



Rapportserie

Nya Giron

Resurser inom VA-systemet

- En förstudie för Nya Giron

Jonathan Mattsson



RESURSER INOM VA-SYSTEMET

-förstudie för Nya GIRON

Jonathan Mattsson

Institutionen för Samhällsbyggnad och Naturresurser
Avdelningen för Arkitektur och Vatten
Forskningsämne VA-teknik

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	3
INTRODUKTION	4
VATTEN	5
Konstbevattning	5
Urban återanvändning.....	6
Dricksvatten.....	6
SOLITT MATERIAL	7
Näringsämnen.....	7
Kväve.....	7
Fosfor.....	7
Kalium	8
Kol	8
Metaller.....	8
Aluminium	8
Järn.....	8
ENERGI.....	9
Reningsverk.....	9
Rötning	9
Fjärrvärme/Fjärrkyla.....	9
Energiskog – bevattning med avloppsvatten	9
Mikrobiell bränslecell.....	10
Plasmaförångning	10
Anaerob reaktor	10
Algbränsle	11
Vattenkraft.....	12
Komplimenterande installationer.....	12
Decentraliserad VA.....	13
Vakuumsystem.....	13
Evapotranspirationssystem	13
Avloppsvärmeväxlare.....	14
Avfallskvarnar.....	14
DISKUSSIONSFRÅGOR	15
REFERENSER.....	16

INTRODUKTION

När vatten- och avloppssystemet byggdes ut i Sverige kring sekelskiftet var det en viktig del i strategin att förbättra folkhälsan. Stockholm hade år 1880 den högsta barnadödligheten jämfört med ett antal andra europeiska städer. På 1930-talet hade den sjunkit och var lägst jämfört med samma städer (Johansson 2001). Från att ha haft människan och hennes direkta omgivning i åtanke började man också reflektera över hur miljön kunde komma till skada och hur detta kunde motverkas. Man började i samband med detta tillämpa mer avancerade metoder i de reningsverk som fanns, biologisk rening tillkom på 50-talet och rening på kemikalisk väg på 70-talet. Vid denna tidpunkt började man också i högre utsträckning se människan som en del av någonting större, denna nutidsepok skulle man kunna kalla kretsloppsepoken. Målet inom denna epok är att minimera resursförbrukningen där det som används ska kunna återanvändas, återvinnas och returneras till naturen utan att den tar skada. Att återanvända vatten, solitt material samt energi från dricks- och avloppssektorn är någonting som görs i relativt liten utsträckning i dagens samhälle, och om samma sektor ska kunna aspirera på titeln ”kretsloppsanpassat” är ett systemskifte nära förestående.

Det är från en sådan bakgrund detta kompendium med fördel kan ses, här kommer de kretsloppsvänliga lösningarna för maximalt resursutnyttjande att tas upp och resonemang föras kring deras fördelar och nackdelar. Resurser som finns tillgängliga inom vatten- och avloppssystemen (VA-systemen) kan översiktligt indelas i 3 kategorier, vatten, solitt material samt energi. Här ska kategorin ”vatten” ses som vatten i sig självt, dvs. med användningsområde som exempelvis bevattning eller som nytt dricksvatten. Solitt material utgörs här av de ämnen som avloppsvattnet innehåller, framförallt kommer fokus att läggas på de näringsämnen som kan returneras till jordbruket som gödningsmedel men viss tid ägnas också till de metaller man använder sig av i reningsverken för att åstadkomma olika kemiska reaktioner. Energi utvinns idag inom VA-sektorn främst genom rötning, denna metod tas givetvis upp i kompendiet, men större utrymme ges till sådan teknik som inte är lika etablerad men kan ses som intressanta ur ett längre perspektiv. Tekniker som kan ses representera det sistnämnda är exempelvis algbränsle samt mikrobiella bränsleceller. Visst utrymme ägnas också åt mer decentraliserade lösningar såsom avloppsvärmeväxlare och avfallskvarnar. För projektet ”Nya GIRON” är detta ett första försök till en överblick över de befintliga teknikerna inom Vatten och Avlopp som har bäring på Tema 2 – Hållbar resursanvändning och kan ses som ett första steg att utröna inriktningen för vidare forskning.

Att utarbeta gemensamma lösningar för två eller flera av teknikerna som tas upp och behandlas i detta kompendium är något som görs i relativt liten utsträckning i detta kompendium, referenser görs på vissa ställen men avsikten är att detta mer ska ses som en grund för att i nästa steg utvecklas i än högre grad. Därför har en avslutande del givits namnet ”Diskussionsfrågor” där sådana problemformuleringar tas upp som knyter an till det aktuella projektet i Kiruna.

VATTEN

Renat avloppsvatten är en hittills relativt oanvänd resurs som har en rad tänkbara framtida applikationer, både i rurala och urbana områden. Faktorer som har hindrat den stora potentialen för återanvändning av vattnet är bland annat hygieniska, psykologiska och tekniska. Sektionen behandlar användning av vatten i egenskap av *sig självt*, en vidare diskussion förs i senare sektioner om vattnets innehåll ur ett resursperspektiv.

Konstbevattning

Behandlat avloppsvatten kan med fördel användas för konstgjord bevattning av jordbruksmark, golfbanor, parker eller grönområden. Här är det inte bara vattnet i sig självt som kan återanvändas utan även näringsämnen som vattnet bär på (se sektion *Näringsämnen*). Att bevattna jordbruksmark med renat avloppsvatten har gjorts länge, speciellt i länder med en utvecklad teknologisk standard och en akut vattenbrist kombinerat med ett intensivt jordbruk (exempelvis Israel och Sydafrika). Att utnyttja biologiskt renat avloppsvatten till bevattning har många fördelar:

- Det kemiska reningssteget i ett konventionellt reningsverk behöver inte användas under bevattningsperioden.
- Slamhanteringen blir under denna tid enklare för kommunen eftersom man inte får något kemiskt slam.
- Jordbruket blir oberoende av en gynnsam nederbörd. Vattentillskottet blir särskilt betydelsefullt i områden där vattenbrist råder.
- Växtnäringsämnen i avloppsvattnet gödslar jorden, vilket minskar behovet av konstgödsel.
- Avloppsvattnet skulle annars komma ut i sjöar och vattendrag och i många fall bidra till deras igenväxning.

(Socialstyrelsen 1982)

Att använda renat avloppsvatten på detta sätt är dock inte helt utan komplikationer. Hygieniska risker uppstår eftersom vattnet, trots viss rening, fortfarande innehåller skadliga komponenter såsom bakterier, virus och parasiter. Tungmetaller och gödningsämnen är exempel på annat innehåll som man bör vara extra försiktig med då det kan förorena grundvatten, ytvatten samt jordmån. Försiktighetsåtgärder som kan komma på fråga är att avleda vatten bort från bevattningsområdet om reningsverket är överbelastat, exempelvis på grund av regn. För att skydda allmänheten kan det vara lämpligt att utmärka det bevattnade området med skyltar som upplyser om smittrisker, eller i särskilt känsliga områden med staket. Ett framtidsmål för ett hållbart urbant vattensystem vore att sträva mot att separera olika vattencykler, för att på så sätt minska halten av skadliga ämnen. Ett tillvägagångssätt som ofta förespråkas är att separera det tekniska och det biologiska flödet (Johansson 2001). För all bevattning med renat avloppsvatten gäller generellt att hälsoriskerna blir mindre ju längre tid som förflyter mellan den senaste bevattningen och skörden av gröda. Störst risk från hälsosynpunkt föreligger vid bevattning av växter som är avsedda att ätas råa (Socialstyrelsen, 1982).

Urban återanvändning

Att ta tillvara renat avloppsvatten för att använda det inom landskapsplanering är ett relativt nytt fenomen som kan appliceras inom urbana miljöer. Parker, grönområden och nationalstadsparker skulle kunna göras attraktivare och mottagligare för biologisk mångfald genom att exempelvis anlägga artificiella bäckar, laguner eller våtmarker där man använder sig av det renade avloppsvattnet som källa. Dessa olika områden bidrar till ökade möjligheter för rekreation, friluftsliv, sportfiske, fågelskådning samt ger generellt en förbättrad landskapsbild. Ur reningssynpunkt kan våtmarker i denna form av applikation också fylla en reningsfunktion då de idag är relativt vanliga för efterbehandling av avloppsvatten.

En annan tänkbar applikation för renat avloppsvatten i urban miljö är att låta det gå tillbaka till hushållen där det kan återanvändas som nytt spolvatten. Något som har prövats i områden med liten vattentillgång är att använda gråvatten (från bad, dusch och tvätt) för att spola i toaletterna. Det hela bygger på att två ledningssystem används, ett för dricksvatten och ett där icke-drickbart vatten transporteras. Istället för att återanvända avloppsvatten för spolning har man bland annat i Hong Kong använt sig av havsvatten som har visat sig vara ett effektivt alternativ med goda framtidsutsikter (Li et al, 2009). I den urbana miljön skulle andra tänkbara applikationer för renat avloppsvatten vara som spolvatten för biltvätt eller för gatuhållning. Inom industrin skulle det också kunna tas tillvara som kylvatten eller inom samhällsbyggande för att blanda cement.

Dricksvatten

Att låta renat avloppsvatten gå vidare till ett uppsamlade vattenverk för att i sin tur förse en stad med dricksvatten är något som har gjorts i mycket liten utsträckning, detta är inte i normalfallet på grund av bristande rening utan snarare det psykologiskt problematiska för människor att dricka vad som en gång har varit avloppsvatten (Ödegaard, 2004). Lösningen har dock prövats i Windhoek i Namibia där Goreangab vattenverk blandar återvunnet avloppsvatten med vatten från andra källor (max 35 % utgör renat avloppsvatten) och förser på detta sätt 35 % av stadens dricksvattenbehov (Pisani, 2006).

Ett vanligare sätt att återanvända renat avloppsvatten för framställning av dricksvatten är att låta det nybilda grundvatten. Genom att pumpa det till närliggande akvifärer kan man på sådant sätt få det att genomgå den naturliga reningsprocess som förekommer när det perkolerar ned till upptagningszonen. I kustnära områden kan man genom att fylla på grundvatten på detta sätt motverka intrusion av saltvatten.

SOLITT MATERIAL

Hög potential för utvinning av resurser finns för de ämnen som avloppsvattnet består av. Avloppsvatten innehåller en stor mängd näringsämnen - främst i urin och fekalier som är rika på näringsämnen. Också stora mängder av kol finns tillgängligt vilket kan användas för att framställa biogas. I vattenverk tillsätts ofta metallföreningar av järn och aluminium för att sedan gå vidare till slammet utan återanvändning, dessa resurser borde gå att ta tillvara mer än en gång. Vidare innehåller det också sjukdomsframkallande bakterier, virus och parasiter vilka utgör en smittrisk samt svårbehandlade läkemedelsrester. Både smittrisen och läkemedelsresterna härstammar till största delen från urin och fekalier. Avloppsvattnet innehåller dessutom diverse tungmetaller, kemikalier från tvätt- och rengöringsmedel och andra kemikalier, så som färg och lösningsmedel som ofta spolas ut i avloppen.

Näringsämnen

Avloppsvatten innehåller betydande halter av näringsämnen, där de med störst potential för återanvändning är fosfor och kväve. Efter att slammet genomgått efterbehandling där det organiska materialet bryts ned och torkning där volymen minskas kraftigt då vatten tas bort har slammet blivit reducerat till biomull och är i ett sådant tillstånd att det skulle kunna föras tillbaka till jordbruket och därigenom sluta kretsloppet genom att användas som gödningsmedel. Istället för användning inom jordbruket kan det också användas för grönområden, gräsmattor, skogsbruk, rabatter, bärbuskar och fruktträd. Idag återförs bara en liten del av slammet till jordbruket. En orsak är att jordbruket och livsmedelsindustrin gör motstånd mot slamanvändning i samband med produktion av livsmedel. Det finns fortfarande för stora mängder av oönskade ämnen i slam från vissa reningsverk (Johansson 2001). En annan aspekt som talar emot ett vidgat användande av

näringsämnena inom jordbruket är de långa transportsträckorna. För att ta död på skadliga bakterier och andra mikroorganismer kan man även bränna slammet, ur askan kan man sedan utvinna ämnen eller helt enkelt använda den som fyllnadsmaterial i cement eller i vägbankar.

Kväve

Atmosfären består till 78 % av grundämnet kväve i form av kvävgas, N_2 . I avloppsvatten förekommer ämnet mest i en rad form av olika föreningar, exempelvis näringsämnena nitrat (NO_3^-) och nitrit (NO_2^-). Om dessa föreningar släpps i för stora koncentrationer till recipienter kan de leda till eutrofiering och fiskdöd. Det finns olika processer man kan utnyttja för kväverening. Den vanligaste är kväveavskiljning genom biologisk separation. Denna teknik går ut på att utnyttja bakterier för att överföra kvävet i avloppsvattnet till kvävgas. I konventionella svenska reningsverk renas kväve till en nivå av 20 % (Johansson, 2001), det kväve som ackumuleras i slammet kan återföras till jordbruk för att på sätt sluta kretsloppet genom att odla nya grödor som kan fungera som föda för människor.

Fosfor

Fosfor är ett näringsämne med liknande problematik för ekologiska system som nämnts för kväve, den stora skillnaden mot nyss nämnda grundämne är att det inte är en förnyelsebar resurs utan det finns en viss mängd fosformineral kvar i berggrunden. I konventionella reningsverk avskiljs fosfor till 95 % i första hand genom kemisk fällning och hamnar på detta sätt i restslammet, här finns alltså en stor potential för återanvändning av det fosforrika slammet. Om hela mängden fosfor skulle användas som gödselmedel på åkermark i Sverige skulle man kunna ersätta ca 42 % av nuvarande användning av fosformineralgödsel (SCB 2009). Fosfor är en ändlig naturresurs som bryts från magmatiska bergarter främst i norra

Afrika men även i Kina och Förenta Staterna och det bedöms utifrån dagens uttagsnivå att reserverna kommer att räcka i ca 50 år till (Steen 1998). Då fosfor är ett näringsämne kan det med fördel användas som gödselmedel, 80 % av det totala bruket av fosfor åtgår för detta. Andra applikationer är som rengöringsmedel (12 %) samt djurfoder (5 %) (Steen 1998). I Sverige idag används ca 15 % av den totala slamproduktionen för ändamål inom jordbruket (SCB 2009).

Kalium

Ett annat näringsämne som också påträffas i avloppsvatten är alkalimetallen Kalium. Kalium är viktigt för framförallt växter som utnyttjar ämnet för att bygga vävnader. Ur antropogen synpunkt finns de största källorna i urinet, upp till 75 %. Försök har gjorts att återvinna kalium från urinseparerande toaletter genom en fällningsreaktion med fosformineralen struvit (Wilsenach et al 2006).

Kol

Organiska föreningar innehåller alltid kol, som sådant förekommer det därför i avloppsvatten. Efter att bakterier bearbetat detta material i det biologiska reningssteget bildas den kolbaserade gasen metan, denna kan tas tillvara för att generera elektricitet eller som fordonsbränsle (se energikapitel: *Rötning*). Nivån av nedbrytbart organiskt material som kolkälla är ofta den faktor som styr hur fort kväve kan renas, att återanvända det kol som har ackumulerats i slammet för att underlätta dessa processer bör därför göras (Ödegaard 2004).

Metaller

I vattenverk som producerar dricksvatten genereras det, i likhet med reningsverken, slam. Man behöver ofta fälla ut humus och andra potentiellt skadliga partiklar och det görs normalt genom att tillsätta föreningar

bestående av järn och aluminium. Till skillnad mot avloppsslam, som har varit tema för åtskilliga forskningsrapporter och böcker ur resursperspektiv, har vattenverksslam haft relativt liten uppmärksamhet kring sig vilket troligen hänger samman med att det var sett som ”oorganiskt” och därför inte utgjorde något hot mot recipienter. Men med den växande populationen av människor i samband med det större intresset för miljöfrågor har vattenverksslam stor framtida potential för att bli ett framtida intressant utvecklingsområde och resurs (Babatunde & Zhao, 2005). Avskilt slam är ur ekotoxikologisk synpunkt inte speciellt problematiskt, men slamvolymerna är stora och hanteringskostnaderna betydande. Vidare är det principiellt otillfredsställande att inte vattenverken kan utnyttja järn- och aluminiumjonernas fällningsegenskaper mer än en gång.

Aluminium

Man har testat en metod för att utvinna aluminium ur slammet, REAL-processen, där man i processen endast förlorade ca 10 % av det använda aluminiumet (Ulmert et al 2007). Aluminium återvunnen på detta sätt eller med andra metoder skulle kunna användas inom reningsverk för utfällning av fosfor. En studie visade att återvunnet aluminium från just vattenverksslam sänkte nivån av fosfor från 9 mg/l till under 1 mg/l i ett reningsverk i Paris (Bustamante & Waite, 1995)

Järn

Tillsammans med aluminium är järn den metall som används mest frekvent för att göra vatten drickbart i reningsverken. Utvunnet järn från vattenverksslam har testats för reduktion av olja, fetter, COD och suspenderade partiklar (Basibuyuk & Kalat). Resultatet var avgjort positivt och järnföreningen visade sig vara lika effektivt som de aluminiumföreningar som testats innan.

ENERGI

Vatten- och avloppssektorn erbjuder ett flertal möjligheter att generera förnyelsebar energi av varierande slag. Detta kapitel går igenom de vanligaste förekommande sätten att ta till vara på denna energi i reningsverken idag samt några mindre vanliga sätt, men som ändå praktiseras i viss utsträckning. I den sista delen av kapitlet kommer futuristiska lösningar tas upp, här finns de namngivna lösningarna till mycket liten del implementerade som standardlösning för reningsverk utan befinner sig till största delen på forskningsstadiet.

Reningsverk

Vatten- och avloppssektorn har visat sig vara ett trögt system att få till stånd några förändringar inom. De metoder som används i reningsverken idag är snarlika de som användes när de först tog i bruk. Visst nytänkande har dock funnits och integrerats med reningsprocesserna och kommer i följande sektion att redogöras för.

Rötning

I konventionella reningsverk genereras det slam som ett resultat av flera olika processer, exempelvis när avloppsvattnet tillåts sedimentera. Detta slam är rikt på näringsämnen och kan under rätt förutsättningar generera energi i form av biogas. En beprövad metod i sådana sammanhang är att låta slammet gå vidare till en rötningsskammare (se Fig. 8) där det organiska materialet bryts ned på biologiskt vis av mikroorganismer. Dessa producerar cellprotoplasma och frigör i samband med detta bland annat metan och koldioxid, dessa biogaser kan tas tillvara för att generera energi. De främsta användningsområdena för energi som tillvaratagits genom denna produktion är fordonsbränsle, uppvärmning och elproduktion. Metodiken är väl beprövad och finns så gott som i alla världsdelar. Att

låta rötning bli integrerad i själva reningsprocessen tas upp i senare sektion

Fjärrvärme/Fjärrkyla

Spillvärme ur det renade avloppsvattnet kan ledas till värmeverk för att där omvandlas till fjärrvärme. Det vattnet kan sedan användas ytterligare en gång om det är kopplat till ett fjärrkylanät. Ur det avkylda renade avloppsvatten som sedan lämnar verkets värmepumpar kan kylan växlas till det vatten som cirkulerar i ett hypotetiskt fjärrkylanät. Kylan är i essens en ren restprodukt från fjärrvärmeproduktionen. Används bland annat i Hammarby sjöstad och finns också på många andra håll i Sverige och i Europa.

Energiskog – bevattning med avloppsvatten

Salixträd (vide, sälg m.m) är en trädtyp som har egenskaper som gör den passande ur energivinningssynpunkt genom dess snabba växttakt och den stora energigenering den ger upphov till vid förbränning. Att på detta sätt odla träd från salixsläktet för att producera energi är väl beprövat och utnyttjas på de flesta platser i världen. Ur ett VA-perspektiv skulle avloppsvattnet i ett sådant sammanhang kunna utgöra källa för att förse energiskogen med näringsämnen, tanken är att det partiellt renade vattnet från reningsverket pumpas ut till en odling av salixträd istället för ett normalt förfarande. En pilotstudie av Kågeröds reningsverk i Svalövs kommun försökte utröna om det var möjligt att med biologiskt renat avloppsvatten trygga närings- och vattenförsörjningen för energiskogen (Hasselgren, 1999). Pilotprojektet visade att biomassaproduktionen var gott och väl i nivå med de bästa odlingarna i landet, ingen konkret påverkan på grundvattnet kunde påvisas samt att reningen av kväve och fosfor var åtminstone lika effektiv som i konventionella reningsverk. Baserat på studiens goda resultat har en anläggning i full skala etablerats vid Kågeröds

Reningsverk. Vissa salixsorter har visats möjliga att etablera så långt norrut som i Luleå och har under en säsong producerat biomassa i samma storleksordning som för salixodlingar i södra Skandinavien som bevattnats med avloppsvatten (Hedström & Rastas 2008).

Mikrobiell bränslecell

En bränslecell omvandlar direkt kemisk energi till elektrisk energi. Bränslecellen kan liknas vid ett batteri som kan "tankas" med ett bränsle. Det vanligaste bränslet är vätgas som är det som enklast kan sönderdelas elektrokemiskt. Det finns sedan många olika typer av bränsleceller, den som behandlas här går under namnet mikrobiell bränslecell. En mikrobiell bränslecell kan konvertera kemisk energi som finns i organiskt material till elektrisk genom vad skulle kunna kallas en förbränningsreaktion genomförd av mikroorganismer (Aeltermann et al., 2006). Består vanligtvis av en anod och en katod separerade av ett membran. Bränsle oxideras av mikroorganismer vilket genererar elektroner och protoner, elektronerna förs via en extern elektrisk ledning till katoddelen av cellen dit protonerna också förs, dock via membranet. Elektronerna och protonerna förbränns när de är framme och genererar restprodukten vatten med syre. Dessa bränsleceller skulle kunna installeras i ett reningsverk. Bakterierna inne i cellen skulle i sådant fall bryta ned organiskt material som avloppsvattnet innehåller för att producera komplimenterande kraft till verket. En separat mikrobiell bränslecell skulle under bästa förhållanden teoretiskt kunna producera 3 kWh för varje kilo organiskt material (Aeltermann et al., 2006).

Plasmaförångning

Genom att utsätta avfallsmaterial för oerhört höga temperaturer i en syrefri miljö kan man lösa upp det fullständigt i väldigt enkla molekyler, så kallat plasmstillstånd. Den viktigaste slutprodukten vid ett sådant förfarande är syntesgas som kan användas för energigenerering. Metoden klassas som miljövänlig då inga skadliga gaser släpps ut under framställningen. Om metoden ska appliceras inom reningsverkstekniken kräver den ett väldigt torrt slam, det måste därför till någon typ av torkning. En studie som har gjorts på ett reningsverk i Grekland har kommit fram till att om man där skulle använda sig av plasmaförångning skulle man inte enbart vara självförsörjande ur energi perspektiv, utan också generera ett överskott av 2.85 MW elektrisk energi (Mountouris et al., 2008).

Anaerob reaktor

Traditionella system för behandling av avloppsvatten från hushåll inkluderar ofta ett steg för s.k. aerob behandling där mikroorganismer bryter ned organiskt material i samband med att bassängerna där detta sker luftas för att ge energi åt dessa organismer. Detta innebär att avsevärda mängder av energi åtgår för att hålla liv i processerna samtidigt som en stor mängd slam bildas som i sin tur måste stabiliseras innan det kan användas inom exempelvis jordbruket. Anaerob rötning av restprodukter från just detta reningssteg har diskuterats i föregående sektion, ett nytt tillvägagångssätt är att byta ut den aeroba rötningen för ett anaerobt förfaringsätt. I en sådan jämförelse erbjuder anaerob rötning en rad fördelar:

- Istället för att konsumera energi så genereras energi i form av metan
- Betydligt mindre mängd överskottsslam produceras i jämförelse med aeroba metoder
- Slammet är väl stabiliserat

- Utformningen på reaktorn är relativt enkel
- Systemet kräver relativt litet utrymme (Edström et al, 2001)

Det primära krav som ställs för att vattnet skall komma på fråga för anaerob rötning är att det har en stor koncentration organiskt material, detta skulle kunna uppnås genom en större användning av avfallskvarnar (se kapitel Energi: Avfallskvarnar). Andra faktorer att ta i beaktning är att systemet ska klara av en hög reduktion av BOD och COD samt kunna fungera under höga belastningar. De system som framförallt har testats under de senaste 20 åren är att skapa filter eller bäddar i där mikroorganismer tillåts växa (s.k. biofilm). UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) är det anaeroba system som tillämpats i störst utsträckning, framför allt i tempererade och tropiska klimat. UASB-system bygger på att mikroorganismer aggregerar och växer som granulerat slam, vilket ger bra sedimenteringsegenskaper. Granulerna hålls på så sätt kvar i reaktorn trots höga flöden. Den turbulens som sker på grund av inflödet och gasproduktionen är tillräcklig för att skapa en god kontakt mellan mikroorganismer och avloppsvatten. De största fördelarna med UASB-systemen är att det är enkla reaktorer utan dyra bärarmaterial och att det finns lång erfarenhet från praktisk drift. De största nackdelarna är kopplade till svårigheterna med att erhålla och vidmakthålla stabila granuler. Det finns också en viss känslighet för hydrauliska och organiska chockbelastningar eller för förändrad kvalitet på avloppsvattnet. Ett försök vid Sjöstadsverket i Stockholm konkluderade att anaerob rötning via denna teknik fungerade bra vid temperaturspannet 16-30 C (Hellström et al, 2008).

Algbränsle

Alger behöver vatten, solljus samt koldioxid för att kunna växa. Oljan de sedan producerar kan tas om hand om och göras om till biodiesel eller andra biobränslen. Ett tänkbart område för att applicera denna teknik är inom avloppstekniken där vattnet innehåller stora mängder organiska föreningar som påskyndar alg tillväxten. Här skulle tankar inne på reningsverket kunna användas som uppfödningplats för alger när vattnet har genomgått en del av reningsprocessen. Det är däremot inte möjligt att direkt använda avloppsvatten för algeproduktion, det måste först genomgå anaerobisk rötning, om inte detta steg görs risker algerna att dö. Organiska näringsämnen som kommer ut från rötningen är i flytande form och näst intill lämpliga för produktion, det sista som behövs är ytterligare rening och sterilisering.

Det finns olika fördelar med att föda upp alger på detta sätt:

- Ny infrastruktur kommer i väldigt liten omfattning behövas då det mesta redan existerar, flytande linor i tankarna behövs för att algerna ska ha någonstans att växa.
- Samma ledningar kan användas för att transportera det råa biobränslet till raffinaderi eller anrikning.
- Det skulle minska trycket på rening i resterande del av systemet då alger effektivt binder upp mycket av det organiska materialet i avloppsvattnet och därför på ett naturligt sätt skulle motsvara ett steg i processen.
- Det är säkrare än att föda upp alger i havet då man tar bort risken för att skada den ekologiska marina miljön.

Används: Biodiesel företag på Nya Zeeland använder sig av tekniken.

Vattenkraft

Vattenkraft står för en betydande del av den svenska elektricitetsproduktionen, vad som hittills har brukats för att generera detta är älvar i framförallt Norrland. En annan källa för att utvinna vattenkraft skulle kunna utgöras av avloppsvatten. Reningsverk med en kraftig lutning vid utloppet av det reade avloppsvattnet skulle kunna placera en generator i ett strategiskt läge för att kunna producera vattenkraft. Detta sätt att utnyttja avloppsvatten för energiproduktion är ovanligt men ett fåtal reningsverk har använt sig av tekniken. I senare delen av 70-talet och i början av 80-talet försökte två reningsverk i New England att implementera detta sätt att spara energi, genom att installera en turbin i utflödet, försöken sågs som mindre lyckade (Departement of Environment Protection, 2002).

Används: Point Loma i San Diego, Förenta Staterna samt reningsverk i Australien. Inget reningsverk i Sverige har genom den här studien påträffats som anammat teknik.

Komplimenterande installationer

Då reningsverk ofta innehar stora arealer och inte byggs i närheten till annan infrastruktur är de ofta lämpliga för in situ sol- och/eller vindkraft. Atlantic Countys reningsverk har installerat bägge som genererar den el som behövs för att driva verket (Brown, 2009).

Andra vinster kan göras genom att byta ut existerande installationer i reningsverken mot nyare och energisnålare alternativ, i tabell 1 ges ett urval på sådana alternativ som kan ge snabba resultat.

Tabell 1. Vanliga energibesparingstekniker inom avloppsbehandling (Brown, 2009)

Energisparande teknik	Beskrivning	Typisk återbäring (år)
Högeffektiv motor	Motorer med minimala interna förluster används för pumpar, mixar mm.	föränderlig
Variable Frequency Drive	Elektronisk kontroll som matchar motorhastighet mot det aktuella trycket på rening, på detta sätt undgår man att konstant köra på full hastighet	½ - 5
Högeffektiva Pumpar	Pumpar med mindre intern friktion och tryckförluster	föränderlig
Högeffektiv ventilation	Ventilatorer med mindre interna energiförluster	föränderlig
Löst syre kontroll	Vidhåller nivån av löst syre i luftningsbassängen vid ett förvalt värde.	2 - 3
Återvinning av överskottsvärme från avloppsvattnet	Överskottsvärmen kan återanvändas genom lågtemperatur värmeapplikationer	<2
Effektiv mixing av aerob rötning	Istället för att använda luftning för att mixa bassänger ska mekanisk mixing användas i största möjliga mån	<2
Planering av reningskapacitet	Behandlingssystem utformade att hantera ett brett spektrum av olika flöden	<2

Decentraliserad VA

Det finns många olika varianter av decentraliserade avloppssystem som mest kommer till användning i rurala områden, i denna sektion går några av dessa igenom.

Vakuumsystem

Ett avloppssystem av denna typ använder sig av skillnaden i tryck mellan atmosfären och ett bibehållande av partiellt vakuum i ledningsnätverket och i uppsamlingsstanken. Denna skillnad i tryck innebär att en centralt belägen vakuumsstation kan samla upp avloppsvatten från tusentals hushåll beroende på terräng och lokala förhållanden. Vakuumsystem drar fördel av naturliga lutningar och blir billigast att anlägga i sandiga jordmåner med hög grundvattennivå. Ett decentraliserat system för att spara energi och vatten utgörs av ett koncept uppbyggt av vakuum i samspel med biogas. I norra Tyskland har man byggt ett nytt bostadsområde för 350 personer där svartvatten och gråvatten från hushållen tas emot och hanteras separat. Med en låg nivå av vattenutnyttjande tas svartvattnet upp via vakuums-toaletter och transporteras till en tank. Efter att det har blandats med biologiskt avfall värms det och fermenteras anaerobiskt. Gråvattnet dräneras av gravitationen och behandlas i bio-sandfilter (Otterpohl et al., 2002). En annan tänkbar behandling av gråvatten är att det behandlas av aktivt slam i en reaktor och sedan återanvänds som vatten för toaletter (Klingel et al. 2005). Fördelarna med detta system är bl.a.:

- Oerhört snål användning av elektricitet.
- Spolning och underhåll av avloppsledningarna är inte nödvändigt, brunnslock behövs inte heller.
- Koncentrerade mängder av avfallsprodukter vilket gör det möjligt att integrera med andra avfallsvattentechniker såsom anaerob rötning.

Evapotranspirationssystem

Att behandla avloppsvatten i dammar och andra naturliga eller artificiella vattendrag eller bäddar är en beprövad metod som är standard på många platser i världen. En variant av ett sådant system har tagits i bruk på olika ställen i Förenta Staterna och benämns evapotranspirationssystem (ET-system) och går närmast att likna vid en avloppsvattenträdgård. De flesta växter använder fotosyntes och transpiration. För ET-system väljs vissa växter med speciella egenskaper ut som planteras på en bädd som består av sand, grus och krossad sten. Utflöde från septiktankar, gråvatten, dränvatten från komposttoaletter eller urin från separationstoalletter omcirkuleras i bädden, systemet är alltså stängt. I bädden finns naturligt förekommande mikroorganismer som omvandlar kemiska föreningar som finns i avloppsvattnet till näringsämnen som senare kan tas upp av växter för att skapa nya vävnader. I och med att bädden är ogenomtränglig för vattnet kan det inte nå omkringliggande vattenkroppar eller spricksystem i berggrunden utan den största delen kommer att evaporeras. Det utflöde som inte har evaporerats transporteras till en tank och pumpas tillbaka när förutsättningarna för evapotranspiration är optimala. Fördelarna med ett sådant system är:

- Hög renhetsgrad, inte ens renat avloppsvatten släpps ut till grundvattenzonen eller till ytvattnet.
- Idealisk för platser nära vattendrag eller för akvifärer som är känslig för föroreningar.
- Väl anpassad för platser med tunt jordlager, dålig dränering eller hög grundvattennivå.
- Slösar inte med resursen avloppsvatten, kan användas för produktion av biomassa.

Avloppsvärmeväxlare

Ett alternativ för att effektivisera varmvattenproduktionen för ett enskilt hushåll är att installera en avloppsvärmeväxlare som överför värme från det utgående avloppsvattnet till det ingående vattnet. En sådan kan bestå av ett kopparrör med en diameter på 100 - 110 mm och en längd av 1000 - 1400 mm. Runt röret ligger fyra hårt lindade kopparslingor som går ihop i ett 20 - 22 samlingsrör där tappkallvatten ska anslutas. Värmeväxlaren kan normalt konstrueras för att ta emot allt utgående avloppsvatten men ger störst effekt då duschvatten används då detta vatten har en hög temperatur. Duschvattnets värme överförs mycket effektivt från den tunna vattenfilm som av ytspänningen bildas på avloppsrörets insida till den tätt lindade färskvattenslingan på utsidan. Att det fungerar så bra beror på att koppar har en extremt hög värmeledningsförmåga. Enligt test som gjorts kan så mycket som 1/3 av den totala energiförbrukningen fås tillbaka vid en dusch på 15 minuter genom att använda sig av denna teknik (VVS Forum 2009). Att ta tillvara värmen i utgående tappvarmvatten försvåras av att vattnet även kan innehålla matrester och liknande, som kan sätta igen en värmeväxlare, då denna ofta placeras i stående läge. Praktiskt innebär detta krav på filter som skall rengöras ofta för att inte börja lukta illa. Finns på marknaden i Sverige.

Avfallskvarnar

Att mala sönder matrester för att sedan kunna transportera dem i befintligt avloppssystem har använts i Sverige i mycket liten utsträckning men i andra delar av världen (Förenta Staterna, Japan och Australien) har det varit standard för många hushåll. Vad man tidigare har varit orolig för är att det extra avfallet skulle åsamka problem för ledningsnät och reningsverk. En attitydförändring gentemot avfallskvarnar har nu realiserats i Sverige där bl. a. Stockholm Vatten har slopat kravet på avgift för avfallskvarnar. Ur energisynpunkt är avfallskvarnar ett intressant alternativ då det höjer förekomsten av organiskt material i det inkommande avloppsvattnet till reningsverken, vilket skulle kunna innebära en ökning i produktion av biogas. Studier har gjorts på olika håll i Sverige av avfallskvarnars användarvänlighet och påverkan på reningsverk och ledningar. Ett försök gjordes i Surhammar (Karlberg & Norin, 1999) med att installera avfallskvarnar i hushåll för att utvärdera funktion och attityd. En klar majoritet av hushållen var nöjda med kvarnarna och inga driftstörningar rapporterades från reningsverket, inga problem upptäcktes heller med igensättning eller avlagringar i avloppsledningsnätet. Biogasproduktionen från reningsverket ökade, men var mindre än väntat (Olofsson & Forsberg, 2003). Avfallskvarnar har en heterogen spridning i Sverige där den används flitigt i vissa samhällen samtidigt som Stockholm endast har 40 kvarnar i funktion.

DISKUSSIONSFRÅGOR

- Exempel på andra tekniker utöver nyss nämnda med fokus på förnyelsebar energi och resurshushållande som används inom VA-tekniken?
- Hur kan olika tekniker jämföras och vilka parametrar skall tas med?
- I vilken utsträckning kan olika tekniker kombineras och hur görs detta på mest energieffektivt sätt?
- Vilka tekniker är socialt accepterade, ekonomiskt möjliga eller tekniskt gångbara för det aktuella projektet?
- Kan avgränsningar göras i större utsträckning med syfte på tekniker som passar rurala områden kontra sådana som är mer lämpliga för urbana?
- Hur bred fokus ska man sätta när man specificerar systemgränser för VA-teknik och förnyelsebar energi? Exempel: Den biomull som går att framställa ur slamhanteringen skulle kunna gå att använda för produktion av energiskog. Den energin som fås när man senare använder denna tillgång, kan den ses som en del av systemet?
- Hur lämpar sig teknikerna för kallt klimat?
- Går det efter en inventering av Kiruna stad göra en analys av var energitillgångar finns och var behov finns och hur dessa ska passas in till VA-systemen?

REFERENSER

- Aelterman, P., Rabaey, K., Clauwaert, P. & Verstraete, W (2006) Microbial fuel cells for wastewater treatment. *Water science and technology* ., **54** (8) 9-15
- Babatunde, A. O. & Zhao, Y. Q. (2005) Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. *Environmental Science and Technology* **37** (2) 129 -164
- Basibuyuk, M. & Kalat, D.G. (2004) The use of waterworks sludge for the treatment of vegetable oil refinery industry wastewater, *J. Environ. Technol.* **25** (3) 373–380
- Brown, R. (2009) Energy efficiency and renewable technologies in wastewater management. *Hearing on Sustainable Water Management*
- Bustamante, H.A., & Waite, T.D. (2005) Innovative techniques for the handling and reuse of water treatment plant sludges, *Water Supply* 13(3-4), 233–238
- Department of Environmental Protection (2002) O & M Newsletter. *Bureau of Land and water quality*
- Forsberg & Olofsson (2003) Köksavfallskvarnar, ett behandlingsalternativ för blött avfall? *Luleå Tekniska Universitet 2003-187 CIV*
- Edström, E., Nordberg, Å., Olsson, L.-E. & Hellström, D. (2001). Anaeroba processer – En förstudie för projekt Lokalt reningsverk för Hammarby Sjöstad, etapp 1. *Projektpublikation nr 2. Stockholm Vatten rapport nr 30–2001*, Stockholm.
- Hedström, H. & Rastas, L. (2007) Småskalig avloppsanläggning med salixbädd och sorbenter. *Svenskt Vatten Utveckling rapport 2007-08*
- Hellström, D., Jonsson, L., Nordberg, Å. & Olsson L.E. (2008) Anaerob behandling av hushållspillvatten och klosettavlopp blandat med organiskt hushållsavfall - resultat från Sjöstadsverket, Stockholm. *Projektpublikation nr 2. Stockholm vatten rapport 43-2008*
- Johansson, B (2001) Stadens tekniska system *Formas Stockholm*
- Karlberg, T & Norin, E (1999) Köksavfallskvarnar – en teknik för hållbar resursanvändning? En förstudie av i Göteborg. *Svenska vatten- och avloppsföreningen. VA-Forsk rapport 1999-9.*
- Klingel, F., Werner, C. & Bracken P (2005) Vacuum sewerage and greywater recycling. *Data sheets for eco-san project*
- Li, X.F., Luk, S.F. & Tang, S.L. (2009) Sustainability of toilet flushing water supply in Hong Kong. *Water and Environmental Journal* **19** (2) 85-90
- Mountouris, A., Voutsas, E. & Tassios, D (2008) Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization. *Energy Conversion and Management* **49** (2008) 2264-2271
- Otterpohl, R., Braun, U. & Oldenburg, M (2002) Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. *International Water association.*
- Pisani, P.L. (2006) Direct reclamation of potable water at windhoek´s Goreangab reclamation plant. *Desalination* **188** (2006) 79-88)
- Socialstyrelsen (1982) *Bevattning med avloppsvatten rapport 1982:6.* Socialstyrelsen Stockholm
- Solomon, C., Casey, P., Mackne, C. & Lake, A. (1998) Evapotranspiration systems – Fact sheet. *National small flows, Clearinghouse*
- Statistiska Centralbyrån (SCB) (2009) Försäljning av mineralgödsel till jord- och trädgårdsbruk. *Statistik för jordbrukssektorn*
- Steen, I. (1998) Phosphorus availability in the 21st century – Management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium* **1623** (217) 25-32

- Ulmert, H., Fritzdorf, I., Stendahl, K. & Persson, K. (2007) Återvinning av vattenverkslam. *VA-forsk rapp* 41-07, 2006-07
- Wilsenach, J.A., Schuurbiers, C.A.H. & Van Losdrecht M.C.M (2007) Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation. *Water research* **41** (2) 458-466
- VVS Forum (2009) Energiåtervinning av avloppsvärme
- Ödegaard, H (2004) *Wastewater as a resource – what are the options?* Trondheims Universitet

Institution för Samhällsbyggnad och Naturresurser
Avdelning för Arkitektur och Vatten
Forskningsämne VA-teknik

ISBN 978-91-7439-369-9

Luleå tekniska universitet 2011