

GRÅVATTENAVLOPP I VÄXTHUS

Ett system för en familj på landet

Dagar Groblad

MÖ015G B4480

Miljöteknik B – projekt 7,5hp

2017

Abstract

Greywater sewage system in a greenhouse

-a system for one family on the countryside.

This report investigates possible obstacles and possibilities on the road to designing my own private sewage system for me and my family and our household on the south Swedish countryside. I investigate the rules set by the municipalities and the Swedish EPA etc. and look at how I can approach the issue of getting the system approved. I then describe a theoretical background of different design issues which leads to a simple design of my sewage system which will be built in a greenhouse on the south side of our house. There are some general conclusions where the most important is the challenge of how to prove the cleansing effect before the municipality.

Det här projektet undersöker möjligheter och utmaningar att designa ett enskilt avloppssystem för mig och min familj på landsbygden i södra Sverige. Jag undersöker de regler som finns satta av kommunen och Naturvårdsverket och hur jag kan gå till väga för att kunna få mitt system godkänt. Jag beskriver också en teoretisk bakgrund för avloppssystem och kommer sedan fram till en preliminär design av mitt system som är tänkt att byggas i ett växthus på husets södersida. Jag gör slutligen några generella slutsatser där den viktigaste är att en av de stora utmaningarna är att bevisa för kommunen att systemet faktiskt kommer att fungera.

Innehåll

Abstract	2
1. Introduktion	4
1.1. Bakgrund	4
1.2. Syfte.....	5
2. Material och metod.....	5
2.1. Litteraturstudie	5
2.2. Dimensionering av systemet.....	5
2.3. Studiebesök.....	5
3. Teori	6
3.1. Avloppsreningens steg	6
3.2. Kommunens regler.....	6
3.3. Innehåll i gråvatten.....	9
3.3.1. Gödande ämnen.....	10
3.3.2. Tungmetaller.....	10
3.3.3. Organiska ämnen.....	11
3.4. Smittämnen	12
3.5. Förbehandling av gråvatten	13
3.6. Hydroponik.....	13
3.7. Växthuset.....	13
3.8. Dimensionering.....	14
3.9. Efterbehandling av gråvatten	16
4. Resultat.....	17
4.1. Studiebesök hos Folke Günther	17
4.2. Reningssystemet.....	17
5. Diskussion	19
6. Slutsatser	19
Referenser	20

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

I dagens Sverige är vi bortskämda med fri tillgång på rent dricksvatten, något som stora delar av världen saknar. Men med klimatförändringar och ökad vattenanvändning finns anledning att tro att det inte alltid kommer att vara så (Ocampo-Martinez et al., 2013).

I Europa, Sverige och i andra delar av världen med hög standard använder vi idag rent dricksvatten för att spola ner vårt avfall. Urin och fekalier blandas med det rena vattnet som därigenom kontamineras kraftigt. De näringsämnen som fanns koncentrerade i avföringen blir därigenom utblandade i stora mängder rent vatten. I många fall läcker också avloppsledningar och dagvattenledningar sinsemellan, i en urban omgivning leder detta till potentiella problem med kontaminering av grundvatten och övergödning av sjöar och vattendrag (Stahre, 2008 ; Personlig kommunikation, Sundet avloppsreningsverk i Växjö, 2016).

Vanligtvis skickas vårt avloppsvatten till ett reningsverk för att så gott det går återställas till en hygglig kvalitet, i bästa fall lika hög som det BDT-vatten (bad, disk, tvätt, vidare benämnt gråvatten) vi först blandade ut avföringen med, och som vi vågar släppa ut till grundvattnet igen och därigenom sluta kretsloppet. Men den största kritiken mot dagens så kallade *flush and discharge* system riktas mot svårigheten att återföra näringsämnena, främst fosfor och kväve, till kretsloppet. Det slam som produceras på reningsverken är sällan tillräckligt rent för att användas av bönderna eftersom det innehåller bl.a. läkemedelsrester och för höga nivåer av tungmetaller.

Men även för den som separerar sin avföring från sitt gråvatten finns potentiella problem, t.ex. att det tenderar att finnas mycket olika kemikalier i gråvattenfraktionen som härstammar från hushållskemikalier; schampo, rengöringsmedel m.m. Detta kan dock ses som ett tillfälle att bli medveten om vad det egentligen är vi spolat ner med vårt vatten. Det går utmärkt att använda hushållsprodukter som inte är skadliga för naturen. Avloppssystemets transparens och avståndet mellan användare och reningsverk anses också vara en av anledningarna till att toaletten av många används som soptunna att dumpa lite vad som helst i vilket förvärrar situationen ytterligare.

Därför tycker jag att det är logiskt att utveckla vatten- och avloppssystem där man tar vara på avföringen separat och nära källan. På så vis minskar vi mängden förorenat vatten och kan minska belastningen på avloppsreningen och på naturen när reningen inte fungerar som den ska, t.ex. vid stora regnflöden (Stahre, 2008 ; Almqvist et al., 2007). Det finns redan flera fungerande system, t.ex. urinseparerande toaletter, på marknaden för detta. Det finns dock än så länge lite litteratur om hur man kan rena sitt *gråvatten* genom att odla grönsaker. Exempel på litteratur som finns och som jag tagit del av i mitt arbete är Guterstam och Todd (1990) som föreslog ett biologiskt reningssystem där avloppsvattnets näring och organiska material omvandlas till biomassa i fisk och växter. Det finns även en doktorsavhandling av Norström (2005) som undersöker ett småskaligt avloppssystem baserat på hydroponik. Folke Günther (2000) undersökte hur ett biologiskt gråvattenreningsverk skulle kunna konstrueras genom dammar i tre steg.

När jag skulle renovera mitt eget hus tänkte jag på hur jag skulle kunna dela upp avloppsfraktionerna och designa ett system för att rena gråvattnet och samtidigt utnyttja de näringsämnen som fanns där i. Jag var tvungen att bygga nytt avlopp eftersom alla svenska avlopp nu ses över och då är den gamla tvåkammарbrunnen med infiltration inte godkänd längre, inte ens för gråvatten.

Mitt system är tänkt att bestå av en komposttoalett med urinseparering. Gråvattnet ska sedan bearbetas på ett sätt där jag kan ta vara på näringsämnena och rena eventuella andra föroreningar samtidigt som jag kan

få ut någon produkt ur detta. Dessutom innehåller gråvatten inte minst mycket värmeenergi, ungefär en tredjedel av energin som värmer huset försvinner genom avloppen och det mesta av den värmen finns i BDT-vattnet (Eriksson et al., 2013:1). Denna värme kan tas tillvara genom att mitt reningssystem placeras i ett växthus på huset södersida.

Genom denna rapport hänvisar jag ibland till delar av det tänkta systemet. Systemet finns beskrivet i sin helhet under *Resultat*, 4.2. *Reningssystemet* på sidan 17.

1.2. Syfte

- Förundersöka möjligheter och ta fram en preliminär design av ett gråvattensystem som renar min familjs gråvatten tillfredställande och som uppfyller alla krav från kommunen.
- Undersöka om det är möjligt att odla mat i det systemet. I annat fall undersöka lämpliga växter och vad de kan användas till.
- Ta reda på hur systemet ska dimensioneras och om växthusets yta kommer att vara tillräcklig.
- Projektet är också tänkt att fungera som inspiration för andra som är intresserade av vatten- och näringshushållande tekniker.

2. Material och metod

2.1. Litteraturstudie

För att ta reda på mer om hur växter kan användas för rening av gråvatten har jag använt mig av litteraturstudie där jag gjort sökningar i olika databaser, främst Mittuniversitetets Primo. Jag har använt mig av de mest relevanta artiklarna för varje sökord baserat på abstract, resultat och slutsats.

Sökord	Antal träffar (peer-reviewed journals)
Greywater	1207
Greywater treatment	953
Greywater plants	603
Greywater wall	107

Jag har dessutom använt mig av Google sökningar och Google Scholar.

För att hitta information kring lagar, regelverk och för att veta vad kommunen kräver av mig, samt vägledning för dimensionering av systemet, har jag använt mig av avloppsguiden.se där man även länkas vidare till bl.a. Naturvårdsverkets publikationer och Havs- och vattenmyndigheten, www.havochvatten.se.

2.2. Dimensionering av systemet

För att dimensionera systemet tittade jag dels på information från avloppsguiden.se enligt ovan och dels på en etablerad reningsmodul för gråvatten ”Biobox XL” från finska tillverkaren Raita. Denna är godkänd för behandling av gråvatten i Sverige. Beräkningarna för detta redovisas löpande i texten.

2.3. Studiebesök

För att öka förståelsen för alternativa avloppssystem har jag även valt att göra studiebesök som en del av projektet. Detta redovisas under resultat.

3. Teori

3.1. Avloppsreningens steg

I ett avloppsreningsverk har man i princip tre steg för rening av vattnet; primär rening, sekundär rening och tertiär rening (Manahan, 2010).

I den primära reningen avskiljs större partiklar av t.ex. matrester men också fett och grus och görs oftast med hjälp av silar och/eller sedimenteringstankar och förhindrar att dessa partiklar sätter igen rör eller andra delar av systemet eftersom de ofta är svårnedbrytbara (Manahan, 2010). I ett normalt enskilt avlopp i Sverige består detta steg av en trekammarbrunn.

Sekundär rening innebär eliminering av BOD, Biochemical Oxygen Demand, alltså Biokemisk Syreförbrukning som är ett mått på hur mycket syre som går åt till den mikroorganismunderstödda nedbrytningen av organiskt material i vattnet. Här använder man sig av mikroorganismer och syresättning av vattnet för att skynda på den naturliga processen som annars skulle ha skett i naturen och därmed förbrukat syre hos recipienten. Den enklaste formen av sekundär rening är ett s.k. *trickling filter* eller biologisk bädd som består av exempelvis stenar där vattnet kommer i kontakt med mikroorganismer och syre. Den stora fördelen med detta enkla filter är den låga energiförbrukningen eftersom ingen syrepump krävs (Manahan, 2010). I ett enskilt avlopp bygger man ofta någon typ av infiltrationsbädd som består av sand och grus där vattnet sprids jämt över en stor yta och filtreras genom denna och sedan genom marken för att sedan rinna vidare ner i grundvattnet. Vattnet renas då genom fysikaliska, biologiska och kemiska processer (Avloppsguiden, 2017a). Det bildas en hinna av bakterier, en biofilm, på spridningslagrets botten som tar hand om merparten av avloppsvattnets bakterier och organiska nedbrytningsprodukter. Kväve renas här i relativt hög grad och fosfor anses bindas in i jordprofilen (Naturvårdsverket, 2003). Detta har dock inte alltid fungerat tillfredsställande och vid en granskning gjord av Svenskt Vatten Utveckling (Eveborn et al., 2009) visade det sig att fastläggningen av fosfor i den bästa av de undersökta infiltrationsbäddarna endast uppgick till 8%.

Tertiär rening förekommer inte alltid eller kan också anses ingå i den sekundära reningen. Tertiär rening kallas i enskilda avlopp för efterbehandling och syftar främst till att avskilja smittämnen och kväve och kan utföras på flera olika sätt varav de enklaste och robustaste lösningarna innefattar biofilterdike, resorptionsdike, översilning, våtmark/damm, bevattning, rotzonsanläggning, infiltration och markbädd (avloppsguiden.se (2)).

3.2. Kommunens regler.

Alvesta kommun där jag bor, menar att det är svårt ”att generellt säga vad som krävs för att ett avloppssystem ska bli godkänt på rak arm” (Personlig kommunikation, Alvesta kommun, 2017-02-14). Allmänt menar kommunen att det finns vissa krav på t. ex. CE-märkningar och EU-standarder, men man kan börja med att utgå från Havs- och vattenmyndighetens allmänna råd om små avloppsanordningar som finns i HVMFS 2016:17.

Där står följande grundkrav:

- A. Dag- och dränvatten leds inte till spillvattenanordningen.
- B. Avloppsanordningen är, med undantag för eventuell infiltrerande del, tät för att hindra in- och utläckage av vatten.
- C. Avloppsanordningens funktion är enkel att kontrollera.

- D. Avloppsanläggningen är utformad så att underhåll och service underlättas.
- E. Avloppsanordningen anläggs på ett sådant sätt och på en sådan plats att dess funktion kan upprätthållas under anordningens livslängd.
- F. Avloppsanordningen åtföljs av en drift- och underhållsinstruktion från leverantören som innehåller de uppgifter som behövs för att säkra anordningens funktion. Normalt bör uppgifter som framgår av bilaga 3 ingå.
- G. Avloppsanordningen är, i den mån det behövs, försedd med larm om det uppstår drift-, eller andra funktionsstörningar. Ett larm bör alltid finnas som varnar innan en sluten behållare för avloppsvatten har blivit full.
- H. Det finns möjlighet att ta prov på det avloppsvatten som kommer ut från anordningen i annat fall än när avloppsvattnet leds till en sluten behållare.

HVMFS 2016:17

Av grundkraven är alla i stort sett uppfyllda genom hur min design är uppbyggd (se fig. 2 i *Resultat*). Något larm anses inte behövas eftersom systemet ligger helt synligt över mark och får daglig tillsyn.

Krav för hälsoskydd

- A. Utsläpp av avloppsvatten medverkar inte till en väsentligt ökad risk för smitta eller annan olägenhet, t.ex. lukt där människor kan exponeras för det, exempelvis genom förorening av dricksvatten, grundvatten eller badvatten.
- B. Den hantering av restprodukter från anordningen som äger rum på fastigheten kan skötas på ett hygieniskt acceptabelt sätt. Hög nivå (utöver A – B)
- C. Ytterligare skyddsåtgärder utöver den huvudsakliga reningen i anordningen vidtas. Exempelvis kan det finnas behov av att förbjuda vissa utsläpp, att göra utsläppspunkten mer svårtillgänglig, att öka anordningens robusthet eller att lägga till reningssteg som ytterligare reducerar föroreningsinnehållet, ökar uppehållstiden, utjämnar varierande flöden eller tar emot eventuellt bräddat vatten.

HVMFS 2016:17

Även dessa krav är enkla att uppfylla eftersom det endast handlar om gråvatten samt att recipienten ligger tillräckligt långt ifrån vattenbrunnen. Marken har en lutning $>5\%$ från dricksvattenbrunnen, och avståndet till reningsdammen (sista steget i systemet) är $>30\text{m}$. Enligt Naturvårdsverkets Handbok till Allmänna Råd för små avloppsanläggningar (2008) bör skyddsavståndet för moränmark med en lutning på mellan $5\text{-}15\%$ från vattentäkten vara minst 20 m .

Krav för miljöskydd

- A. Teknik som begränsar användningen av vatten används, t.ex. vattensnåla armaturer.
- B. Fosfatfria tvättmedel och fosfatfria hushållskemikalier används.
- C. Avloppsanordningen kan förväntas uppnå minst 90% reduktion* av organiska ämnen (mätt som BOD7 eller BOD5), se avsnittet ”Kommentar till biokemisk syreförbrukning”, bilaga 2.
- D. Avloppsanordningen kan förväntas uppnå minst 70% reduktion* av fosfor (tot-P).
- E. Avloppsanordningen möjliggör återvinning av näringsämnen ur avloppsfraktioner eller andra restprodukter.
- F. Åtgärder vidtas för att minimera risk för smitta eller annan olägenhet för djur.

HVMFS 2016:17

Kraven för miljöskydd är det som återstår som en möjlig utmaning. De reningsgrader som anges i HVMFS 2016:17 är anpassade för blandat avlopp och ska enligt HVMFS 2016:17 justeras utefter föroreningsnivån på det inkommande vattnet (se nedan i utdrag från bilaga 2, HVMFS 2016:17).

I HVMFS 2016:17 bilaga 2 kan man även läsa:

BDT-vatten

Om urin eller fekalier tas om hand utan utsläpp (t.ex. urinsorterande torrtoalett) kan motsvarande skyddsnivå räknat som utsläpp per person klaras med mindre rening än vad som krävs för ett osorterat avlopp. Myndigheten bör då inte utan att det är motiverat av omständigheterna i det enskilda fallet efterfråga den angivna procentuella reduktionen för enbart BDT-vattnet. Observera dock att även en anordning för enbart BDT-vatten bör kunna uppfylla erforderlig skyddsnivå med avseende på hälsoskydd.

Och vidare i bilaga 2:

Övriga anordningars prestanda får bedömas i det enskilda fallet. Att myndigheter inte ska vägra att godta intyg eller provningsrapporter som bedömningsunderlag från ett för bedömningsuppgiften ackrediterat organ, i den mening som avses i EU:s ackrediteringsförordning¹ framgår av artikel 5 i EU:s varuförordning².

HVMFS 2016:17

Detta innebär i praktiken att avloppsanläggningen kan godkännas baserat på provresultat på ingående och utgående vatten för att få fram den procentuella reningsgrad som krävs. Dessa regler gäller dock endast för certifierade anläggningar. För icke certifierade anläggningar som i mitt fall gäller att myndigheten kan:

[...] begära en oberoende utvärdering av produkten/anordningen. Detta skulle exempelvis kunna vara en utvärdering av hög kvalitet utförd av oberoende organisation, institut, forskargrupp eller liknande.

HVMFS 2016:17

Utöver nämnda krav finns enligt kommunen vissa krav på lokalisering etc., men detta är en generell bedömning som görs för alla typer av avloppsanläggningar. Kommunen var allmänt positivt inställda till min idé och uppmanade mig att komma till kontoret för att visa på en skiss/idé.

Krav på att rena kväve existerar inte på grundnivå. Det finns dock ett sådant krav under s.k. hög miljöskyddsnivå och den ligger då på 50%. Hög skyddsnivå innebär t.ex särskilt belastade områden eller närhet till vattentäkt och badvatten (HVMFS 2016:17). Mitt område omfattas dock endast av grundnivåns krav.

På Avloppsguiden.se publiceras information och vägledning vid val av avloppsanläggning och är den sida kommunerna själva hänvisar till och använder sig av (Alvesta kommun, 2017). Där kan man läsa att ”*Enligt miljöbalken krävs anmälan för BDT-anläggning men kommunen får bestämma att tillstånd behövs även för BDT-avlopp.*” (Avloppsguiden, 2017c)

På avloppsguiden.se hittar man också skriften ’*Bad-, disk- och tvättvatten– hur farligt är det? Risker, skyddsbehov och reningstekniker*’ (Eriksson et al., 2013). Det är en skrift från tekniska och juridiska experter som ger sin syn på, och rekommendationer om, gråvatten till bl.a. kommunernas miljökontor. Där har man sammanfattat sin syn på gråvattnets farlighet i följande fyra punkter:

- BDT-vatten medför liten lokal risk. Detta gäller för alla typer av föroreningar men behandling av avloppsvattnet behövs.
- Skyddsåtgärder behövs i första hand för fastighetsägaren själv samt för närmaste granne.
- Skyddsåtgärder behövs för att förhindra indirekta olägenheter som dålig lukt, vattenskador och skadedjur.
- Lämplig teknik för rening är markbaserad rening eller annan biologisk behandling som kan fungera som luktskydd och barriär mot skadliga utsläpp av föroreningar.

Eriksson et al., 2013:1 (s.5)

Där står också att "[...]så kallade kretsloppslösningar är att föredra framför icke-kretsloppslösningar" i enlighet med hushållningsprincipen i 2 kapitlet 5 § miljöbalken (Eriksson et al., 2013:1, s. 6). Kommunen ska alltså vara behjälpliga när det kommer till att installera system som kan anses var kretsloppsanpassade, något som givetvis talar för att låta bygga sådana system som det jag här presenterar.

3.3. Innehåll i grävatten.

Det finns egentligen ingen värdig mall som visar vad det enskilda hushållets grävatten innehåller eftersom vanor och användning av både vatten och hushållskemikalier skiljer sig åt (Sylwan et al., 2015). Innehållet och volymen kan också skilja sig mycket mellan olika perioder beroende på t.ex. antalet personer som befinner sig i hushållet, om man har jobb, går i skola eller har småbarn m.m. Det har genom jämförelse mellan flera studier visat sig att innehåll och föroreningsgrad i grävatten skiljer sig stort från fall till fall (Sylwan et al., 2015). Det har dock gjorts en del studier som sammanställt medelvärden av grävattenproduktion per person. Areskough (2015) har gjort en litteraturstudie och jämfört schablonvärden för BDT-vattens innehåll från nio olika studier och därifrån räknat fram ett medelvärde vilket redovisas i tabell 1.

	BOD ₇	Tot-P	Tot-N
Avloppsguiden.se	28	0,15*	1,4
HVMFS 2016:17	28	0,15*	1,4
NFS 2006:7	28	0,16*	1,4
Areskough (2015) medelvärde	22,45	0,34*	1,13

Tabell 1. Tittar man på flertalet utförda studier ser man att BOD₇ tycks vara något överskattat i HVMFS 2016:17, vilket är det kommunerna utgår ifrån. *Flera av de studier som är gjorda, gjordes under en period då användning av fosfathaltiga tvättmedel fortfarande var tillåten. Fosfater är numera i stort sett förbjudna inom EU (Eriksson et al., 2013:1 (s.12)), varför jag här endast redovisat de lägre värdena från HVMFS 2016:17 och NFS 2006:7.

Utifrån tabell 1 kan man förenklat dra slutsatsen att myndigheternas krav ligger i överkant av vad som kan anses normalt. I min planering kommer jag dock att utgå ifrån värdena som anges i HVMFS 2016:17 och uppskattar att min reningsgrad därför kommer att vara överdimensionerad eftersom jag tror att vi i vårt hushåll dessutom ligger under normen.

Den största utmaningen med att rena grävatten är normalt sett BOD (Biochemical Oxygen Demand), d.v.s. syreförbrukande organiska ämnen, vilka främst kommer från matrester och olika hushållskemikalier

(Eriksson et al., 2013:1). Enligt Eriksson et al. (2013:1, s.13), kan BDT-vattnets miljömässiga föroreningsrisker delas in i tre grupper:

3.3.1. Gödande ämnen

N och P förekommer i mycket små mängder i grävatten (Eriksson et al., 2013).

3.3.2. Tungmetaller

Kommer från matrester, skurhinkar (damn från ytor), och tvättmaskin (metall detaljer på textilier m.m.). Enligt Eriksson et al. (2013) kan det handla om mängder i storleksordningen mg/person och år; koppar 1500, Zink 1500, Krom 70, Nickel 150, Bly 50, Kadmium 4, och Kvicksilver 0. Detta motsvarar värden i mg/L enligt tabell 2 där jämförelse görs med behandlat avloppsvatten från reningsverket Sundet i Växjö.

Metall	Obehandlat grävatten enligt Eriksson et al. (red., 2013:1) mg/L baserat på 110 L / pe, d	Behandlat avloppsvatten Sundet Avloppsreningsverk (2015) mg/L
Koppar	0,037	0,0047
Zink	0,037	0,019
Krom	0,0017	<0,00055
Nickel	0,0037	0,0018
Bly	0,0012	<0,00029
Kadmium	0,000096	<0,00003
Kvicksilver	0	<0,000006

Tabell 2. Jämförelse mellan utgående metaller för grävatten respektive behandlat avloppsvatten.

Koppar kommer i stort sett uteslutande från vattenledningar, (Jönsson et al., 2005) och i mitt fall använder vi plastledningar (PEX rör i rör). Zink kommer huvudsakligen från hudvårdsprodukter och schampor samt vattenledningar (Jönsson et al., 2005). Eftersom vi använder tvålar och såpor utan tillsatser antas även zinkhalten i vårt fall bli mycket lägre. Vid biologisk rening i t.ex. dammar samlas tungmetallerna i bottensedimentet till stor del, (Palm et al., 2002) som därför måste grävas upp med jämna mellanrum och föras bort (Stahre, 2008). I små avloppsanläggningar på landsbygden ansamlas tungmetallerna i infiltrationsanläggningens olika lager.

De sedimenterade metallerna kan sedan göras tillgängliga för växterna att tas upp genom förändringar i pH men det beror också på substratets sammansättning, katjonutbyteskapaciteten och andra faktorer, vilket gör varje substrat unikt i sitt sätt att omsätta metaller (Taghipour et al., 2012). Om pH blir lägre än 6,5 blir metallerna lösta i vattnet om det samtidigt råder brist på organiskt material, enligt WHO (2006).

Hur mycket tungmetaller som kan ansamlas i mitt system beror alltså på flera faktorer och kan svårtligen avgöras utan efterföljande mätningar. Det finns inget krav på rening av tungmetaller men givetvis är det intressant att ta reda på framförallt om man vill kunna använda växter i systemet som mat. Tungmetallernas slutdestination beror delvis på uppehållstiden i systemet där de får en chans att sedimentera, vilket i mitt fall skulle kunna vara i botten av den självbevattande växtbädden där vattnet kommer att vara som mest stillastående, men också i andra delar av systemet då hela flödet sker relativt långsamt, ca 4 dl/min. Koncentrationerna av tungmetaller förväntas dock bli så låga att inga större risker väntas, (WHO, 2006) men regelbundna mätningar bör troligtvis göras för att vara på den säkra sidan om man tänker konsumera

växterna. Man bör också tänka sig för den dagen man byter ut eller tömmer substrat, sediment eller dränerande lager i både biofiltret och växtbäddarna för att se till att man inte sprider ut för höga koncentrationer av tungmetaller någonstans.

Det finns även flera exempel på studier av gråvatten där man inte hittat några mätbara värden eller mycket låga värden av tungmetaller i orenat gråvatten (bl.a. Finley et al, 2009; Friedler, 2004; Mzini, 2013) och enligt WHO (2006) kan gråvatten användas direkt för bevattning utan vidare behandling.

3.3.3. Organiska ämnen

Mäts i Sverige ofta som BOD₇. Orsakar syrebrist i sjöar och vattendrag eftersom nedbrytningen av dessa ämnen kräver syre. Andelen organiskt material (BOD₇) i BDT-vatten motsvarar ca 40-60 % av den totala uppskattade mängden BOD₇ från hushållet (Eriksson et al., 2013).

Organiskt material måste tas omhand, främst för att undvika dålig lukt. En ytterligare anledning till att minska organiskt material är att det indirekt kopplar till smittskyddet. En bra biologisk rening ger en hög avskiljning av smittämnen. En omständighet som dock kan förvirra diskussionen om organiskt material är att BOD även är en dimensioneringsgrund för alla biologiska reningsprocesser. Detta innebär att mängder och reduktion av organiskt material har betydelse för dimensionering och utformning av reningsprocesser och även för kravställande. [...] En förutsättning för god nedbrytning är dock god syresättning och lång uppehållstid
(Eriksson et al., 2013:1, s.23).

1 g fosfor motsvarar syreförbrukningen av 140 g BOD₇ och

1 g kväve motsvarar 20 g BOD₇(Eriksson et al., 2013:1, s.16).

Enligt beräkningen för innehåll av BOD₇, N och P som används i Eriksson et al. (2013:1, s.15), med information från tabell X, HVMFS 2016:17, får vi att:

$$F * pe * t * d = N, P \text{ eller } BOD$$

Där F = förorening; N, P eller BOD. pe = personekvivalenter i hushållet. t = andel tid som man vistas i hemmet. d = antalet dagar man brukar bostaden under året.

I mitt fall:

Specifik fosforbelastning:

$$0,15 * 5 * 0,8 * 365 = 219 \text{ g tot-P / år.}$$

Specifik kvävebelastning:

$$1,4 * 5 * 0,8 * 365 = 2044 \text{ g tot-N / år.}$$

Specifik BOD₇ belastning:

$$28 * 5 * 0,8 * 365 = 40\,880 \text{ g BOD}_7 / \text{år.}$$

Med Areskoughs (2015) medelvärde från tabell 1: 22,45, blir resultatet i stället 32 777 g.

40 880 g BOD₇ motsvarar syreförbrukningen av 40 880 / 140 = 292 g fosfor eller

40 880 / 20 = 2044 g kväve enligt Eriksson et al. et al. (2013:1, s.16).

Med tanke på syreförbrukande ämnen i vattendrag kan vi anta att mängden BOD₇ från behandlat gråvatten är försumbart ur ett större perspektiv (Eriksson et al. et al., 2013:1, s.16). Vi måste dock behandla vattnet på något sätt för att minska de organiska ämnena, främst för att förebygga igensättning och dålig lukt men också eftersom de annars kan orsaka problem om de skulle nå t.ex. en dricksvattentäkt (Eriksson et al., 2013:1)

Listan på potentiellt skadliga organiska ämnen kan göras lång men beror till stor del på det specifika hushållets vanor och användning av hushållskemikalier (Eriksson et al., 2013:1). Genom att min familj medvetet endast använder produkter med låg påverkan, såsom grönsåpa och olivtvål samt undviker miljöfarliga kemikalier, bör vi ligga långt under medelvärdet. Vi använder svanen-märkt maskindiskmedel.

I de fall där urin och fekalier sorteras och samlas upp klarar BDT-anläggningen de reduktionsgrader som Naturvårdsverkets allmänna råd anger för hög skyddsnivå med avseende på fosfor och kväve även om anläggningen inte nämnvärt renar dessa parametrar i och med att ca 90 % av kväve och fosfor redan avskiljs tack vare hushållets sortering av toalettavfallet. Detta resonemang återfinns även i Naturvårdsverkets handbok, "4.3 Typ av avlopp - med eller utan WC" s 48.

(Eriksson et al., 2013:1, s.22)

3.4. Smittämnen

Jakob Ottosson är Dr. Forskare på SLU och SVA inom ämnesområdet hälsorelaterad miljömikrobiologi, d.v.s. sjukdomsframkallande mikroorganismers beteende utanför sin värd samt sannolikheten att dessa ska infektera nya värdar via miljön. Jakob är en av författarna i Eriksson et al. (2013).

Jakob förklarar att merparten smittämnen i blandat avloppsvatten kommer från fekalier och man kan därför konstatera att smittrisen för gråvatten är liten, 100 till 1000 gånger mindre än för blandat avlopp, och enligt Peter Ridderstolpe, specialist på källsorterande lösningar och naturnära behandlingsteknik, utgör obehandlat gråvatten en betydligt mindre smittrisk än behandlat kommunalt spillvatten." (Eriksson et al., 2013:1, s.18). Jakob menar att när man tittar på smittrisker från BDT vatten kan det sättas i relation till den smittrisk det innebär att umgås med grannar och den största risken är egentligen om gråvattnet når en dricksvattentäkt. Övriga smittvägar behöver man enligt Jakob inte bekymra sig över enligt följande citat :

För övriga potentiella spridningsvägar från behandlat BDT-vatten ansåg inte Jakob att man behövde bekymra sig. Dessa andra exponeringar utgörs av kontakt vid vatten i ett dike, bad i närliggande ytvatten eller konsumtion av dricksvatten producerat från ytvatten som i sin tur belastas av BDT-vatten som filtrerats genom mark.

Eriksson et al., 2013:1, s.20

När det kommer till att odla ätbara växter i gråvatten visar tidigare studier att de största riskerna för mikrobiell kontamination av växternas blad äger rum vid bevattning där gråvattnet kommer i kontakt med bladen och att denna risk kan minimeras genom att bevattna direkt till rötterna och substratet (WHO 2006; Finley et al. 2009).

Grusfyllda hydroponiska system, vilket liknar det system som jag här presenterar, renar också smittämnen effektivt, troligtvis genom flera olika mekanismer såsom adsorption, filtrerande predation och inaktivering genom omgivningsstressorer (El-Serehy et al., 2014).

3.5. Förbehandling av gråvatten

För att kunna rena gråvattnet under lång tid utan igensättning av biofiltret, samt för att undvika dålig lukt, krävs att vattnet som kommer in i reningen är så fritt från partiklar som möjligt. För att åstadkomma det används traditionellt sett en trekammarbrunn där partiklarna tillåts sedimentera. Detta skapar dock anaeroba förhållanden och dålig lukt när man öppnar trekammarbrunnen. Därför ville jag hitta en metod som var luktfri men ändå väl fungerande. Jag läste först om det s.k. mullfiltret i Areskough (2015), vilket tilltalade mig. Mullfiltret består av en behållare som fylls med ”mull”. I mullen fångas alla större partiklar upp vilka sedan bryts ned av diverse mikroorganismer samt kompostmaskar. Efter att vattnet filtrerats genom mullfiltret kan det sedan rinna vidare till själva växtbäddarna.

Hos Folke Günther stötte jag på den mest intressanta metoden vilken innebär att vattnet inkl. organiskt material pumpas direkt till växtbäddarna som bebos av mikroorganismer men även kompostmaskar som effektivt bryter ner det organiska materialet. Denna metod är den jag vill använda i mitt system, tillsammans med att använda grovsilar i diskbänksvasken för att ytterligare minimera avfallet.

3.6. Hydroponik

Hydroponisk odling innebär att man odlar växter i en vatten- och näringslösning. Detta har även undersökts som metod för att rena olika typer av avloppsvatten och refereras då ibland till som biopnik (Norström, 2005). I det fall då någon typ av avloppsvatten används kan det vattnet då betraktas som näringslösningen. I mitt arbete benämns metoden att odla växter i vatten utan jord som hydroponisk odling.

En anledning till att använda sig av hydroponik, d.v.s. växter med vatten som substrat för att rena avloppsvatten är t.ex. att få en återanvändning av näringsämnen för att producera användbara växter. Rötterna hos växterna fungerar också som ett fast substrat för de mikroorganismer som hjälper till vid rening av vattnet.

Vid hydroponisk odling måste växterna få tillräcklig tillgång på syre vilket innebär att vattnet som passerar måste vara tillräckligt syresatt eller att syre kan tillföras rötterna på annat sätt, t.ex. genom att substratet med jämna mellanrum töms på vatten.

3.7. Växthuset

För att kunna rena gråvatten genom odling av växter i vårt kalla klimat krävs någon form av uppvärmning. Dessutom krävs det rimliga mängder ljus för växterna.

Värmen kan man lösa genom att placera systemet i ett växthus. För att värma växthuset krävs någon form av värmekälla men det räcker dock med att temperaturen håller sig mellan 5-10 grader för att få en effektiv rening. Det finns flera studier på s.k. intermittenta reningsfilter som visat att reningsgraden inte påverkas nämnvärt av kalla temperaturer, särskilt BOD anses i stället om något ge bättre rening (Svete, 2012). I Norströms (2005) studie testade man att bygga ett hydroponiskt reningsystem för blandat avloppsvatten

och där fann man att reningsgraden inte försämrades nämnvärt trots kallare temperatur och mindre ljus (10 °C och 400 lux 16 h/dag).

I mitt fall räknar jag med att växtligheten avstannar helt under vintern och kanske får ersättas på våren. Biofiltret i sig är tillräcklig rening utan växterna som alltså är en bonus man får under sommaren. Vill man ha kvar växtligheten under vintern får man installera belysning.

Uppvärmning kommer att ske dels med det grävatten som kommer från huset, dels med solinstrålning och vid behov med tillskottsvärme från husets vattenburna värmesystem genom att slingor installeras i växthusets golv. Växthuset ska byggas tätt och med isolerande material i möjligaste mån för att kunna behålla en rimlig temperatur under vintern (5-10 °C).

3.8. Dimensionering

Dimensionering av själva reningsbäddarna var en av de största utmaningarna eftersom jag inte visste på förhand vilka mängder vatten jag var tvungen att rena eller hur mycket föroreningar (främst BOD₇) jag skulle vara tvungen att rena. Av dessa anledningar utgick jag från principen *ju mer dess bättre*. Eftersom ett av mina mål också varit att bygga resurssnålt ville jag använda stuprör som jag hade liggande som jag fått från olika byggen där de annars skulle ha kasserats. Stuprören är i nyskick och jag förväntar mig en livslängd på minst 20 år, eller mycket mer om de kan skyddas från solljus. Rännorna är tillverkade av återvinningsbar blyfri styv PVC plast utan mjukgörare.

Jag har valt att dimensionera utifrån en minimivolym där jag beräknat daglig vattenmängd, och sedan tänkt bygga så stort biofilter som möjligt utifrån mina material och min yta. Sedan är det viktigt att se till att det finns tillräckligt stor volym i systemet för att buffra punktflöden vid exempelvis bad-tillfällen. Skulle anläggningen visa sig underdimensionerad på något sätt är det enkelt gjort att öka kapaciteten genom att bygga till fler biofilter-rännor.

Jag ville använda mig av söderväggen för reningssystemet eftersom värmen i grävattnet då håller väggen och växthuset delvis uppvärmt under vintern. Dessutom sparar det plats i resten av växthuset som jag vill använda till traditionell odling m.m.

Mängden producerat grävatten är ännu en sak som är helt beroende på det enskilda hushållets vanor samt den vattenarmatur som finns installerad. Enligt Peter Ridderstolpe kan följande värden vara rimliga tumregler för BDT-vatten:

För äldre, ny och framtida bebyggelse (liter per person och dygn):

Äldre bebyggelse ca 130 l/p, d

Ny bebyggelse ca 110 l/p, d

Framtida bebyggelse ca 90 l/p, d

Dimensioneringen för maxflöde blir 400–600 l per hushåll om 5

personekvivalenter (pe) och dygn.

Eriksson et al., 2013:1, s.11

I olika studier där man mätt mängden gråvattenförbrukning visas också att det varierar stort från hushåll till hushåll. I Eriksson et al. (2013) redovisas 8 olika studier där mängden varierar allt emellan 56 l/p, d till 150 l/p, d.

I mitt system räknar jag med att vi använder värdet för ny bebyggelse enligt Peter Ridderstolpes rekommendation ovan. Det skulle innebära $110 * 5 = 550 \text{ L} / \text{dygn}$. För att räkna ut den största punktbelastningen av gråvatten har jag använt följande beräkning:

Badkar	300 L
Diskmaskin	13 L
Tvättmaskin	60 L
Avtappning disk, handfat	10 L
Max flöde /h	383 L

Det maximala flödet per minut har jag räknat ut på följande sätt:

Badkar	$300 \text{ L} / 5 \text{ min} = 60 \text{ L} / \text{min}$
Diskmaskin	$13 \text{ L} / 2 = 6,5 \text{ L} / \text{min}$
Tvättmaskin	$60 \text{ L} / 6 = 10 \text{ L} / \text{min}$
Avtappning disk, handfat	$10 \text{ L} / 2 \text{ min} = 5 \text{ L} / \text{min}$
Max flöde	81 L / minut

Jag måste alltså ha en buffert-behållare i början av systemet som rymmer minst 383 L för att vara på den säkra sidan. Jag har valt att dessutom räkna med att det kan förekomma andra flöden vid enstaka tillfällen, så som läckor i vattenrör eller någon form av spolning. Därför kommer jag att använda en 1000 l IBC tank för det inkommande vattnet. Detta säkrar även upp för eventuella strömavbrott eller pumphaverier. Från denna tank pumpas vattnet tillsammans med eventuella större partiklar, matrester och dylikt med hjälp av en dränkbar pump upp till översta delen av reningssystemet. Systemet är utformat för att klara viss belastning av matrester men det mesta ska tas om hand redan i diskhon med hjälp av grovsilande proppar.

Vid mindre flöden riskerar systemet att gå torrt vilket inte är bra för de mikroorganismer som lever i biofiltret. För att avhjälpa det problemet installeras ett rör med flytventil från sista behållaren som vid behov kan leda vattnet tillbaka till buffert tanken igen genom självfall. Detta gör att vid låga flöden kommer allt vatten i systemet att cirkulera flera gånger. Detta medför att man får en cirkulation av vattnet varje natt genom systemet flera gånger vilket naturligtvis renar vattnet mer. Exakt hur många liter som ska pumpas i minuten är svårt att säga på förhand och kommer säkert behöva finjusteras genom att använda en reglerbar pump. Om man vill ha ett jämt flöde i systemet och den dagliga tillförseln av vatten är 550 L blir det således $550 \text{ L} / 1440 \text{ min} = 0,4 \text{ L} / \text{min}$.

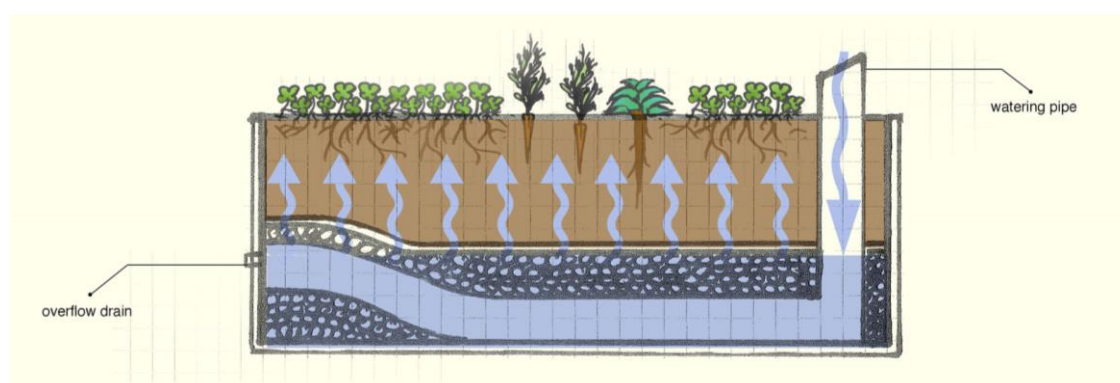
För att veta hur många rännor jag behövde kollade jag på ett litet reningsverk som är godkänt på marknaden som heter BioBox XL som renar upp till 600 l/dygn. Detta reningsverk bygger på samma koncept som det jag ska bygga. Det består helt enkelt av 4 filterelement där vattnet passerar igenom. Filterelementen har olika porstorlekar och bebos av mikroorganismer. Filterelementens specifika yta är ca 5-10 m² vilket enligt tillverkaren motsvarar ca 12 m² infiltrationsbädd. Detta filter är dock avsett för så flöden, max 75 L/min.

Leca kulor har en yta på 250-300 m²/m³ (FAO, 2014). Kol har en specifik yta på 500-1500 m²/g, och en densitet av 550 – 1430 kg/m³.¹ Detta ger en specifik yta på minst 2,75*10⁸ m²/m³ vilket är extremt mycket. Enligt Wikipedia gäller detta för s.k. aktivt kol och tittar man på andra studier som gjorts gällande biokol ser man att det är betydligt mindre, 8,1 m² / g i en studie (Skytte af Sättra, 2010), och mellan ca 1 – 200 m² / g i en annan studie (Zhao et al., 2013). Det beror på flera faktorer men främst på hur man framställer kolet (temperatur), från vilken källa man tar materialet, (Sun et al., 2014; Zhao et al., 2013) samt hur mycket man krossar det. I mitt fall kommer jag att utgå ifrån 8,1 m²/g för att vara på den säkra sidan men värdet kan möjligen bli betydligt högre. I mitt fall blir alltså den specifika ytan 8,1 m²/g = 7,1*10⁶ m²/m³, förutsatt att densiteten på kolet är 880 kg/m³ (medelvärde ur värden angivna på wikipedia.²)

Mitt substrat i biofiltret blir en blandning av leca kulor och biokol i förhållandet 3:1. Biofiltret består av 15 stycken pvc rör som är 2 m långa och med en diameter av 8 cm. Detta ger en total volym i biofiltret av 0,15 m³. Varav leca 0,1125 m³ och kol 0,0375 m³. Den totala specifika ytan blir för leca ca 28 – 34 m² och för kol 266 250 m². I detta hänseendet ser man tydligt att kolets specifika yta är enorm jämfört med vanligtvis använda substrat i hydroponisk odling. Det finns sålunda plats för väldigt många mikroorganismer som kan hjälpa till med nedbrytning och rening av gråvatten. Till detta kommer dessutom rötternas yta som jag för enkelhetens skull valt att inte räkna med. Systemet kan likväl ses som gott och väl tillräckligt i detta hänseende.

3.9. Efterbehandling av gråvatten

Efter det att vattnet passerat det hydroponiska biofiltret släpps det genom självfall vidare till en självbevattningsbädd (eng. wicking bed) inne i växthuset, se figur 1. Detta ger ytterligare en användning av vattnet och eliminerar troligen helt behovet av bevattning i växthuset under växtsäsongen. När denna är fylld upp till en viss nivå sker en automatisk avtappning genom självfall vidare till en liten trädgårdsdamm som belagts med tätskikt och utrustats med en vattentrappa. Under vintern får vattnet bara naturligt rinna nedför sluttningen och frysa på marken eller infiltrera genom jorden i trädgården om dammen fryser. Överflödet från denna damm hamnar i ett breddavlopp som låter vattnet sippra ut över marken i trädgården där vi odlar olika buskar och örter.



Figur 1. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/be/eb/66/beeb660ed21b5e54648c845788176519.jpg>

¹ https://sv.wikipedia.org/wiki/Aktivt_kol

² https://sv.wikipedia.org/wiki/Aktivt_kol

4. Resultat

4.1. Studiebesök hos Folke Günther

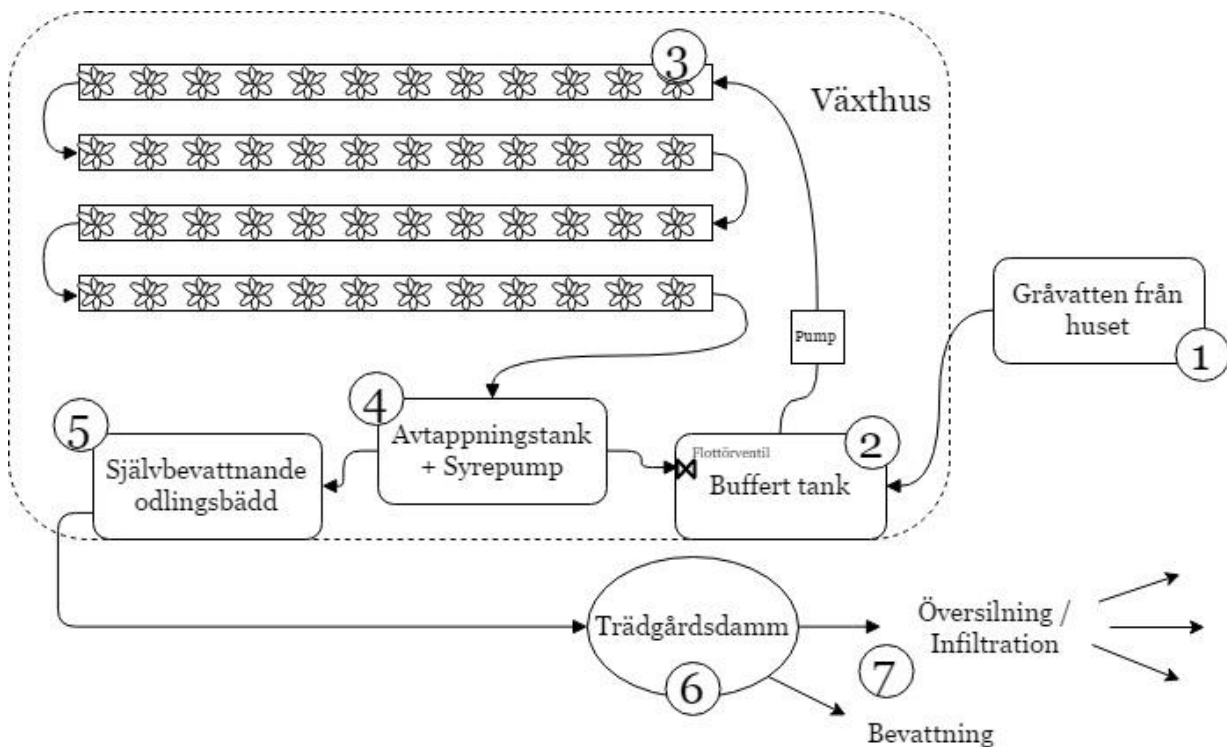
Folke bor på en liten gård i Södra Rörum utanför Höör i Skåne. Han har länge varit intresserad av kretslopp och vattenhushållning, bland annat rening av gråvatten. Han har varit med och designat olika system för kretsloppsanpassad vattenrening på bland annat Gotland och i Kalmar. Folke menar att det är väldigt enkelt att få en bra vattenkvalitet genom att låta gråvattnet passera ett bio-filter som det jag här har beskrivit. Det system han var med och byggde på Gotland gav ett vatten som var tio gånger renare än dricksvattenkraven. Folke gav mig även tips på saker som man bör tänka på när man designar systemet. Det är bra att ha så stor volym som möjligt i systemet så att man kan cirkulera vattnet flera gånger under tiden som det kommer in nytt vatten. Har man en förbrukning på 600 L per dag så är det bra om man kan dimensionera det till 1200 L per dag. På så vis kan man återcirkulera samma mängd ytterligare en gång genom systemet innan vattnet rinner vidare till trädgården eller dammarna.

En annan sak som Folke påpekade är att man mellan varje steg i systemet bör se till att vattnet får *falla* ner till nästa nivå så att man får en porlande effekt och därigenom syresätter vattnet. Alternativt kan syrepump användas. Detta eftersom syretillförsel är mycket viktigt för de aeroba mikroorganismerna.

Folkes råd är att använda ett inert material så som leca utblandat med träkol för att få optimal yta för mikroorganismer. Det är även bra att ha kompostmaskar i systemet som hjälper till att bryta ner organiskt material. I och med maskarna och mikroorganismerna kan man undvika slamavskiljningssteget.

4.2. Reningssystemet

Utefter den teoretiska bakgrund som här presenterats har jag kommit fram till följande systemdesign som bygger på hushållning och kretslopp med vatten, näring och (värme)energi samt ett medvetandegörande hos brukarna om vilka produkter som används och spolats ned i hushållets gråvattenavlopp:



Figur 2. Systembild över reningsystemet

Här beskriver jag nu systemets olika delar:

1: Grovsilning av matrester sker redan i diskhon. Miljövänliga hushållskemikalier används vilket minskar belastningen på systemet.

2: Bufferttankens främsta uppgift är att utjämna flödet samt att vara en buffert i händelse av felande vattenpump.

3: Biofiltret bestående av 15 st PVC-stuprör med hål borrade för att kunna plantera in växter. Rören är fyllda med substrat bestående av $\frac{3}{4}$ volymdelar LECA kulor och $\frac{1}{4}$ biokol.

4: Avtappningstanken är en syresättningstank som ger syre till vattnet innan det åker vidare till växtbädden. Det är ett mellansteg som är nödvändigt vid låga flöden t.ex. på natten då vatten återcirkuleras till bufferttanken automatiskt genom självfall och en flottörventil som sitter i bufferttanken.

5: En självbevattande växtbädd med jord som substrat, en mer traditionell typ av odlingsbädd där vattnet kan sugas upp i jorden genom kapillärkraften. Botten av bädden och tillika vattenmagasinet består av grus och har försetts med vattentätt membran. Ovanpå detta ligger jorden och mitt emellan dessa båda lager finns ett överloppsror som ser till att överflödigt vatten passerar vidare till nästa steg.

6: Trädgårdsdammen som också är försedd med syrepump säkerställer att vattnet kan flöda även på vintern samt att tillräckligt med syre finns tillgängligt för fortsatt nedbrytning av organiska ämnen.

7: I sista steget sker en översilning i en sluttning ner över trädgården som är bevuxen med en diverse vegetation bestående av olika buskar, träd och örter. Man kan också ta vatten manuellt med hink direkt ur dammen för bevattning så länge man ser till att inte bevattna direkt på åtliga blad utan istället bevattna själva jordytan. Detta kan säkerställas genom att anlägga speciella bevattningsdiken som fylls med träflis.

5. Diskussion

Den största nackdelen med systemet som jag har identifierat är vintersäsongen. Eftersom jag inte ännu varken testat eller ens byggt det växthus där systemet ska placeras är det svårt att argumentera för att det kommer att fungera. Visst kan man hävda att man alltid kan tillföra tillskottsvärme, men om den inputen blir alltför stor försvinner lite tanken bakom hela systemet, att vara en hållbar del av kretsloppet.

En annan utmaning är hur jag ska kunna bevisa för kommunen att systemet kommer att rena vattnet tillräckligt, speciellt under vintern. Rent tekniskt skulle kommunen kunna se det som att systemet i växthuset bara är ett förbehandlingssteg och att efterföljande rening då fortfarande saknas i min design. För att visa att jag faktiskt renar vattnet tillräckligt kan det som jag i mitt arbete beskrivit kräva att jag ska bevisa reningseffekten genom regelbundna tester under en period, något som troligtvis skulle bli väldigt kostsamt.

Hur kommunen kommer att se på systemet vet jag ju dock inte än och det återstår att se efter det att jag presenterat min design för dem.

6. Slutsatser

Grävatten är generellt sett enkelt att rena från näringsämnen och smittriskan är jämförbar med dagligt umgänge mellan människor.

Grävatten kan se väldigt olika ut i sin sammansättning men man utgår ändå från en schablon i regelverket.

Kommuner i allmänhet tycks nu vara öppna för alternativa avloppslösningar. Det viktiga är att hålla en god kommunikation med miljöinspektörerna.

Kommunen ska främja utvecklandet av kretsloppsbaseerade system.

En möjlig utmaning med att utveckla egna avloppssystem kan vara bevisbördan inför kommunen.

Referenser

- Almqvist, H. ; Andersson, Å. ; Jensen, A. ; Jönsson, H. (2007). Sammansättning och flöden på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers. Svenskt Vatten Utveckling.
- Alvesta kommun. (2017). Enskilt avlopp. <http://www.alvesta.se/Bostad--Miljo/Vatten--avlopp/Enskilt-avlopp>
- Areskough, H. (2015). Litteraturstudie över BDT-vattens miljö- och hälsopåverkan, lagstiftning och lämpliga lösningar för två utvalda koloniområden i Malmö. Examensarbete för filosofie magisterexamen 30 hp. Lunds universitet.
- Avloppsguiden. (2017a). Infiltration. <http://husagare.avloppsguiden.se/infiltration.html>
- Avloppsguiden. (2017b). Efterbehandling. <http://husagare.avloppsguiden.se/efterbehandling.html>
- Avloppsguiden. (2017c). Bad- disk- och tvättvatten, BDT. <http://husagare.avloppsguiden.se/bad--disk--och-tv%C3%A4ttvatten-bdt.html>
- Eriksson et al., B. (red). (2013) Bad-, disk- och tvättvatten– hur farligt är det? Risker, skyddsbehov och reningstekniker. 2013:1. Kunskapscentrum små avlopp.
- Finley, S., Barrington, S., and Lyew, D. (2009). Reuse of domestic greywater for the irrigation of food crops. *Water, Air, and Soil Pollution*, 199: 235-245.
- El-Serehy, Bahgat, Al-Rasheid, Al-Misned, Mortuza, & Shafik. (2014). Cilioprotists as biological indicators for estimating the efficiency of using Gravel Bed Hydroponics System in domestic wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(3), 250-255.
- Eveborn, D., Gustafsson, J. P., Holm, C. (2009). Fosfor i infiltrationsbäddar – fastläggning, rörlighet och bedömningsmetoder. Rapport Nr 2009-07. Svenskt Vatten Utveckling.
- Friedler, E. (2004). Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities. *Environmental Technology*, 25(9), 997-1008.
- Günther, F. (2000). *Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden*. Department of systems Ecology, Stockholm University. *Ecological Engineering* 15 (2000) 139-146
- Manahan, S. E. (2010). *Environmental Chemistry*. 9th edition. CRC Press.
- Mzini, L.L. (2013). *The effects of greywater irrigation on vegetable crops and soil*. Submitted for the degree of Master of Science in Environmental and Geographical Science at the University of Cape Town.
- Naturvårdsverket (2003). Faktablad om enskilda avlopp.
- Naturvårdsverket (2008). Små avloppsanläggningar. Handbok till allmänna råd 2008:3.
- Norström, A. (2005). *Treatment of domestic wastewater using microbiological processes and hydroponics in Sweden*. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology. Department of Biotechnology. Stockholm 2005.
- Ocampo-Martinez, C. ; Puig, V. ; Cembrano, G. ; Quevedo, J. (2013). *IEEE Control systems magazine*. Feb 2013. P. 15-41

Palm, O., Malmén, L., Jönsson, H. (2002). Robusta, uthålliga små avloppssystem. En kunskaps-sammanställning. Naturvårdsverket rapport 5224.

Skytte af Sättra, J. (2010). Biokol som jordförbättring i en mineraljord. Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, 15hp. SLU.

Stahre, P. (2008). Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden. Malmö's way towards a sustainable urban drainage. VA Syd.

Svete, L. E. (2012). *VEGETATED GREYWATER TREATMENT WALLS: Design Modifications for Intermittent Media Filters*. Thesis submitted to UMB in partial fulfillment of the requirements for MSc Environment and Natural Resources: Specialization Sustainable Water and Sanitation, Health and Development. Norwegian University of Life Sciences (UMB)

Sylwan, I. ; Alm, J. ; Johansson, M. ; Morey Strömberg, A. (2015). *Reningseffektivitet hos BDT-anläggningar för små avlopp. -Utarbetande av förslag till svensk provningsmetod*. JTI-rapport 2015, Kretslopp & Avfall nr 52.

Taghipour, H., Mosaféri, M., Pourakbar, M., & Armanfar, F. (2012). Heavy Metals Concentrations in Groundwater Used for Irrigation. *Health Promotion Perspectives*, 2(2), 205–210. <http://doi.org/10.5681/hpp.2012.024>

World Health Organization (2006). WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume IV Excreta and greywater use in agriculture. Geneva: WHO Press.

Yining Sun, Bin Gao, Ying Yao, June Fang, Ming Zhang, Yanmei Zhou, Hao Chen, Liuyan Yang, Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties, *Chemical Engineering Journal*, Volume 240, 15 March 2014, Pages 574-578, ISSN 1385-8947, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.081>.

Zhao, Ling, Cao, Xinde, Ma A ek, OndAEj, & Zimmerman, Andrew. (2013). Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures. *Journal of Hazardous Materials*.