderat fyra olika behandlingstekniker för BDT-vatten med målsättningen att en lämplig metod för decentraliserad avloppsbehandling som prioriterar biogas produktion:

1. UASB (anaerob) med 12 timmar HRT gav 51 % nedbrytning av COD. Det relativt låga värdet berodde troligtvis främst på att anjoniska tensider inte bryts ner effektivt i anaerob miljö samt att den stora andelen vattenlösta (kolloida) partiklar i BDT-vatten passerar snabbt igenom en UASB, låg SRT/HRT-ratio. Metaniseringsgraden var 31 % vilken innebär ca 5,6 liter metan per person och dag [13] [1].
2. SBR (aerob) med 12 timmar HRT resulterade i 90 % nedbrytning av COD [13] [1].
3. UASB med 5 timmar HRT plus SBR med 7 timmar HRT kombinationen gav 89 % nedbrytning av COD med en metaniseringsgrad av 25 % vilket motsvarar 4,5 liter metan per person och dag.
4. Bioflocculation MBR eftersom BDT-vatten innehåller en relativt stor andel kolloider och lösta ämnen, ca 50 % som därmed får en kort SRT vid behandling i UASB. Flockning och sedimentering skapar ett ”BDT-vattenkoncentrat” som då kräver en mindre rötkammarvolym på grund av högre andel suspenderad COD och högre total koncentration COD. Försök visade att en SRT på 1 dygn samt HRT på 1,2 timmar gav ett koncentrat med 10x högre CODsusp och oförändrad CODcol, [18][19].

Även om utrötningsförsök visat 76 % nedbrytbarhet av COD till metan så är det en stor utmaning att konstruera en kontinuerlig, driftsäker process som når såpass hög nedbrytning till rimlig investeringskostnad. UASB är en effektiv reaktortyp men eftersom stor del av COD finns som lösta ämnen blir HRT/SRT ration låg och därmed också metaniseringen. Omkring 30 % av COD i BDT-vatten är tensider och större delen av dessa är anjoniska, de mest svårnedbrytbara tensiderna, [9]. Det finns dock anjoniska tensider med relativt god biologisk nedbrytbarhet, något som är ett krav enligt miljömärkningen Bra Miljöval, [20]. Ett rimligt mål för konstruktion av anaerob rötare av BDT-vatten vore 40 % metanisering vilket i så fall motsvarar 80 kWh per år och person.

Uppströms arbete

Det bästa sättet att hantera föroreningar är att se till att de aldrig släpps ut. De flesta oönskade ämnen kan reduceras kraftigt utan någon större inverkan på vardagen. Svenskt vattens har tagit fram vissa rekommendationer för hur utsläppen kan minskas vid källan vilka bör kommuniceras till boende i ett framtida H+ område:

1. Försök att köpa miljömärkta textilier, bygg- och elektronikvaror samt smink och hygienprodukter. Titta efter Bra Miljöval och EU-blomman.
2. Köp inte tandkräm eller deodorant som innehåller triclosan.
3. Köp inte kläder, schampo, kylskåp eller disk- och tvättmaskin som innehåller antibakteriella kemikalier eller silver.

4. Fråga efter allväderskläder och skor som inte innehåller polyfluorerade impregneringsmedel.
5. Dammsug ordentligt. Det minskar påverkan av bromerade flamskyddsmedel, ftalater och polyfluorerade föreningar via inandningsluften, och mängden miljögifter som spolas ut med skurvattnet.
6. Lämna elektronik och allt annat farligt avfall till återvinning.
7. Häll inte ut färgrester, kemikalier, lösningsmedel eller läkemedel i avloppet.

Ett sätt att minska mängden skadliga ämnen är alltså att endast använda hushållskemikalier med certifierad märkning. Bra Miljöval, Svanen och EU-Blomman, är typ I-märkningar enligt ISO:s definitioner. Det finns på förhand uppsatta kriterier och tredjepartsgranskning.

Bra Miljöval från Naturskyddsföreningen är en certifiering med höga krav. Det är enkelt att på Naturskyddsföreningens hemsida finna detaljerade regler för vilka typer av kemikalier som inte tillåts för hushållsprodukter som främst hamnar i BDT-vatten. Till exempel definieras att: ”Tensiden ska vara anaerobt nedbrytbar till 60% enligt ISO 11734 eller motsvarande test.” vilket är lämpligt då anaerob behandling av BDT-vatten ska ske, [20].

Miljömärkningen Svanen samt EU Ecolabel ägs av Miljömärkning Sverige AB, ett företag som ägs av Sveriges Standardiseringsråd och staten. Verksamheten styrs av bolagsordningen och ett aktieägaravtal, har inget ekonomiskt vinstsyfte och finansieras dels genom en avgift från de företag som har miljömärkningslicenser, dels genom ett statligt bidrag. Bolaget återrapporterar till konsumentminister Birgitta Ohlsson. EU Ecolabel används endast marginellt i svensk handel. Svanen är vanligare och inom vissa produktgrupper är upp till 90 % av produkterna på marknaden märkta, till exempel tvättmedel. För vissa produktgrupper existerar inte märkningen alls, till exempel mjukmedel.

Behandlingsmetoder

Det finns ett antal möjliga lösningar för BDT-vatten behandling och användning som kan implementeras i ett framtida H+ område. Genom att jämföra alternativa processer med en referens, behandling på samma sätt som resterande delar av Helsingborg idag, kan en uppfattning om de olika lösningarnas för- och nackdelar skapas. De organiska föroreningar som finns i BDT-vatten kan reduceras med ozon, lämpligtvis efter COD reducerande behandlingssteg.

Återvinningssystem för BDT-vatten på marknaden idag

Konventionell lokal rening avser ett system för lokal återvinning av BDT-vatten som kan köpas på marknaden idag. Nubian Water Systems är ett företag i Australien med som har installerat ca 300 anläggningar för BDT-vatten och har angivits som ett företag i framkant inom branschen, [21].

Illustration 4: GT600 ifrån Nubian Water System som behandlar en kubikmeter per dag vilket motsvarar drygt 100 personer.

Produkten GT600 behandlar upp till en kubikmeter lätt BDT-vatten (vatten ifrån dusch och tvättmaskin) per dag. Processtegen är en ventilerad buffert tank för sedimentering, biofilter med luftning och avslutningsvis UV desinfektion. Energianvändningen är ca 1 kWh per m3 behandlat vatten, där främst luftning men även UV lampa främst står för el-förbrukningen. Systemet är ganska kompakt, behöver golvarea på 2,4 gånger 0,5 meter och 1,9 meter fri höjd. Man har inte upplevt problem med lukt och tror det är tack vare luftning i buffert tank samt hög COD reduktion i biofilter. Det är vanligt att kunder använder utflödet för bevattning, de uppmuntras då att inte använda ett antal hushållskemikalier. Ungefär 3 % av vattenflödet används för intern rening och spolas ner i det vanliga avloppet. Renat vatten för tvättmaskin, toalettspolning eller bevattning av trädgård.

Ozon

Behandling med O3 är en teknologi som kan utnyttjas för att minimera halten organiska föroreningar. Den är mest effektiv som efterbehandling då COD reducerats så att förluster i form av oxidation av harmlösa organiska ämnen minimeras. Tillsats av 15 mg O3 per liter vatten (i förbehandlat BDT-vatten med redan låg halt COD) har vid studie i Holland visat att de flesta oönskade substanser minskas till under mätbar nivå, [22]. Enligt företag i branschen åtgår det 22,3 kWh elektricitet per kg ozon vid tillverkning vilket betyder 0,33 kWh per m3 behandlat vatten, [23].

Ultraviolett ljus

Även om mängden patogener i BDT-vatten är låg jämfört med svartvatten så är den inte obetydlig och det rekommenderas ofta att åtgärder vidtas för att minska den. Behandling med UV-ljus är relativt effektivt för minskning

av mängden patogener i vatten. Energianvändningen är mellan 0,03 och 0,15 kWh per m3 behandlat vatten för att nå under 200 troligen koliforma bakterier per 100 ml, [24]. Som riktvärde kommer 0,1 kWh per m3 behandlat vatten användas i den här studien.

Filter

Mekaniska filter indelas i olika kategorier beroende på vilken största storlek av partiklar de släpper igenom. Finare filter kräver högre tryck för att pressa igenom vätskan, och därmed större energianvändning, [25].

- Mikrofiltrering (MF) avlägsnar suspenderade partiklar ner till mycket liten storlek, vissa kolloider och de flesta bakterier.
- Ultra filtrering (UF) avlägsnar organiska ämnen med minst 1000 u molekylärvikt, virus, bakterier, virus och de flesta kolloider.
- Omvänd osmos (RO) avlägsnar organiska ämnen med minst 100 u molekylärvikt samt joner.

	kWh/m3	partikelstorlek
MF	0,026	0,8 – 2,0
UF	0,18	0,005 – 0,2
RO	1,35 – 4,6	0,001 – 0,0001

Tabell 4: Energianvändning samt största partikelstorlek som filter släpper igenom

UF och RO används oftast för vatten som redan är relativt rent eftersom filtren lätt kan sättas igen. Det finns dock en studie som visar att direkt UF behandling av BDT-vatten faktiskt kan vara ett realistiskt alternativ, [26]. Kemisk sammansättning hos BDT-vatten som passerat UF filter med avseende på bland annat näringsinnehåll behöver undersökas för att bestämma om det är en lämpligt för bevattning och eventuellt därefter återvinning som spolvatten. Eftersom suspenderade partiklar och de flesta kolloider avlägsnas med UF, den metod som bedöms som mest lämplig, antas att större del av COD avlägsnas. Antagna värden för beräkningar i Scenario 2 är att 95 % COD avlägsnas med 10 % av volymen BDT-vatten i UF.

Biofilter

Membrane biofilter (MBR) eller på svenska, biofilter, är en behandlingsmetod som förekommer bland många vattenreningsanläggningar och även vanligt bland de som är specialiserade för BDT-vatten. Det är i princip en MBR som ingår i BDT-vattenreningsanläggningen ifrån Nubian Water Systerms och även den teknik som rekommenderats av forskargruppen vid Universitet i Wageningen som ett första behandlingssteg för BDT-vatten. Tekniken är dock relativt energiintensiv, det är främst luftningen av membran och den aeroba processen som drar energi. En modern MBR har en energianvändning på 0,55 – 1,7 kWh per behandlad kubikmeter vatten, [27]. Energianvändningen beror givetvis på styrkan (koncentrationen) hos vattnet. Rapporten som hänvisas till här handlar främst om behandling av blandat avloppsvatten som sannolikt ger högre energianvändning än en MBR anpassad för BDT-vatten, å andra sidan behandlade rapporten större anläggningar som sannolikt har lägre specifik energianvändning är små. Värdena är ganska överensstämmande med anläggningen från Nubian Water Systems vilket tyder på att det rimligtvis ligger där omkring.

Omrörning	9%
Pumpning	14%
Luftning membran	34%
Luftning Bioprocess	42%
Övrigt	1%

Tabell 5: Intern fördelning energianvändning MBR

Till skillnad mot UF så sker en betydande (aerob-) nedbrytning i en MBR, vilket är positivt om slammet inte ska behandlas så mycket mer efteråt då COD och vissa organiska föroreningar oskadliggörs. Om slam/koncentrat däremot ska användas som substrat i anaerob process så kan förlust av COD innan rötkammaren vara negativt för biogaspotentialen.

Återanvändning av BDT-vatten för tvätt och spolning

Om BDT-vatten återanvänds så sker en besparing i form av energianvändning för produktion och distribution av dricksvatten samt behandling på reningsverket men det sker på bekostnad av energianvändning för lokalt reningssystem och fjärrvärme och biogas producerad vid det ordinarie reningsverket. Möjliga användning av återvunnet BDT-vatten avses vara värden enligt nedan vilka kan jämföras med den totala BDT-vattenanvändningen på 100 liter per dygn och pe, [28]:

- Normalspolande toa 30 liter per dygn och pe
- Snålspolande toa 14 liter per dygn och pe
- Vacuum toa 6 liter per dygn och pe
- Tvättmaskin 20 liter per dygn och pe
- Diskmaskin 5 liter per dygn och pe

Eftersom det sannolikt inte är aktuellt med lokal rening till dricksvattenstandard är maximalt behov av återvunnet BDT-vatten således endast drygt hälften av flödet om normalspolande toalett används.

		El-besparing dricksvatten	Värmeförlust fjärrvärme	El-besparing värmepump	Bortfall biogas	El-besparing reningsverk
Normalspolande toa	kWh/år pe	24,5	163	51	10,9	14,4
Snålspolande	kWh/år pe	11,4	76	23,8	5,1	6,72
Vacuum	kWh/år pe	4,9	33	10,2	2,2	2,88
Tvättmaskin	kWh/år pe	16,3	109	34	7,3	9,6
Diskmaskin	kWh/år pe	4,1	27	8,5	1,8	2,4

Tabell 6: Följder på energianvändning ur systemperspektiv om vatten i hushållet ersätts med återvunnet BDT-vatten i Helsingborg kontext.

UASB och liknande rötare

Biogasreaktorer som går ut på att åstadkomma en hög SRT/HRT ratio genom ett uppströms flöde där fasta partiklar hålls kvar på grund av att de är sjunker fungerar inte tillfredsställande på grund av att BDT-vatten innehåller hög andel COD i form av lösta ämnen som inte sedimenterar. De här omfattar UASB, EGSB och UASB septic tank. Det finns dock många andra typer av avlopp de är effektiva både vad gäller kostnader och energianvändning, [28].

Bevattning

Att använda BDT-vatten, direkt eller MBR alternativt UF behandlat, för bevattning lokalt vid fastigheten kan ge fördelar i form av återkoppling om vikten av att inte spola ner olämpliga ämnen samt om hur näringsämnen återvinns. Svenskt klimat gör dock så att växter inte tar upp vatten och näring under de kallare månaderna. Ett sätt att förlänga odlingssäsongen är att anlägga växthus, gärna i anslutning till fastigheter så att varm frånluft kan användas. Även solljus är nödvändigt för att växter ska ta upp näring varför även LED belysning är nödvändigt om odling som vattenrening ska fungera året runt. Alternativt kan bufferttankar användas så att bevattning inte sker under vintermånaderna, det blir dock snabbt orimligt stora volymer för lite större fastigheter. Odlingars storlek bör anpassas till innehåll av näringsämnen i vatten som ska renas, annars kommer vattnet innehålla för höga halter kväve och fosfor än vad som är önskvärt i tvättvatten och som orsakar övergödning vid utsläpp i Öresund. Bevattningssystem kan konstrueras med eller utan uppsamling av vatten efter att de passerat växternas rötter, om uppsamling ska ske kan det vara lämpligt att anlägga växtbäddar i en blandning av sand och träkol som förenklar näringsupptag. Det finns även exempel där näring tas upp av växter i så kallad hydrokultur, odling direkt i vatten. Direkt bevattning, utan exempelvis MBR eller UF innan, kommer kräva stora ytor, ca 50 kvadratmeter med samma intensitet (protein-uttag, växtnäringsämnen finns främst i aminosyror) som en svensk spannmålsodling. Förbehandling med MBR och UF avlägsnar en hel del föroreningar i form av organiska ämnen och patogener som inte är önskvärda i bevattning. Bevattningssystem kan dock utformas som inflitrationsbäddar där BDT-vatten tillsätts i perforerade rör inne i sand/kol blandningen som gör att föroreningar hinner brytas ner innan de människor kan bli exponerade.

Scenarion

Genom att sätta samman två exempel för lokal återvinning av BDT-vatten kan för- och nackdelar i någon mån åskådliggöras. Det bör dock poängteras att det här bara är en ytlig jämförelse av tre system med stora förenkling. Behandlingsmetod för scenario 1 har valts för ätt det är vad som uppfattats vara det bästa som kan köpas som ett färdigt paket på marknaden idag. Scenario 2 skulle kräva visst utvecklingsarbete, även om ingående komponenter har provats för ändamålet. Eftersom studien på svartvatten från LTH innefattar fem stycken scenarion så skulle dessa teoretiskt kunna kombinerats till tio olika sammansatta scenarion vilket här anses som överflödigt. Här har scenarion 1 kombinerats med LTH-scenario 3 eller 4 (vilken av dem har ingen inverkan på resultatet) och scenario 2 med LTH-scenario 5 för att de uppfattas ligga på liknande nivå vad gäller marknadsmässig mognad.

Referenssystem

Allt avlopp går genom ordinarie avloppssystem för behandling i Öresundsverket. Där använder reningsprocessen 62,4 kWh elektricitet per år och personekvivalent (pe). Med avloppsvatten som värmekälla förser värmepumpar fjärrvärmenätet med 5,4 kWh värme vid ca 90ºC per kubikmeter inkommande vatten varav 1,7 kWh kommer ifrån värmepumparnas egna el-förbrukning (COP=3,2). Reningsverkets biogasproduktion ifrån slamrötning allokerat till en person uppgår till 0,045 kg metan per kg inkommande COD vilket motsvarar 18 % metanisering.

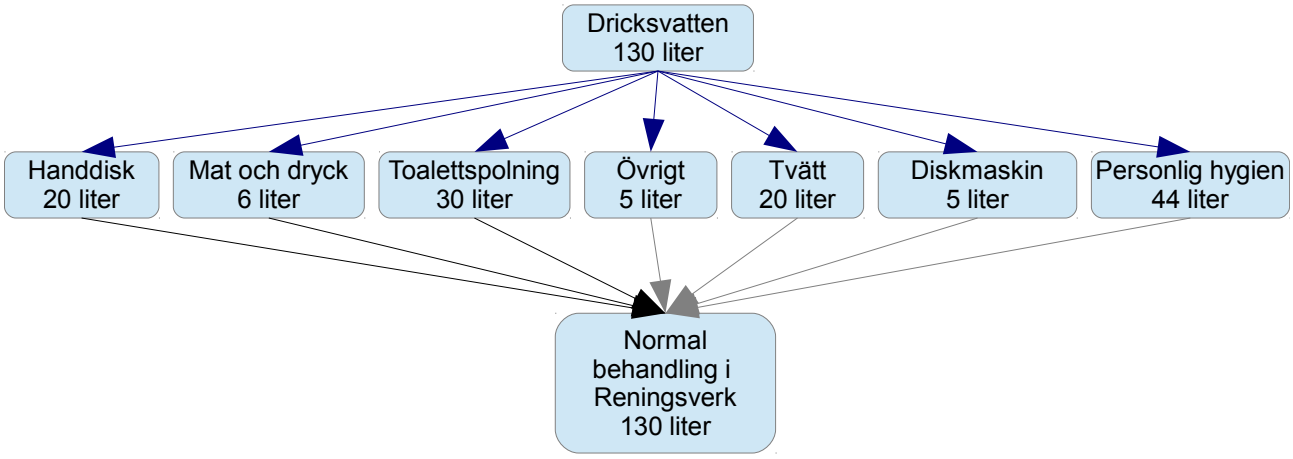

Illustration 5: Nuvarande system för avlopp, flöden i liter per dygn och person.

Dricksvatten som kommer in till hushållen för användning som BDT-vatten kräver 0,82 kWh elektricitet per kubikmeter för pumpning från Sydvattens anläggningar, Örbyverket samt distribution ut till invånare i Helsingborg. En personekvivalents användning av BDT-vatten bedför då en sammanlagd energibelastning på 139 kWh elektricitet per år men ger också energitillskott i form av 19 kWh biogas samt 197 kWh fjärrvärme. I exergi räknat är då den nettoexergianvändningen 81 kWh. Omräknat med primärenergifaktorer blir det här en förlust på 179 kWh för hela systemet.

Scenario 1 – Konventionell BT-vattenrening, spolvatten, tvätt, disk.

Ett system som skulle vara relativt enkelt att implementera är vattenreningsutrustning som finns på marknaden (motsvarande Nubian Water Systems) renar BT-vatten lokalt i varje fastighet med energianvändningen 1 kWh per m3.

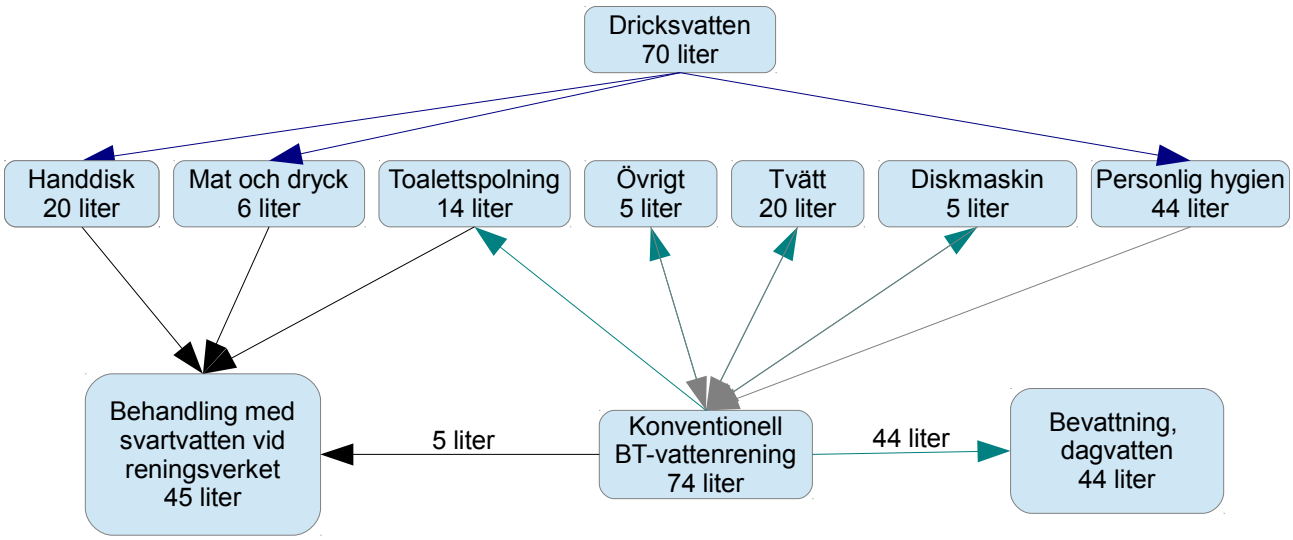

Illustration 6: Volymetriska flöden för scenario 1, liter per person och dygn

Som bakgrund implementeras scenario 3 eller 4 från svartvatten utredningen ifrån LTH här, det vill säga matavfall, svartvatten och koncentrat av BT-vatten samrötas i separat rötkammare vid reningsverket som ger något högre metaniseringsgrad än nuvarande system. Ett antagande är att den här processen använder lika mycket elektrisk energi som det vanliga avloppsbehandlingen vid reningsverket per volymenhets. Snålspolande WC finns i hushållen som använder i snitt 14 liter återvunnet BT-vatten per dag och pe. Tvättmaskin körs på återvunnet BT-vatten och använder 20 liter per dag och pe liksom diskmaskinen som använder 5 liter per dag och pe. BT-vattenvolymen är ca 74 liter per dag varav 5 liter från den lokala anläggningens interna rening avgår tillsammans med svartvatten. Det här innebär att 70 liter per dygn då kommer konsumeras i dricksvatten Ur samma systemperspektiv som angivits för referenssystemet så blir energianvändningen 105 kWh elektricitet per år och person samtidigt produceras biogas med värmevärde på 66 kWh per år och person.

Scenario 2 – UF, UV, bevattning med uppsamling, spolvatten, tvätt, disk.

En lite mer innovativ men obeprövad lösning som ändå vore tänkbar är att behandla BT-vatten lokalt med direkt UF, där koncentrat behandlas med svartvatten, och UV ljus för att sedan användas som bevattning i inglasade växtbäddar i anslutning till bostäderna. Växtbäddar består av plantor med stort näringsbehov i lådor innehållande sand och träkol. Växtbäddar bör vara placerade i serie så att vatten kan passera flera rotsystem. Det är även möjligt att till viss del använda hydrokultur, plantor som växer direkt i vatten, kan exempelvis hänga innanför en inglasad vägg. Dimensioneringen är sådan att vatten är mycket rent efteråt och kan användas för handdisk. Det har antagits att hela den processen användandet 0,4 kWh per m3 behandlat vatten.

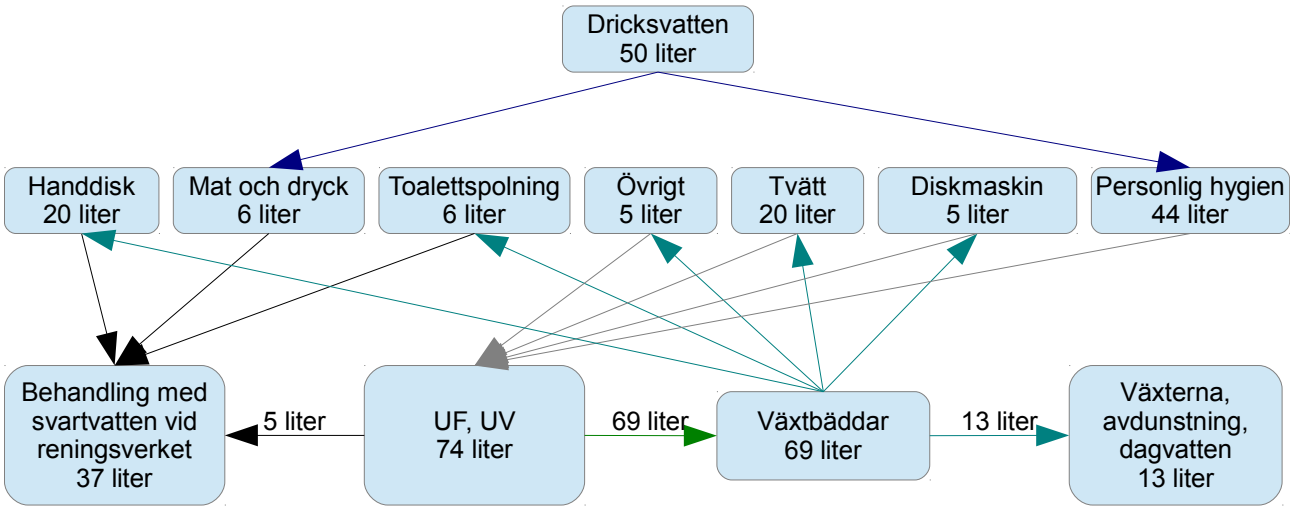

Illustration 7: Volymetriska flöden för scenario 2, liter per person och dygn

Som bakgrund i det här scenariot implementeras scenario 5 ifrån LTH. Vakuumtoaletter med 6 liter vattenanvändning per person och dygn finns i hushållen. Matavfall, svartvatten och koncentrat av BT-vatten samrötas i UASB reningsverket som ger högre metaniseringsgrad än nuvarande system och scenario 1. Elektricitet för dricksvatten, lokal rening samt rening av svartvatten+matavfall+BT-vatten koncentrat, uppgår till 69 kWh per år och person. 97 kWh biogas per år och person produceras.

Resultat

Jämförelsen av de tre systemen visar att netto energin blir avsevärt lägre då BT-vatten behandlas lokalt eftersom värmepumparna vid reningsverket inte kan köras. Den energin är dock av låg kvalité och konsumerar en stor mängd elektricitet. Dessutom är det tänkbart att en lokal BT-vattenreningsanlägging i fastigheten gör att avloppsvatten lämnar ifrån sig lite mer av värmeenergin i huset och på så sätt bidrar med en liten mängd värme som inte räknats in här. För att implementera något av de system för lokal återanvändning av BDT-vatten som föreslagits är det nödvändigt att finna en metod som gör att svavelhalten kan reduceras i systemet. Möjligtvis genom utfällning med hjälp av järn.

		Elektricitet	Fjärrvärme	Biogas	Energi netto	Exergi	PEF
Referens	kWh/år pe	-390	707	57	374	-196	-458
Scenario 1	kWh/år pe	-105	0	66	-39	-44	-173
Scenario 2	kWh/år pe	-69	0	97	28	21	-106

Tabell 7: Jämförelse av tre system för avloppshantering med avsende på nettoenergi, exergi och PEF

Dagvatten

Det finns anledning att titta på möjligheter för behandling av BDT-vatten tillsammans med dagvatten. Troligt innehåll hos dagvatten i ett framtida H+ område har tagits fram med verktyg ifrån StormTac, [29].Antaganden som är indata till verktyget finns i tabell nedan.

Väg 5		5%
Väg 7		5%
Parkering		5%
Villaområde		15%
Radhusområde		15%
Flerfamiljshusområde		15%
Centrumområde		15%
Industriområde		15%
Parkmark		10%
Area	ha	100
Invånare	pe	11000
Nederbörd	m3/år	590000

Resultat visar att dagvatten har liknande karakteristik som BDT-vatten med lägre koncentrationer av de flesta ämnen, med undantag för exempelvis järn och zink vilka kommer ifrån oxiderande delar av exempelvis byggnader eller fordon. Observera att tabellen nedan har en logaritmisk skala på den vertikala axeln vilket innebär att en enhet lägre i diagrammet betyder 10 gånger lägre koncentration.

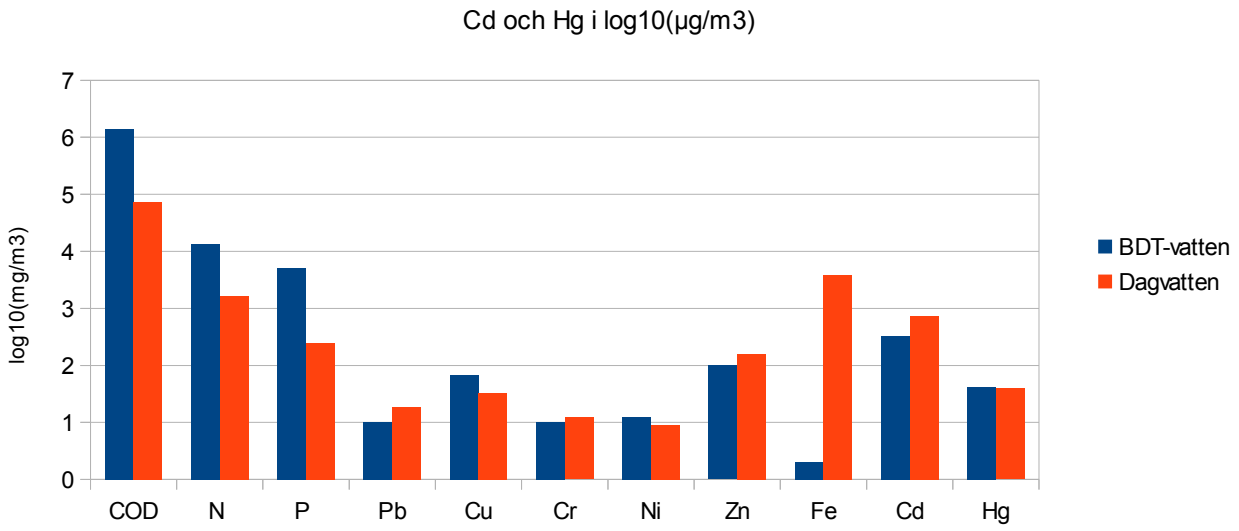

Illustration 8: Halter av ett urval ämnen samt COD i BDT-vatten jämfört med dagvatten (logaritmisk skala). Notera särskilt den höga halten järn i dagvatten, kommar sannolikt ifrån korroderande byggnader och fordon.

Diskussion

Kretslopp

Lokal behandling av BDT-vatten i växthus som producerar mat i anslutning till bostaden skulle ge en mycket direkt återkoppling om kretsloppet av näring och vatten. Det blir även ett incitament för minskad användning av miljöfärliga hushållskemikalier då dessa kan hamna i tomaten som växer utanför dörren.

För att förlänga odlingssäsongen kan man anlägga växthus eller klä in delar av fasad och lämpligen även tak med inglasade, lite specialanpassade, växtbäddar eller odlingsytor. Växthus genererar på sommaren stora mängder överskottsvärme vilken kan lagras i borrhål eller marknära lagringsmedium och till stor del återvinnas genom att höja värmepumpens COP (effektivitet) på vintern. Vidare så kan man i växthusen leda in CO2-rik (positivt för växtlighet) och varm (även om värmeväxling med tilluft sker så kommer den under vår/sommar/hös att vara varmare än utetemperaturen) frånluft ifrån fastigheten, som annars förloras ut i atmosfären. Om man dessutom bygger på ett sådant sätt att syd- och kanske även öst- och västfasader kläs in i växthus så minskar direkt läckage av värme ut ifrån byggnaderna. För att kunna värdera denna värme måste man jämföra med produktion (teknik) som idag finns på marginalen i Helsingborgs fjärrvärmesystem, sommar och vinter.

Lagring av värme/kyla i mark kan ske i borrhål med u-rör, vanliga för bergvärme, eller i konstruerad och isolerad termisk massa till exempel i form av stenmjöl. Borrhål har tyvärr ofta förmågan att förlora stor andel av inlagrad värme om det flödar grundvatten i eller nära hålet. Erfarenhet från anläggningar som lagrar in värme på sommaren visar att energibesparingen jämfört med uppvärmning med jämfört med fjärrvärme och fjärrkyla kan ligga på en faktor 7-8, [30].

Densitet stenmjöl ca 1 500 kg/m3, specifik värme kapacitet 0,8 kJ/kg K. Värmebehov för ett lägenhetshus med ganska bra isolering kan typiskt vara 60 kWh/m2 och år. Ett hus med 20 lägenheter på 50 m2 styck ger därmed ett värmebehov på 60 MWh (216 GJ). Om man antar att stenmjöl i värmelagret kan kylas från 21ºC på hösten till 10ºC på våren så krävs 25 000 ton eller 17 000 m3 stenmjöl.

Givetvis utformar man det så att visst avloppsvatten återvinns genom upptag av de inglasade odlingsytorna. Att avsätta både BDT- och svartvatten här är inte realistiskt, det krävs ca 500 m2 odlingsyta per person för att ta upp näringen, om mycket intensivt odlat. Men exempelvis BDT-vatten, som innehåller ca 10-20% av näringen i avloppsvattnet kan avsättas här. Kritiskt är givetvis att man kan säkerställa att olämpliga ämnen inte tas upp av och anrikas i odlade växter. Endast BDT-vattenfraktionen innehåller större mängd näringsämnen än vad som troligtvis är rimligt att återvinna i en urban miljö. Ett lägenhetshus med på 1000 m2 fördelat på fyra våningar (250 m2 bottenarea) med 25 boende skulle behöva odlingar på sex gånger bottenarean för att få avsättning för näringsämnen i BDT-vatten. Det beror givetvis på ambitionsnivån, inglasat tak och fasad (växthus) möjliggör länge säsong och intensivare odling så att arean möjligtvis kan halveras men det blir ju en radikal förändring av stadsmiljön, kanske positiv? Om lokal bio-flocculering [18] appliceras och koncentrat sänds till centraliserad rötning så återstår en effluent med lägre men okänt innehåll av näringsämnen som eventuellt vore lämpligt för lokal bevattning och därigenom näringsåtervinning, det här vore värt att utreda vidare.

Decentraliserad anaerob behandling producerar biogas som enklast används som bränsle för matlagning, ersätter då el och har likvärdig verkningsgrad, motsvarar 100 % el ur ett systemperspektiv kan man säga. Om flera hushåll sammankopplas, så att storleksordningen 100 m3 gas per dygn produceras kan man börja kolla på andra användningar. Gasnät i glesbefolkade områden är ju också ett alternativ, betydligt billigare och enklare än avloppsnät. Att producera el+värme verkar inte så ekonomiskt i jämförelse tycker jag, ger ju endast ca 30% el, 60% värme och 10 % förluster. Högre värde per kWh än el har ju fordonsbränsle, men uppgradering kräver ju då lite större volymer.

Perspektiv på energi

Det kan vara relevant att ställa de nivåer av energiintensitet som är aktuella för VA systemen i relation till övriga samhällets energianvändning. Genomsnittlige svensken konsumerar 7370 kWh el för bostad, service och transporter per år [30] som kan jämföras med elförbrukningen hos dricksvattenproduktion i Helsingborg på 59 kWh per år och pe samt reningsprocessen i Öresundsverket på 73 kWh per år och pe.

När det gäller sätt att väga olika former av energi mot varandra så använder den här studien exergi samt primärenergifaktorer, (PEF). Exergi är ett begrepp med stor spridning inom den akademiska världen som bygger på den totala mängden potentiellt arbete i ett system i en viss omgivning; en beteckning på energikvaliteten. PEF bygger på studier av hur mycket primärenergi som har krävts för framställning av energibäraren, där avfall multipliceras med en faktor mellan 0 och 1 beroende på andra möjliga användningsområden. I Sverige stor branschorganisationen Värmeforsk för definitioner på PEF.

	Energi	Exergi	PEF
Fjärrvärme Helsingborg 2010 (vatten 90C)	1	0,2	0,3
El (i nordisk elmix 2008)	1	1	1,74
El (i nordisk elmix 2030)	1	1	1,9
Biogas (från avlopp, 70% metan)	1	0,93	0,15

Tabell 8: Följande faktorer olika energibärare har använts i studien

Vägval för H+

Projektet H+ står inför ett stort och avgörande beslut; kan man slopa det konventionella avloppsnätet helt? Vakuumsystem för svartvatten och matavfall i kombination med lokal rening och återvinning av BDT-vatten gör ordinarie avloppsnät blir överflödigt och kan ersättas med en relativt liten diameter på rörledningar vilket minskar utrymmesbehov och sparar kostnader för underhåll, [31]. Lokal behandling och återvinning av BDT-vatten minskar förbrukning av dricksvatten, positivt för både resurs- och energianvändningen. Odlingsbäddar som del i reningsprocessen kan vidare ge god ekologisk återkoppling enligt definition i EVAA faktorn. Sammantaget kan man säga att det finns många och stora fördelar med att implementera lokal behandling och återvinning av BDT-vatten. Men, det finns flera osäkerheter i vad gäller konstruktion av den här typen av system. Eget teknikutvecklingsarbete kommer krävas och barnsjukdomar är då nästan garanterade. Särskilt finns det behov av vidare utredning om hur svavelhalten i BDT-vatten cykeln kan reduceras. Det är möjligt att svavel kan fällas ut genom tillsats av järnoxid. Direkt ultrafiltrering av BDT-vatten har provats i labbmiljö och det finns flera artiklar publicerade, dock så krävs mer arbete för att åstadkomma ett funktionellt system anpassat för lokala förhållanden. Exakt innehåll i ultrafiltrerat BDT-vatten har inte utretts i den här studien, särskillt intressant är att titta på växtnäringsinnehåll för att värdera hur givande det skulle vara med en efterbehandling i produktiv växtbädd. Något som skulle vara mycket intressant att utreda mer vore hur man i stor skala kan utnyttja inglasade byggnader (på ett funktionellt sätt, inte de vanligt förekommande inglasade fasader som orsakar mer problem än nytta) för att förlänga odlingssäsongen samt generera värme och behagliga levnadsutrymmen. Här är det särskilt utnyttjande av överskottsvärme på sommaren för lagring till vintern som är en nyckel. Att övertyga den av tradition konservativa byggbranschen att stödja den här typen av system kommer sannolikt också bli en stor utmaning.

Bakgrundinformation

Det planerade H+ området

Som bakgrund för beräkningar har följande data använts:

Yta:	100 ha, 1 km2
Antal lägenheter:	4 000 - 5 000 st
Antal boende:	11 000 st (9 500 mer än idag)
Verksamhetsyta:	35 % (35 ha)
Övrigt:	5-6 förskolor, 2 grundskolor, handel, service...

Öresundsverket

Informationen kommer ifrån verkets miljörapport samt intervju med personal från NSVA, [22].

Anslutna, medeldygn	pe	119450		
Volym, in	m3/år	18050000	m3/pe år	151
BOD7 in	kg/år	3052000	kg/pe år	26
COD in	kg/m3	0,441		
COD in	kg/år	7950000	kg/pe år	67
N-tot in	kg/år	624900	kg/pe år	5,23
P-tot in	kg/år	78800	kg/pe år	0,66
El-energi rening	kWh/m3	0,48		
El-energi rening	MWh/år	8676	kWh/år pe	73
Värmepump brutto	kWh/m3	5,44		
Värmepump brutto	MWh/år	98254	kWh/år pe	823
El-energi värmepump	kWh/m3	1,7		
El-energi värmepump	MWh/år	30700	kWh/år pe	257
Värmepump netto	kWh/m3	3,7		
Värmepump netto	MWh/år	67200	kWh/år pe	563
Slamproduktion	kg/år	12000000	kg/pe år	100
N-tot i slam	kg/år	162000	kg/pe år	1,36
P-tot i slam	kg/år	87700	kg/pe år	0,73
Biogasproduktion:				
Biogas volym ut	Nm3/år	720000	Nm3/år pe	6,03
Biogas massa ut	kg/år	518000	kg/år pe	4,30
Biogas energi ut	MWh/år	7990	kWh/år pe	67
Biogas kvalité ut	kgCH4/kgBiogas	0,7		
Anaerob nedbrytning	kgCH4/kgCOD	0,045		
Vatten ut:				
BOD7	kg/år	70200	kg/pe år	0,59
N-tot ut	kg/år	138600	kg/pe år	1,16
P-tot ut	kg/år	4140	kg/pe år	0,035
Flöde ut	m3/år	18000000	m3/pe år	151

Tabell 9: Relevanta bakgrundsdata ifrån Öresundsverket

Allokering

För att kunna jämföra effekten av relevanta flöden i Öresundsverket med förändringar som kan ske vid olika typer av implementeringar av BDT- och BT-vatten hantering i H+ området har allokering i tabell XX gjorts. Antaganden baseras på data för volym, COD och näringsämnen som visats för BDT-vatten i tidigare nämnda studier. El-förbrukning och värmepumpning har beräknats från volym och biogasproduktion ifrån COD hos BDT- respektive BT-vatten.

Volym in	m3/år	401500	m3/pe år	36,5
COD in	kg/år	209000	kg/pe år	19
N-tot in	kg/år	0,0137	kg/pe år	0,5
P-tot in	kg/år	0,0052	kg/pe år	0,19
El-energi rening	MWh/år	160,6	kWh/pe år	14,6
Värmepump brutto	MWh/år	2167	kWh/pe år	197
El-energi värmepump	MWh/år	682	kWh/pe år	62
Värmepump netto	MWh/år	1485	kWh/pe år	135
Biogas volym ut	Nm3/år	18900	m3/år pe	1,72
Biogas energi ut	MWh/år	210	kWh/pe år	19

Tabell 10: Data för Öresundsverket allokerade till BDT-vatten från det planerade H+ området

Fjärrvärme

Resursanvändning (primärenergifaktor)	0,20
Klimatpåverkan (förbränning)	28g CO2ekv/kWh
Klimatpåverkan (transport och produktion av bränslen)	10g CO2ekv/kWh
Andel fossila bränslen	9%

”Den tillförda energin till Helsingborgs fjärrvärme består idag till 25 % av spillvärme från industri, ca 50 % av pellets och briketter och till resterande del av värme ur avloppsvatten, rötgas och hjälpel till processerna. När Filbornaverket tas i drift vid årsskiftet kommer avfallsförbränningen att ersätta pelletseldningen till hälften ungefär. Det innebär i praktiken att på sommaren har vi spillvärme och avfallsförbränning. På vintern toppar vi med pelletseldning. Det finns även ett reservvärmeverk som kan eldas med gas och eldningsolja, men det används normalt sett inte utan är en säkerhet.” -Andreas Kertes, Öresundskraft.

Intressanta exempel

Folehaven, Danmark

Idag samlas regnvatten från tak och används till maskiner i en miljöanpassad tvättstuga. Från början hade man ett kretsloppssytem där tvättvatten renades genom ett antal steg som bland annat inkluderade växtbäddar. Det blev dock problem med svavellukt vilket gjorde att man lade ner detta system.

Sneek, Holland

Mycket intressant lokal återvinning av BTD-vatten med kombinerad anaerob-aerob process där koncentrat från BDT-vatten behandlas med svartvatten, [32]. Utförlig utvärdering av systemet kommer publiceras under 2013.

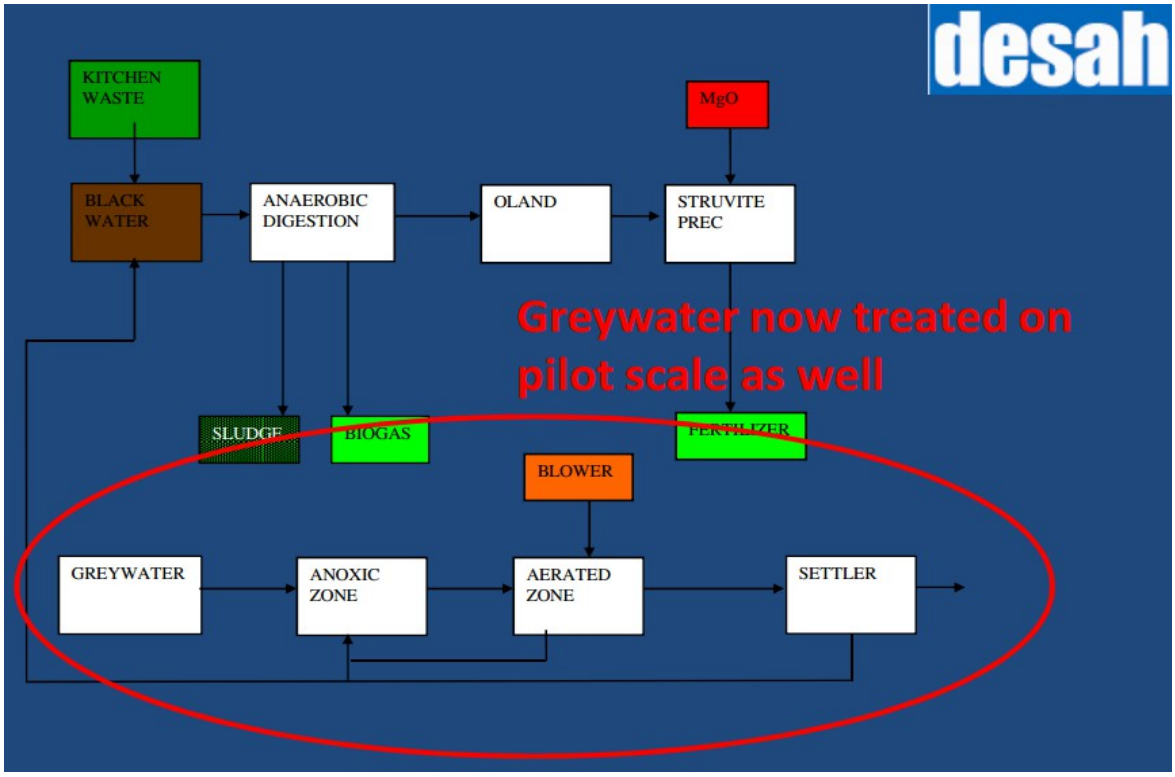

Illustration 9: Avloppsbehandling i Sneek

Villa Flora, Holland

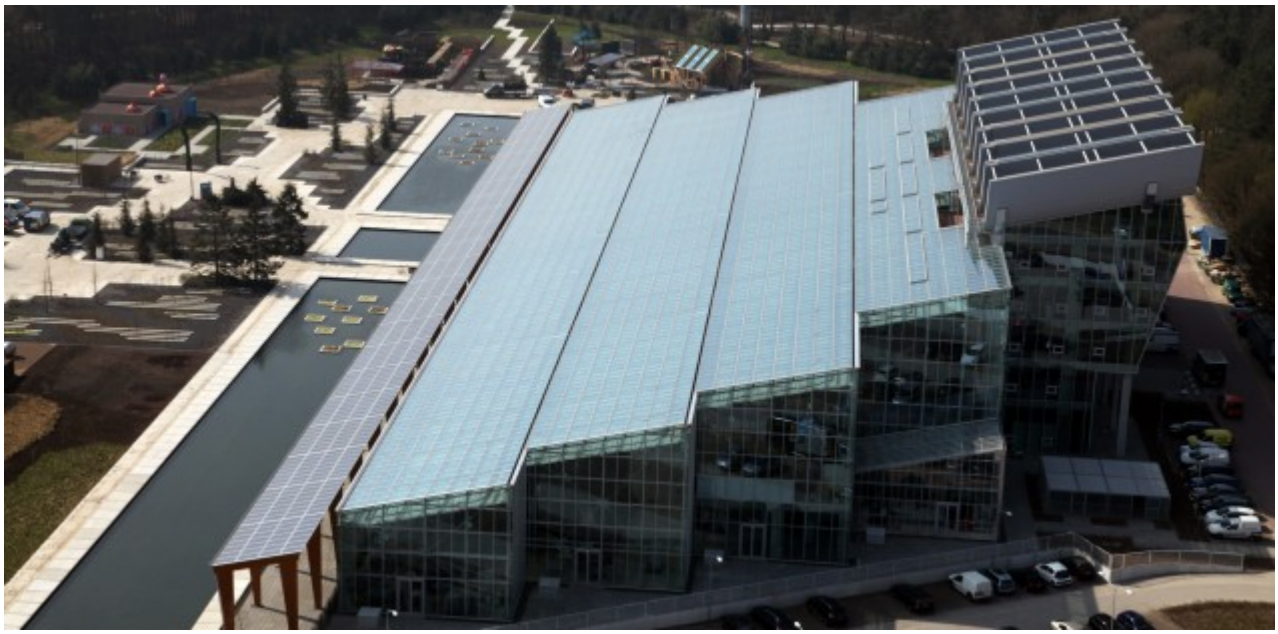

Illustration 10: Villa flora

Zonneterp är ett intressant som togs fram av en grupp holländska företag och organisationer för ett antal år sedan, [33]. Målsättningen är att maximera kretsloppet av alla resurser, värme, näringsämnen och vatten på ett decentraliserat vis. Mest karaktäristiskt är kanske att större delen av huset kläs in i glas, som ett växthus, där odlade växter tar upp näring och överskottsvärme tas upp för att lagras i marken. Ett hus byggt enligt principerna, Villa Flora, har nyligen färdigställts, [34].

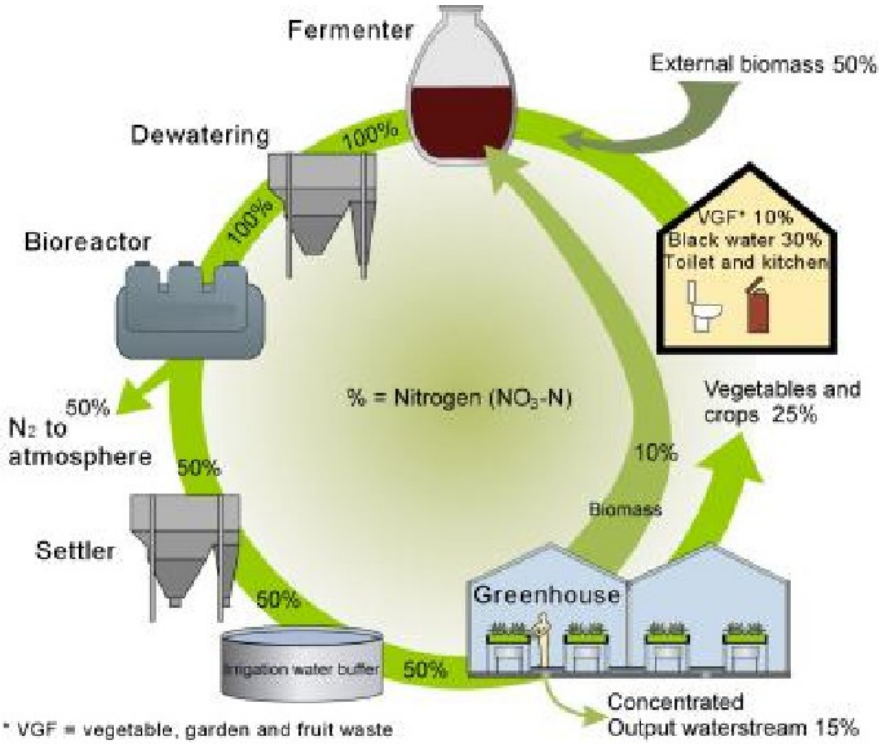

Illustration 11: Kvävecykel i Zonneterp konceptet

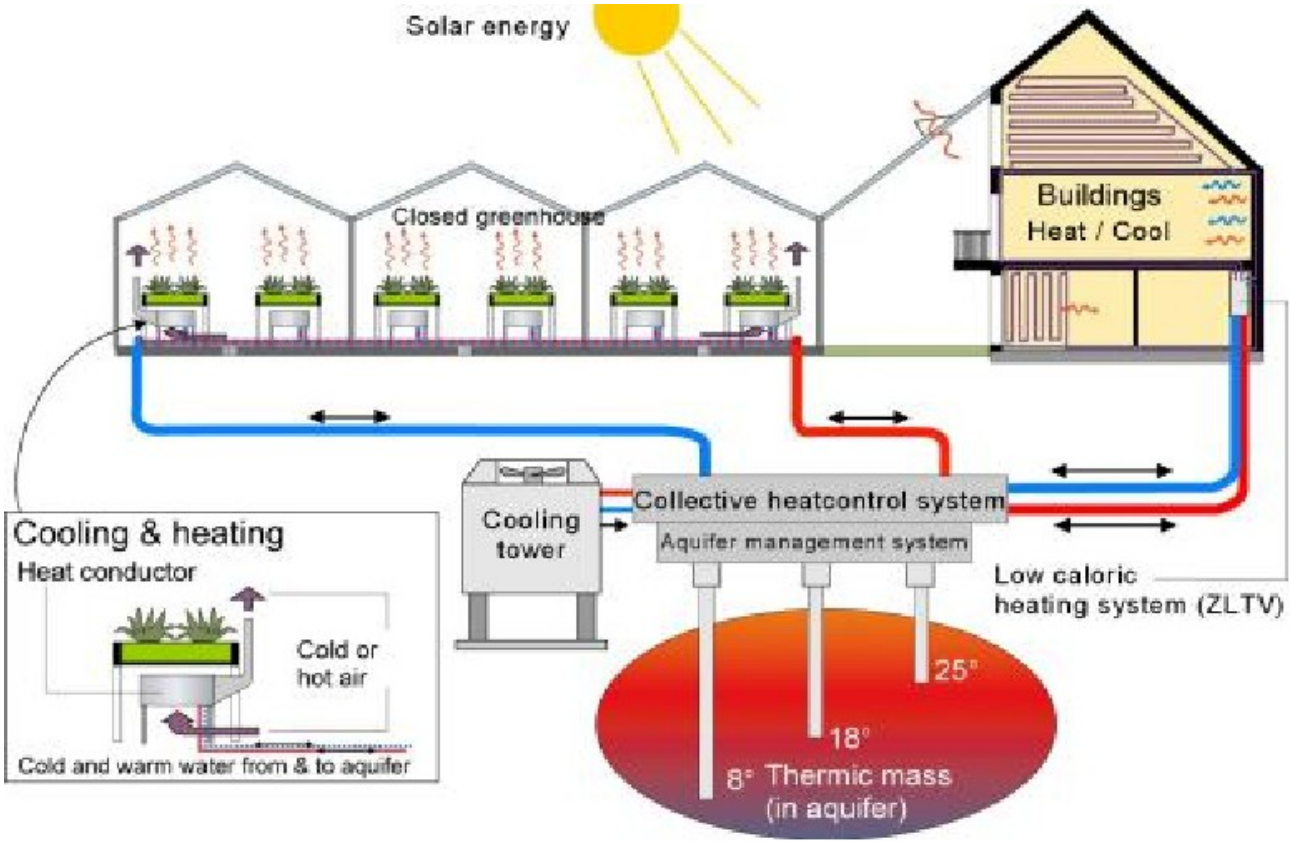

Illustration 12: Värmecykel i Zonneterp konceptet

Gröna väggar och tak

Byggnader har alltid väggar och tak som möjliggör lokalt näringsupptag även om utrymmet är begränsat. Det finns många exempel som kan tjäna som inspiration. Viktigt att komma ihåg att om ett grönt område ska fungera som en metod att ta upp näring ur BDT- eller annat avloppsvatten så måste odlingen på något sätt vara produktiv, biomassa måste tas tillvara på.

Illustration 13: Exempel på en produktiv takodling

Illustration 14: Concorcio, kontorsbyggnad, Santiago, Chile

Litteraturförteckning

1: Friedler, E. Kovalio, R. Galil N.I. (2005) On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings.

2: Naturvårdsverket (1995) Vad innehåller avlopp från hushåll?

3: Svenskt Vatten (2001) Fakta om vatten och avlopp

4: Weglin, J. Vinnerås, B. (2000) Avloppsvatten och fast organiskt avfall i hyreshuset Ekoporten

5: Elfström Broo, A. Berghult, B., Hedberg, T. (2000) Dricksvatten och korrosion – en handbok för vattenverken.

6: Palmquist, H. Viklander, M. (2002) Kartläggning av ovanliga metaller i olika delar avavloppsflöden.

7: Jönsson, H. Baky, A. Jeppsson, U. Hellström, D. Kärrman, E. (2005) Composition of urine, faeces, greywater and biowaste. Chalmers University of Technology.

8: Palmquist H. Hanæus, J. (2005) Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary8 Swedish households.

9: Hernández-Leal, L. Zeeman, G. Temmink. H. Buisman, C. J. N. (2007) Characterisation and biological treatment of greywater.

10: Andersson, Å. Jensen, A. (2002) Flöden och sammansättning på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers

11: Salager, J-L. (2002) Sufractants - types and uses

12: Cato, I. Magnusson, M. Granmo, Å. Borgegren, A. (2007) Organiska tennföreningar – ett hot mot livet i våra hav – sammansättning och flöde.

13: Andersson, Å. Sörme, L. (2004) Substansflödesanalys – av alkylfenoler och alkylfenoletoxilater i Stockholms stad 2004.

14: Julander, A. Georgellis, A. (2005) Bromerande Flamskyddsmedel.

15: Cohen, T. (2005) Letter to the Meth Panel of the UNFCCC.

16: Elmitwalli, T.A.; Otterpohl, R. (2007) Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor.

17: Hernandez-Leal, L. (2010) Removal of micropollutants from grey water.

18: Hernandez Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2010) Bioflocculation of grey water for improved energy recovery within decentralized sanitation concepts.

19: Akanyeti, I. Temmink, H. Remy, M. Zwijnenburg, A. (2010) Feasibility of bioflocculation in a high-loaded membrane bioreactor for improved energy recovery from sewage.

20: Naturskyddsföreningen. (2006) Bra Miljöval kriterier Kemiska Produkter

21: Nubian Water Systems (2012)

22: Hernández-Leal, L. Zeeman, G. Temmink. H. Buisman, C. J. N. (2011) Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants.

23: Spartan Environmental Technologies (2012) Ozone Generators Feed Gas Economics

24: Fittschen, I. Niemczynowicz, J. (1997) Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp, Sweden.

25: EPRI Community Environmental Center (1997) Membrane Technologies for Water and Wastewater Treatment

26: Nghiema, L.D. Oschmanna, N. Schäfer, A. I. (2005) Fouling in greywater recycling by direct ultrafiltration

27: Wallis-Lage, C.L. Levesque, S.D. (2007) Cost Effective & Energy Efficient MBR Systems

28: Hernandez Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. N. (2010) Comparison of Three Systems for Biological Greywater Treatment.

29: StormTac (2012) Schablonhalter för dagvatten och basflöde

30: Fahlén, P. Javed, S. (2010) Optimering av marklageranslutna värmepumpsystem för klimatisering av byggnader

31: Koetse, E. (2012) The implementation of DESAR concepts in two projects in Germany

32: Brendo Meulman (2011) Results of three years DeSaR

33: Zonneterp (2006) State Secretary Van Geel welcomes Zonneterp

34: Ocleo (2012) Villa Flora: the greenest building in the Netherlands