

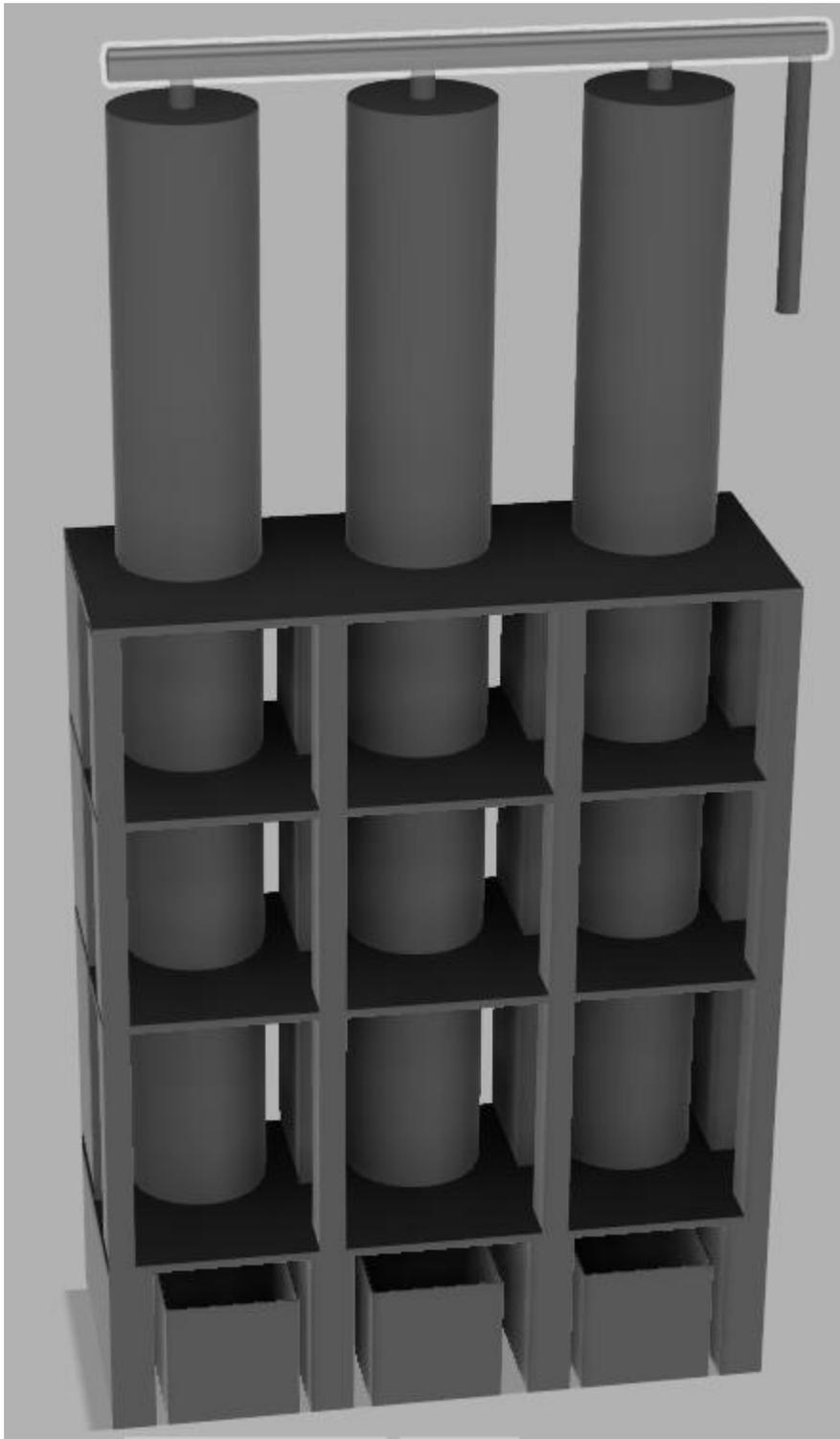
Norges miljø- og biovitenskapelige  
universitet  
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi  
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2015  
30 stp

# Rensing og gjenbruk av gråvann til hydroponisk forsøk med urin som næring

## Treatment and Reuse of Gray Water for Hydroponic Experiment Using Urine for Nutrients

Anders Budde Erichsen





## Forord

Denne oppgaven er resultatet av et master prosjekt om kildeseparasjon og ressursgjenvinning ved Norges universitet for miljø- og biovitenskap (NMBU), institutt for matematiske realfag og teknologi, og er det avsluttende arbeidet i min mastergrad i vann- og miljøteknikk. Oppgaven utforsket rensing og gjenbruk av gråvann, for videre bruk et hydroponisk system tilført urin. Hovedveileder har vært Arve Heistad, og Micael Wendell har vært biveileder.

Under årene på NMBU, har jeg lært om flere temaer innen vann og avløp. Jeg fikk interessen for gjenbruk av ressurser og dyrking av planter. Dette gjorde oppgaven til et privilegiet for meg. Den hadde også en praktisk del hvor jeg fikk bygge et rensefilter og etter hvert et hydroponisk system, noe som var veldig lærerikt. Filter-kolonnene er fortsatt i drift og jeg håper de kommer til nytt i andre prosjekter.

Jeg vil rette en stor takk til mine veiledere, Arve Heistad og Micael Wendell. Takk til Melesse Eshetu Moges for god hjelp med laboratorieforsøk, og gode innspill til oppgaven. Takk til Oda Bentzrød for korrektur av det skriftlige.

Anders Budde Erichsen

Ås, 13.12.2015



# Sammendrag

Befolkningsvekst og klimaendringer fører til mangel på ressurser. Det er behov for løsninger som har en positiv effekt på; trygt drikkevann, næringsstoffer til matproduksjon, og energibruk. I denne oppgaven ble et gråvann-rensesanlegg testet, som skulle rense gråvann til en slik kvalitet at det kan brukes igjen. Bruk som omfatter formål hvor man ikke trenger drikkevanns-kvalitet. Renset gråvann ble så brukt i et hydroponisk system med planter, hvor urin ble tilsatt som næring. Ved å bruke urin som næring direkte til plantene trenger man ikke tilsette kunstgjødsel, og en sparer energi og næringsstoffer.

Det ble konstruert og bygget tre kolonner med filtermedia i, bestående av Filtralite og aktiver kull. Gråvannet ble hentet fra et kildeseparerende avløpssystem på NMBU. Først ble det rensed i Ecomotive sitt gråvann-rensesanlegg, A02, deretter gikk det gjennom en UV-behandling, før det ble distribuert over filter-kolonnene. Hydroponi forsøket besto av fem reservoarer med tilsvarende fem hydroponi-systemer. To av reservoarene var kontroller, en negativ som besto av avionisert vann, og en positiv som var kranvann tilsatt kunstgjødsel. De tre resterende reservoarene inne holdt gråvann fra hver av filter-kolonnene, et fikk tilsatt mye urin, et tilsatt mindre urin, og et reservoar inneholdt bare det rensede gråvannet.

Analyse av det rensede gråvannet viste under 0 for E. coli og koliforme bakterier, det var også helt klart og uten lukt. Ammonium og nitrat ble målt til verdier under kravene for drikkevann, COD var også vanligvis lav, men med noen tilfeller over kravene for drikkevann. Totalt nitrogen og fosfor ble målt til henholdsvis 0,8-1,4 mg/l og 0.22-0,35 mg/l. Det ser derfor ut til å være trygt for gjenbruk men ikke som drikkevann eller til matlagning, da vi ikke vet noe om metaller eller mikroforensninger. Mengden med nitrogen og fosfor vil komme ekstra godt til hvis man ønsker å bruke vannet for å dyrke planter.

Hydroponi-forsøket med rensed gråvann tilsatt urin gjennomgikk store forandringer de tre første ukene. PH- og EC-verdiene økte kraftig og førte til forhold som var skadelige for plantene i forsøket. Det gikk hardest utover plantene som fikk vann tilsatt mye urin. Det ble tydelig at pH må måles og reguleres daglig til man får kartlagt tydelige de reaksjonene som oppstår. Forsøk med planter for å se etter bristsymptomer med tanke på tilgjengelig næringsstoffer bør også utføres, men over en lengre perioden enn tre uker som mitt forsøk ble på. Mitt forsøk med plantene ble for kort til at det kan slutes noen konklusjoner der av dem.

Kolonnene skal brukes videre til andre prosjekter og master oppgaver. Jeg har forslag til forbedringer som kan gjøres med filtrene, og forslag til hvilke oppgaver som kan gjøres for å skaffe mer nøyaktige resultater. Oppgaven var mye bredere enn jeg trodde i starten, og det var mange temaer hvor man kunne gå detaljert inn i. Det finnes lite eller ingen informasjon om forsøk med bruk av gråvann og/eller urin i hydroponiske systemer, så et spennende område og fortsette forskning i.



## Abstract

Population growth and climate changes are expected to lead to lack of resources. There is a need for solutions that have a positive effect on; safe drinking water, nutrients for agriculture, and energy use. In this thesis I made and tested a grey water treatment solution, that were supposed to clean grey water to such quality that it can be used again. Use that don't require drinking water quality. The treated grey water was then used in a hydroponic system with plants, and added urine for nutrients. By using urine as nutrients for plants, you don't have to use industrial made nutrients, and save energy and resources.

I constructed three columns and filled them with filter material, Filtralite and activated carbon. The grey water was collected from a source separating sewer system at NMBU. First it was treated in Ecomotive grey water treatment solution A02, then it UV-treatment, before distributed in the filter-columns. The hydroponics experiment consisted of five reservoirs with corresponding five hydroponics systems. Two of the reservoirs were controls, a negative which consisted of deionized water, and a positive was tap water added fertilizer. The three remaining reservoirs contained greywater from each of filter columns, one added much urine, one with less urine added, and a reservoir contained only the purified greywater.

Analysis of the purified gray water showed below 0 for E. coli and coliform bacteria, it was also quite clear and odorless. Ammonium and nitrate were measured to values below the requirements for drinking water, COD was also generally low, but in some cases above of the requirements for drinking water. Total nitrogen and phosphorus were measured respectively to 0.8-1.4 mg / l and 0.22- 0.35 mg / l. It therefore appears to be safe for reuse but not for drinking or cooking, because we do not know anything about metals or micro pollutions. The amount of nitrogen and phosphorus is extra useful if one wants to use the water to grow plants.

The hydroponics experiment with purified gray water added urine underwent significant changes over the first three weeks. PH- and EC values increased sharply and led to conditions that were harmful or stressing for the plants in the trial. It was worse for plants that received water containing much urine. It became evident that the pH must be measured and adjusted daily to it gets mapped and understands the reactions that occur. Experiments with plants to look for symptoms in terms of available nutrients should also be performed, but over a longer period than three weeks. My experiments with plants was too short to make a conclusion about available nutrients.

The columns will be used on other projects and theses. I have made suggestions for improvements that can be done with filters, and suggestions for tasks that can be done to obtain results that are more accurate. The task was much wider than I thought at first, and there were many issues where one could go into details There is little or no information about experiments with the use of gray water and / or urine in hydroponic systems, I believe it an exciting area to continue research in.



## Innholdsfortegnelse

Forord .....	1
Sammendrag.....	2
Abstract .....	3
Liste over forkortelser .....	6
Ordforklaringer .....	6
Liste over figurer.....	7
Liste over tabeller .....	7
1. Introduksjon .....	8
1.1 Ressurser i avløpet .....	9
1.1.1 Næringsstoffer.....	9
1.1.2 Organisk Materiale .....	9
1.1.3 Energi.....	9
1.1.4 Vann .....	9
1.3 Næringsstoffer .....	11
1.3.1 Fosfor .....	11
1.3.2 Nitrogen .....	12
1.3.3 Kalium og ande næringsstoffer .....	13
1.4 Fraksjoner i avløpsvannet .....	14
1.4.1 Svartvann .....	14
1.4.2 Gråvann.....	14
1.4.3 Krav til rensed gråvann .....	14
1.4.4 Urin som næringstilsetning.....	15
1.5 Desentralisering og kildeseparasjon.....	16
1.5.1 Desentralisering .....	16
1.5.2 Kildeseparasjon .....	16
1.6 Hydroponi og vertikalt landbruk .....	17
1.7 Desentralisering i Norge .....	18
1.8 Behov for å koble mat og avløp.....	19
1.9 Mål for oppgaven .....	20
1.9.1 Problemstilling .....	20
2. Materialer og metode.....	21
2.1 Materialer.....	21
2.1.1 Gråvann.....	21
2.1.2 Ecomotive Gråvannrensaneanlegg A02 .....	22



2.1.3 Rensefiltrene .....	23
2.1.4 Hydroponi forsøk med urin og planter .....	25
2.2 Bygging av filter - Dimensjonering og fylling av kolonnene .....	26
2.2.1 Dimensjonering av lagene i kolonnene .....	26
2.2.2 Fylling .....	26
2.3 Styring og logging .....	27
2.3.1 Styring av pumpe med Arduino, belastning på filteret .....	27
2.3.2 Temperatur logging med Raspberry Pi .....	27
2.4 Analyse av rensset vann .....	27
2.5 Analyse av hydroponi forsøk .....	29
3. Resultater .....	30
3.1 Vann .....	30
3.1.1 Vannkvalitetsparametere .....	30
3.1.2 Temperaturer .....	30
3.1.3 TSS .....	30
3.1.4 E. coli .....	30
3.2 Hydroponiforsøk .....	31
3.2.1 Urin tilsetning .....	31
3.2.2 EC og pH .....	31
3.2.1 Planteobservasjoner .....	33
4. Diskusjon .....	34
4.1 Vannkvalitet .....	34
4.2 Hydroponiforsøk .....	36
4.2.1 EC og pH .....	36
4.2.2 Planteobservasjoner .....	36
4.3 Veien videre .....	37
4.3.1 Forbedring på kolonner .....	37
4.3.2 Forsøk .....	37
5. Konklusjon .....	38
6. Kilder .....	39
7. Vedlegg .....	43
Vedlegg A: Filtralite NR 2-4 .....	43
Vedlegg B: Filtralite NC 0,8-1,6 .....	44
Vedlegg C: Filtralite NC 1,5-2,5 .....	45
Vedlegg D: Aktivert kull .....	46



## Liste over forkortelser

ATP	Adenosintrifosfat (adenosine triphosphate)
BW	Svartvann (black water)
BOD	Biologisk oksygen forbruk (biological oxygen demand)
COD	Kjemisk oksygen forbruk (chemical oxygen demand)
DNA	Deoksyribonukleinsyre (deoxyribonucleic acid) (arvemateriale)
EC	Elektrisk ledningsevne (electric Conductivity)
E. coli	Escherichia coli (bakterie)
GW	Gråvann (grey water)
LED	Lysdiode (light emitting diode)
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
RNA	Ribonukleinsyre (ribo nucleic acid) (arvemateriale)
SQL	Relasjonsdatabase (structured query language) (programmeringsspråk)
UV	Ultrafiolett (ultraviolet) (elektromagnetisk stråling)
WHO	Verdens helseorganisasjon (World Health Organization)

## Ordforklaringer

Eutrofiering	Økning av næringsinnhold i vann
Fekal	Har sammenheng med avføring
Patogen	Sykdomsfremkallende
Slam	Sluttprodukt ved rensing av vann og avløp
Svartvann	Avløpsvann fra toaletter



## Liste over figurer

Figur 1: Kilder til fosfor, fra 1800 til 2000. Mesteparten kommer fra fosfatstein. Kilde: (Cordell, Drangert et al. 2009) .....	11
Figur 2: Peak-fosfor kurven, inkluderer den modellerte Hubbert kurven, og faktisk fosforproduksjon per år representert av de svarte punktene. Kilde: (Cordell, Drangert et al. 2009).....	12
Figur 3: Nitrogensyklusen slik den opptrer på jorden. Kilde: Høgskolen i Oslo, www.hio.no .....	13
Figur 4: Forslag til dimensjonerende vannmengde avhengig av antall boliger tilknyttet. Basert på tall fra (Heistad 2012).....	18
Figur 5: Oppbygning av Ecomotive gråvannsanlegg. Kilde: Bioforsk Rapport Vol. 3 Nr. 106 2008 .....	22
Figur 6: Gråvannskvalitet etter rensing i Ecomotive. ( <a href="http://www.ecomotive.no/wp-content/uploads/2014/08/2014-NMBU-rapport-A02.pdf">http://www.ecomotive.no/wp-content/uploads/2014/08/2014-NMBU-rapport-A02.pdf</a> ) .....	23
Figur 7: Design av filter-kolonnene.....	24
Figur 8: Planlagt oppsett av planteforsøk. ....	25
Figur 9: Lagoppdeling av filterkolonnene, mer info om filtralite og aktivt kull se vedlegg A til D.....	26
Figur 10: Endringer i ledningsevne, dager etter oppstart. Basert på Tabell 6. ....	32
Figur 11: Endringer i pH, dager etter oppstart. Basert på tall i Tabell 6. ....	32
Figur 12: Produktdatablad Filtralite NR 2-4 ( <a href="http://www.weber-norge.no/">http://www.weber-norge.no/</a> ).....	43
Figur 13: Produktdatablad Filtralite NC 0,8-1,6 ( <a href="http://www.weber-norge.no/">http://www.weber-norge.no/</a> ).....	44
Figur 14: Produktdatablad Filtralite NC 1,5-2,5 ( <a href="http://www.weber-norge.no/">http://www.weber-norge.no/</a> ).....	45
Figur 15: Produktdatablad Filtrasorb 400 del 1 ( <a href="http://www.calgoncarbon.com/">http://www.calgoncarbon.com/</a> ) .....	46
Figur 16: Produktdatablad Filtrasorb 400 del 2 ( <a href="http://www.calgoncarbon.com/">http://www.calgoncarbon.com/</a> ) .....	47

## Liste over tabeller

Tabell 1: Omtrentlig fordeling av vannforbruket i en husholdning (Ødegaard, Heistad et al. 2012).....	18
Tabell 2: Deskriptiv analyse av gråvannskvalitet parametre, fra kajaveien (mg/L) Kilde: (Eshetu, Kozminyck et al. 2014) .....	21
Tabell 3: Analytisk metode.....	28
Tabell 4 : Resultat vannparametere.....	30
Tabell 5: Sammenheng mellom tilsatt mengde urin og oppnådd EC. ....	31
Tabell 6: Elektrisk ledningsevnet (EC) og pH-verdier etter oppstart av planteforsøk. ....	31
Tabell 7: Platefysiologiske observasjoner på havre. ....	33
Tabell 8: Plantefysiologiske observasjoner på tomatplantene. ....	33
Tabell 9: Grenseverdier fra Vannforskriften som er aktuelle for mine målinger. Kilde: Vannforskriften ..	34



## 1. Introduksjon

Verdens befolkning er på over sju milliarder i dag og ifølge WHO forventes den å øke til over 9,5 milliarder innen 2050. Globalt sett så fører denne befolkningsveksten i tillegg til klimaforandringer, til ressursmangler som mangel på energi, mat og vann. Alternativer for å dyrke planter, redusere energibruken og rense vann er nødvendige.

For å produsere mat og avle husdyr til en befolkning på 9,5 milliarder på den måten som gjøres i dag, trenger man mye vann, mye av næringsstoffene nitrogen og fosfor, og mer dyrket areal tilsvarende hele Brasil, så mye dyrkbar mark finnes ikke på jorden. (Despommier 2011) Tradisjonelt landbruk foregår horisontalt som det har gjort i årtusener. Det er teknisk enkelt men krever mye areal og fører i dag til overforbruk av næringsstoffer og vann, som igjen fører til vannmangel og forurensning av resipienter. En løsning på dette kan være vertikalt landbruk hvor man dyrker grønnsaker i høyden i egne tilpassede bygninger hvor man kan ta i bruk moderne systemer innenfor hydroponi for å effektivisere drift og ressursbruk.

I forhold til forrige århundre så øker vannforbruket vårt to ganger befolkningsveksten (Programme 2012). Hvis vi ikke endrer noe fram mot 2050 står vi ovenfor alvorlige utfordringer med å skaffe nok rent vann til alle. I dag bruker vi vann rensert til drikke kvalitet for å vaske klær, vanne gress og planter, vaske biler, og til å skylle ned i toalettet. I Norge har vi et forbruk på omtrent 120 liter per person per dag (Ødegaard, Heistad et al. 2012), og vi bruker kanskje 10 liter til drikke og matlaging, vi bør nok se på alternativer for å minske forbruket av drikkevann ved å gjenbruke vann til formål som ikke trenger like god kvalitet.

Stort vannforbruk som går en vei gjennom boliger fører også til mye vann som må transporteres til et sentralisert renseanlegg og renses der. Jo mer vann, jo større blir energibruken både til transport og rensing. Det kreves også mer energi for å rense et kombinert og utvannet avløp, i forhold til en situasjon hvor næringsstoffer og organisk materialet er mer konsentrert eller separert (Rittmann 2013). Det finnes også flere kilder til energi i avløpsvannet som burde bli utnyttet så godt som mulig: energiproduksjon fra organisk materiale, gjenbruk av næringsstoffer og varme, og produksjon av drivstoff/alger fra næringsstoffene.

Globalt sett flytter stadig flere til urbane områder, innen 2050 er det anslått at 80% vil bo i urbane områder (Germer, Asch et al. 2011). Det fører til at man konsentrerer forbruket av ressurser og utslippene av avfall. Dette gjør byer til "fosfor hotspots" (Cordell 2010) pga. fosforet i avløpet fra befolkningen. Store endringer i urban infrastruktur trengs for å samle, lagre og transportere disse urbane næringsstoffene tilbake til jordbruket. Her kan vertikalt og urbant landbruk bli aktuelt. Der dyrker man grønnsaker så nærme store konsentrasjoner av mennesker at gjenbruk av vann og næringsstoffer blir så enkelt at det lønner seg.

Avløpsvann blir ofte sett på som avfall, et biprodukt fra oss mennesker som vi helst glemmer så fort det forsvinner ned i rørene. Det har også vært tilfellet på mange tradisjonelle renseanlegg hvor avløpsvannet ankommer for å bli tatt hånd om, og det viktigste blir fort å rense det så kostnadseffektivt som mulig samtidig som ikke å gi resipienten synlige påvirkninger av utslippet. Dette innebærer ofte kjemisk felling som gjør næringsstoffene fra slammet utilgjengelig for planter. (Larsen, Udert et al. 2013)



Jeg er overbevist om at forskning og utvikling innen gjenbruk av avløpsvann vil kunne føre til løsninger som vil ha stor positiv effekt på matproduksjon, vanntilgang og energibruken i samfunnet, både lokalt og globalt.

## 1.1 Ressurser i avløpet

### 1.1.1 Næringsstoffer

I avløpsvann finner vi næringsstoffer som mennesker skiller ut fordi vi lever mesteparten av livet vårt som voksne, og tar derfor opp små mengder næringsstoffer fra maten vi spiser (Jönsson and Vinnerås 2013). Det har blitt kalkulert (Jönsson, Stinzing et al. 2004) at den gjennomsnittlige svenske kun tar opp 2, 6 og 0,6% av henholdsvis nitrogen, fosfor og kalium, og det gjelder trolig for Norge også.

Næringsstoffer er verdifulle når de finnes i en form som gjør dem tilgjengelig for planter fordi de da kan brukes som gjødsel, og vi driver et globalt landbruk som har gjort seg avhengig av å tilsette næringsstoffer for å produsere de mengdene mat vi gjør nå. Derfor bør vi legge til rette for å kunne bruke næringsstoffene i avløpsvannet videre istedenfor å behandle det som avfall som kastes.

For å bruke næringsstoffer fra mennesker som gjødsel må man først minimere sjansen for spredning av patogener. Bønder må ta imot avfall fra mennesker til gjødsling, og det bør være en generell akseptering i samfunnet at man bruker det. Næringsstoffene må også være av en form som gjør det mulig for planter å ta dem opp.

### 1.1.2 Organisk Materiale

I avløpsvannet finner vi også organisk materialet som uansett må fjernes og som bør utnyttes. Det tilføres fra oss mennesker og det vi putter i avløpet. Den negative effekten som det har på miljøet og grunnen til at det må fjernes er fordi nedbrytning av det i vannresipienter forbruker oksygen, og fører til algeoppblomstring og eutrofiering. Forbruk av oksygen fører til et lavere oksygeninnhold i vannet og det vil skade fisk. Eutrofiering og algeoppblomstringer gjør vannkilder grønne og kan føre til at giftige alger oppstår.

Mengden organisk materialet betegnes med mengden oksygen den bruker i kjemisk og biologiske reaksjoner, henholdsvis COD (Chemical oxygen demand) og BOD (Biological oxygen demand).

Organisk materiale kan vi bruke som en ressurs, for eksempel som mat for bakterier og alger i biologiske reaksjoner. Det kan da brukes til å danne naturgass i bioreaktorer, eller dyrking av alger som kan foredles til biodrivstoff. Det kan også brennes hvis det tas ut som slam og avvannes.

### 1.1.3 Energi

Vi kan også finne energi i avløpet, i form av bevegelse og varme. Avløpet kan på steder ha høyere hastighet og en kinetisk energi som kan tas ut i rørsystemet med en turbin. Temperaturen i avløpsvann varierer etter sted, årstid, overvann, og lengde til renseanlegg, men vi tilfører med vårt bruk vann med høy temperatur i forhold til omgivelsene, og den kan gjenvinnes ved hjelp av varmpumper.

Men de største energipåvirkningene som avløpet kan ha, kommer fra gass- og varmeproduksjon i bioreaktorer som forbruker organisk materialet, og energisparende tiltak og løsninger ved rensing.

### 1.1.4 Vann

Vannet i seg selv er også en ressurs. I Norge tenker vi ikke over det, vi har så mye at vi tillater oppi mot 50% lekkasje på ledningsnettet vårt, og ofte går dette inn i avløpsrørene. I store deler av verden, også i



industrielle land, er vann en mangelvare, og avløpsvannet blir renset til den grad at det kan drikkes igjen.

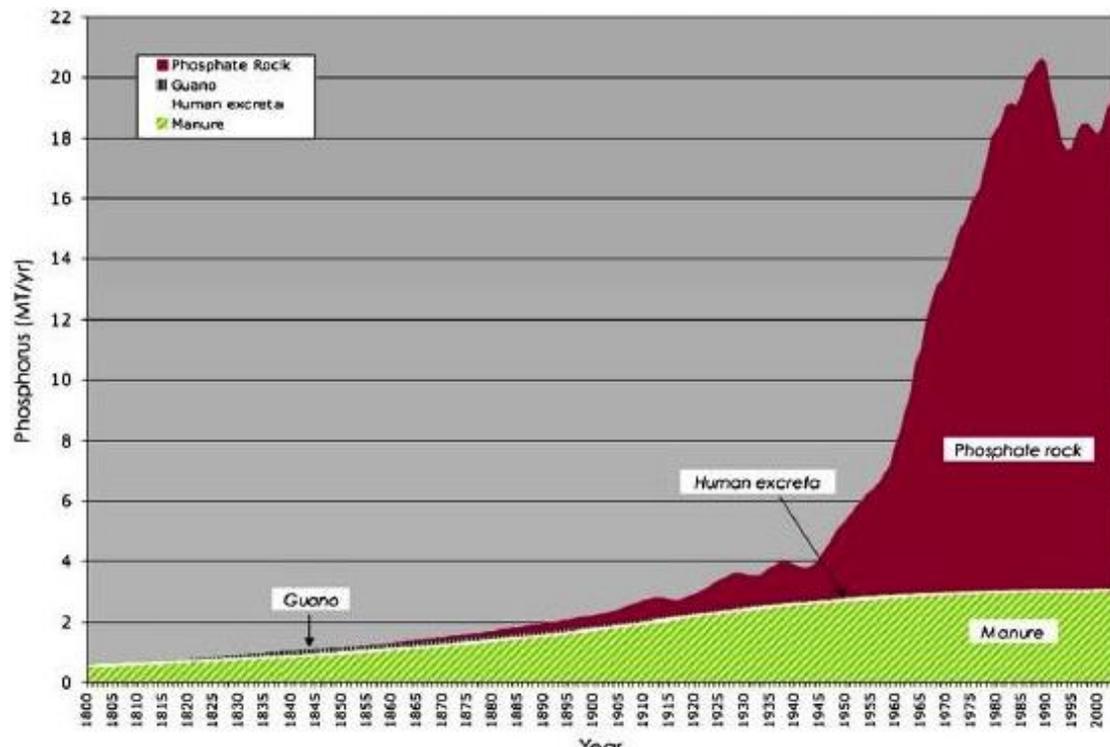
## 1.3 Næringsstoffer

### 1.3.1 Fosfor

Fosfor er et viktig element for alle levende organismer. Hos mennesker og dyr er fosfor nødvendig som byggestein for DNA og RNA, for oppbevaring og transport av energi som ATP, og for oppbygning av cellevegger (Emsley 2000). Vi får i oss fosfor gjennom mat. Planter får det i seg fra jord og gjødsel, og bruker det til vekst og frukt-utvikling (Johnston 2000). Fosfor er også viktig for oss da den bestemmer mengden mat vi kan produsere. Da det ikke er noe vi kan erstatte fosfor med når det gjelder å dyrke planter, er det kritisk at vi tenker på tilgangen til fosfor både i nær- og fjern fremtid. Kjemikeren Isaac Asimov beskrev fosfor som «livets flaskehals»: *"We may be able to substitute nuclear power for coal, and plastics for wood, and yeast for meat, and friendliness for isolation - but for phosphorus there is neither substitute nor replacement"* (Asimov 1974).

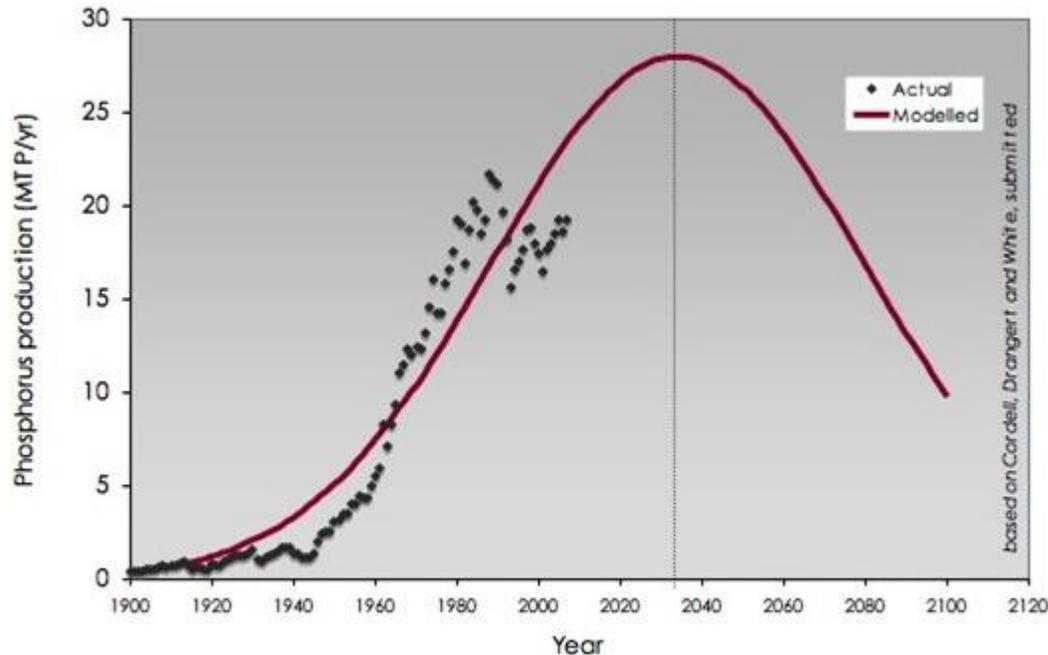
Nesten hundre prosent av alt fosforet vi spiser, sender vi fra oss, noe som betyr en global tilførsel av fosfor til avløpet på ca. 3 millioner tonn (Cordell 2013). Hvis dette ikke samles opp fortsetter det ferden til å forurense elver, bekker og hav. Ved å gjøre denne fosforen tilgjengelig for landbruk vil man minske den store etterspørselen etter kunstgjødsel.

I flere tusen år har man i landbruket kun basert seg på stedeagne fosformengder i jorden, med litt gjødsel-tilsetning fra mennesker og dyr. Det store spranget kom da man oppdaget og begynte bruken av guano og fosforitt. Dette førte til stor befolkningsvekst og at mange ble reddet fra sult (IFPRI 2002). I dag så er vi avhengig av fosforitt for å opprettholde mat- og fiberetterspørselen (Cordell, Drangert et al. 2009).



Figur 1: Kilder til fosfor, fra 1800 til 2000. Mesteparten kommer fra fosfatstein. Kilde: (Cordell, Drangert et al. 2009)

Etterspørselen etter mineralgjødning har stabilisert seg i de fleste i-land etter flere tiår med overforbruk, men forventes å øke pga. voksende økonomier i land som Kina, India og Brasil (IFA 2008). Ikke bare med tanke på befolkningsvekst, men også fordi mange endrer diett og spiser mer kjøtt. Og som man kan se fra den beregnede kurven i Figur 2, så er det å forventet å nå peak-fosfor, størst uttak av verdens ressurser, rundt 2030. Deretter vil uttakene reduseres.

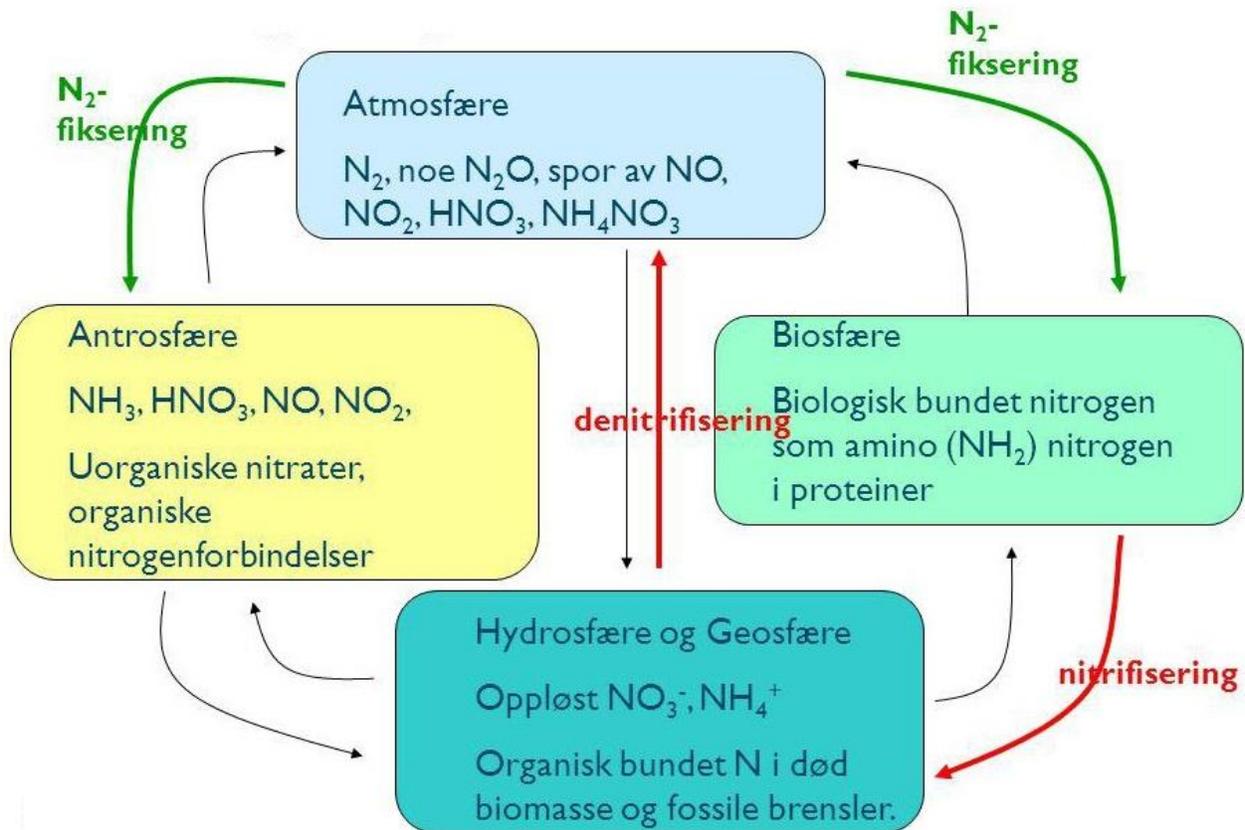


Figur 2: Peak-fosfor kurven, inkluderer den modellerte Hubbert kurven, og faktisk fosforproduksjon per år representert av de svarte punktene. Kilde: (Cordell, Drangert et al. 2009)

### 1.3.2 Nitrogen

Reaktivt nitrogen er alle former for nitrogen på jorden bortsett fra atmosfærisk  $N_2$ . Det er reaktivt nitrogen de fleste planter trenger, og derfor er et annet viktig næringsstoff som brukes i kunstgjødning og som har gjort vårt moderne landbruk og planteproduksjon mulig. Dette har ført til en økning i produksjonen av reaktivt nitrogen i verdens nitrogensyklus med en faktor på 1,5 til 2 sammenlignet med den naturlige produksjonen (Erisman and Larsen 2013). Produksjon av nitrogen til kunstgjødning skjer gjennom Haber-Bosch-prosessen, hvor man lager ammoniakk med elektrisitet i en reaksjon mellom hydrogen fra naturgass og nitrogen fra luft, under stort trykk. Denne prosessen blir regnet som en av de viktigste oppfinnelsene i det 20. århundre.

Økte mengder nitrogen har ikke bare enorme fordeler med tanke på matproduksjon. Det er og noen ulemper fordi overflødig nitrogen fra landbruk, menneskelig avfall, og forbrenning -har ødeleggende effekt på miljøet ved for eksempel forurensning av grunnvann, eutrofiering av vannforekomster, og tap av biodiversitet (Galloway, Townsend et al. 2008).



Figur 3: Nitrogensyklusen slik den opptrer på jorden. Kilde: Høgskolen i Oslo, [www.hio.no](http://www.hio.no)

### 1.3.3 Kalium og andre næringsstoffer

Fosfor, nitrogen, og kalium er de tre hovednæringsstoffene, og de som planter trenger mest av gjennom hele sin livssyklus. Sekundære næringsstoffer er næringsstoffer som planter trenger, men i mindre mengder og er: Kalsium (Ca), magnesium (Mg), og svovel (S). Videre er det syv mikro-næringsstoffer som det forbrukes enda mindre av, disse er: Bor (B), klor (Cl), kobolt (Co), kobber (Cu), Jern (Fe), mangan (Mn), molybden (Mo), og sink (Zn).

Hvilke mengdeforhold av næringsstoffer som en plante trenger varierer fra plantetype til plantetype, og avhenger av hvor planten er i livssyklusen sin. Under hvilke forhold planter tar opp forskjellige næringsstoffer er også viktig, for eksempel har en plante en optimal pH for å ta opp fosfor, og en annen optimal pH for å ta opp nitrogen. Det er derfor viktig å finne en pH som gir en god kombinasjon av opptak av næringsstoffer.

Slammet som blir tatt ut ved renseanleggene i dag har noen steder blitt brukt som gjødsel, men langt ifra alt. Dette fordi det settes krav til sikkerhet ved bruk av avfall fra mennesker, og fordi de vanligste metodene for utfelling av slam i dag er renseprosesser som gjør slammet lite egnet som gjødsel fordi næringsstoffene ikke blir tilgjengelig for plantene.



## 1.4 Fraksjoner i avløpsvannet

### 1.4.1 Svartvann

I svartvann finner vi det meste av næringsstoffer og organisk materialet.

Næringsstoffer som fosfor og nitrogen er verdifulle som plantenæring og bør gjenbrukes hvis mulig. Separert svartvann inneholder mye mindre vann enn konvensjonelt avløpsvann så man kan bruke mindre energi på av-vanning og tørking. Som gjødsel må slammet være lukt og patogenfritt.

Det organiske materialet kan brukes, som i dag, til å fore bakterier i bio-reaktorer som produserer metangass, som kan brukes til for eksempel drivstoff.

### 1.4.2 Gråvann

Gråvann varierer veldig med tanke på kvalitet, patogener og næringsstoffer. Det kommer an på hvor mye vann som brukes i det daglige. I Norge bruker vi mye vann, mens det i andre steder av verden fokuseres mer på sparing. Mer vann betyr mindre prosent innhold av patogener og næringsstoffer. Hvis kjøkkenavløp er med kan det bli mye patogener som vaskes av mat og mye næringsstoffer og organisk materialet som bli skylt ned, men dette er fortsatt lite relativt til svartvann. Det kan være småbarn som vaskes, bleier som vaskes, eller personer er syke som vil føre til økte mengder av patogener i lengre eller kortere perioder.

Vannet er kanskje den viktigste ressursen i gråvannet, det kan brukes til en rekke formål hvor kravene til rensing er lavere enn hvis det skulle drikkes. Ved gjenbruk har studier vist at man kan spare 50-80 % vann (Al-Hamaiedeh and Bino 2010).

### 1.4.3 Krav til rensset gråvann

For å kunne bruke gråvann om igjen må det renses så bra at det ikke påfører de som bruker vannet sykdommer, sjenerende lukt, eller skaper problemer for bruksområdet i forhold til å bruke drikkevann. Gråvann kan renses helt til drikkevann som det gjøres for eksempel i USA (Boyjoo, Pareek et al. 2013) Det er dyrere, så rensing av gråvannet må sees i sammenheng med hva det skal brukes til.

Man kan se på fire krav når det kommer til gjenbruk (Al-Hamaiedeh and Bino 2010):

- Vannet skal være hygienisk betryggende
- Estetikk
- Teknisk og økonomisk gjennomførbart
- Miljøtoleranse

Dessverre finnes det ingen internasjonale krav til bruk av rensset gråvann, men de fleste land har et regelverk hvis det må renses tilbake til drikkevannskvalitet eller skal brukes for planter i det respektive landet fordi de har vannmangel.



#### 1.4.4 Urin som næringstilsetning

Bruk av urin som gjødsel i landbruket har fått økt popularitet i noen land pga. uønskede sideeffekter ved bruk av kunstgjødsel og organisk dyreavfall (Strauss and Blumenthal 1990, Kirchmann and Pettersson 1995, Esrey and Andersson 2001, Maurer, Schwegler et al. 2003, Tidåker, Mattsson et al. 2007, Fatunbi 2009, Winker, Clemens et al. 2010).

Urin fra mennesker er et avfallsprodukt som vi produserer i nyrene, hvor blod blir filtrert. Hvert menneske produserer 1 til 1,5 liter per dag (Wolfast 1993) og det er beregnet at en voksen person produserer i gjennomsnitt 500 liter urin per år (Jönsson, Stinxing et al. 2004), barn ca. halvparten.

Av alt menneskelig avfall inneholder urin mesteparten av næringsstoffene vi skiller ut, ca. 88% av all nitrogen (N), 67% av alt fosfor (P), og 73% av alt kalium (K) (Kirchmann and Pettersson 1995, Fittschen and Hahn 1998, Maurer, Schwegler et al. 2003). Dette er ikke eksakte tall for alle steder da sammensetningen varierer fra person til person og er påvirket av region, matvaner, mengden vann man drikker, fysisk aktivitet, og kroppsstørrelse (Vinnerås and Jönsson 2002).

I følge (Höglund, Ashbolt et al. 2002) kan man regne med at menneskelig urin er sterilt så lenge det ikke har vært i kontakt med fekalier og kan brukes som gjødsel til planter uten noen form for behandling.

Det er gjort flere forsøk med urin til planteproduksjon, kan nevne noen:

Forsøk gjort i Zimbabwe med sandholdige jord viste stor økning i dyrking av forskjellige grønnsaker og mais (Morgan 2003). Her ble urin blandet med vann i forholdet 1:3.

Urin fra urinseparerende toaletter er brukt som gjødsel for dyrking av agurk utendørs i nordisk klima. Sammenlignet med agurk som ble gitt kunstgjødsel ga agurk som var gjødslet med urin samme eller litt større mengde agurk. Ingen av agurkene hadde spor av patogener. (Heinonen-Tanski, Sjöblom et al. 2007)

(Pradhan, Nerg et al. 2007) vurderte bruken av urin som gjødsel for kål med tanke på vekst og motstand mot sykdommer, kjemisk og mikrobiologisk kvalitet, og smak. Kål ble brukt fordi den brukes over hele verden og har et høyt forbruk av nitrogen. De kom fram til at urinen var like god næring som kunstgjødsel, med tanke på den kjemiske sammensetningen og hygienisk kvalitet. Bruken av urin økte biomassen, og de forventet det samme med andre grønnsaker. Videre ble det konkludert at urin-gjødslede grønnsaker vokste fortere, noe som betydde tidligere høsting.

Dette er alle eksempler på forsøk hvor urin er brukt i tradisjonelt landbruk, ikke hydroponiske systemer. Jeg finner heller ingen forskning på kombinasjonen av uring og hydroponi og tror derfor det er mangel på informasjon om dette emnet.



## 1.5 Desentralisering og kildeseparasjon

I dag er det sentraliserte løsninger for avløpshåndtering som dominerer. Med en sentralisert løsning mener jeg at alt avløp i en by eller tettsted samles i rør, og føres til et renseanlegg hvor det blir behandlet før det sendes til en resipient. Behandlingen har som hensikt å fjerne alt som kan gi en skadelig effekt på resipienten.

### 1.5.1 Desentralisering

Desentraliserte løsninger behandler avløpet lokalt, i stedet for å sende det i rør til et sentralisert anlegg, som er vanlig i urbane og tett befolkede områder i dag. Sentraliserte løsninger er enkelt for forbrukere og forholde seg til da man bare sender avfallet vekk i et rør og ikke trenger å tenke mer på det. Har man en desentralisert løsning kreves det en form for periodevis kontroll, avhengig av hvordan løsning man har.

Løsningen kan omfatte for eksempel én eller flere boliger, hyttefelt, eller boligblokker. Dette gjør at avløpet må transporteres minimalt og man kan lettere legge til rette for kildeseparasjon og gjenbruk av ressursene.

### 1.5.2 Kildeseparasjon

Avløpet kan separeres i svartvann og gråvann, svartvann fra toalettet, gråvann fra alle andre sluk i huset (Al-Hamaiedeh and Bino 2010). Det er også noen som definerer gråvann til å ikke inkludere avløp fra kjøkken og klesvask (Boyjoo, Pareek et al. 2013). Svartvannet kan også separeres slik at urin og fekalier blir adskilt.

Ved å separere avløpsvannet holder man mesteparten av næringsstoffene, organisk stoff og patogener i svartvannet, og mesteparten av vannet i gråvannet. Ved å separere av urin holder man mesteparten av nitrogen og fosforet der. Ved å separere og desentralisere, så reduserer man energibruk til transport, og kanskje til behandling også.

Separasjon er dyrere. Man må legge dobbelt så mange rør, og boliger og renseanlegg må planlegges etter dette. Det kan også skape problemer for eksisterende system hvis mye vann konserveres og man får for lav strømnings i rørene fram til renseanlegget. Det kan også føre til økende tæring på rørene. (Larsen, Udert et al. 2013)



## 1.6 Hydroponi og vertikalt landbruk

Hydroponi er dyrking av planter i systemer uten jord hvor plantene får næringen fra vannet. I aeroponiske systemer så blir vannet og næringen sprayet som en tåke over røttene til plantene, noe som gir et effektivt opptak av næringsstoffer. Vertikalt landbruk er dyrking av planter i høyden, hvor man istedenfor å dyrke planter i kun ett plan, som på jorder i konvensjonelt landbruk, dyrker på flere plan i grønne vegger, tårn, roterende bed eller lignende.

Ved å dyrke planter innendørs i vertikale systemer kan en drive produksjonen i eller nær urbane områder, noe som gir lavere transport kostnader og muliggjør enkel kombinasjon av ressursgjennbruk fra avløp. Det vil også skape flere arbeidsplasser i nærheten av der folk faktisk bor.

Hydroponisk og aeroponiske løsninger kan øke produksjonen av noen grønnsaker 20 ganger ved å bruke 30 ganger mindre vann (Ladner 2011). Dette fordi man bruker det samme vannet flere ganger for å transportere næringsstoffer til plantene hvor i tradisjonelt landbruk vil mesteparten av vannet renne vekk.

Vertikalt landbruk basert på hydroponi har flere fordeler:

- Produksjon året rundt. Da produksjonen kan forgå innendørs har man sesonger året rundt.
- Effektivt bruk av areal, man kan dyrke i høyden.
- Planter blir ikke ødelagt av vær-relaterte situasjoner.
- Reduksjon i forbruket av fossilt brennstoff hvis man tenker transport, maten produserer der menneske bor.
- Å drive økologisk er enklere fordi man har behov for mindre eller ingen sprøytemidler. Sopp og uønskede frø kan holdes ute av bygget ved å holde et høyere trykk og ved bruk av sluser for de ansatte.
- Landbruket kan drives nærmere markeder og forbrukere, man kan kombinere det med kunnskapssentere hvor personer kan få opplæring, eller barn kan lære om matproduksjon.

De fleste av fordelene kommer av at man dyrker innendørs under kontrollerte forhold hvor man kan bestemme trykk, temperatur, lys, og næringsstoffer, og det fører til høyere fortjenesten fordi man kan produsere større mengder.

Ulempen med å dyrke planter på denne måten er energibruken. Det trengs energi for å varme opp luften, pumpe vann, og tilføre kunstig lys. Dette har vært grunnen til at det ikke har vært mer utbredt, og lite lønnsomt. Heldigvis kommer det stadig ny teknologi som senker energikostnadene; LED lys vil nok bli en viktig del av løsningen da de bruker mye mindre energi, og kan designes for å produsere spesifikke bølgelengder og mengder som er optimale for den enkelte plante (Sloper 2013).

Bygninger hvor man kombinerer vertikal planteproduksjon, vannrensing, energi- og ressursgjenvinning fra avløp er også en ide som virker spennende som et prosjekt. Da kan man transportere næringsstoffene og vannet direkte til plantene, og kan bruke energien fra renseprosesser til å varme opp bygget og produsere lys til dyrking.



## 1.7 Desentralisering i Norge

Hva skal vi med separasjon og desentralisering i Norge? Vi bor jo i et i-land med avanserte og godt fungerende avløpsløsninger. Et av de største problemene er at vi trenger lange ledningsstrekker i et klima som er utfordrende for rør, og i dag er det mye fremmedvann som ankommer de sentraliserte rensesanleggene på grunn av lekkasje inn i rørene. Sammen med overvann skapes et avløpsvann som blir veldig «utvannet» noe som fører til at rensing og ressursgjennbruk blir dyrere. Avløpsrør ligger veldig ofte i samme grøft som vannrør, noe som av og til fører til kontaminering av drikkevannet ved brudd og undertrykk.

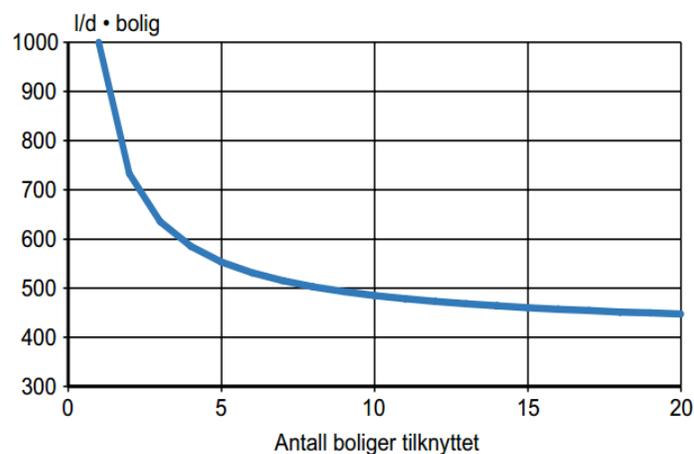
Fordeler med desentralisering og separering blir da tydelige og bør derfor sees på nærmere.

Tabell 1: Omtrentlig fordeling av vannforbruket i en husholdning (Ødegaard, Heistad et al. 2012)

Kilde	Vannforbruket i en husholdning (l/p*d)
Bilvask og hagevanning	0 - 20
WC	30
Kjøkken, oppvask, mat	40
Tøyvask	30
Bad/dusj	50
Sum	150 - 170

Ved å se på Tabell 1 kan en regne ut teoretisk besparelse hvis man separerer og renses gråvannet og bruker det til for eksempel WC og hagevanning. Hvis rensesgraden er såpass høy at gråvannet kan brukes om igjen til bilvask, hagevanning, WC og tøyvask kan man spare om mot 50% av forbruket ( $(20+30+30) / 170 * 100 = 47\%$ ).

Vannforbruk varierer fra husholdning til husholdning, noen lever alene, andre i større familier. For å få et bedre estimat over forbruk og derav mengden vann i avløp, ville jeg sett på grafen i Figur 4, hvor man kan se hvordan forventet forbruk endrer seg etter antall boliger som er tilknyttet. Dette er veldig viktig hvis man ønsker å se på desentrale løsninger hvor det lønner seg for flere husholdninger nær hverandre og knytte seg sammen rundt et anlegg.



Figur 4: Forslag til dimensjonerende vannmengde avhengig av antall boliger tilknyttet. Basert på tall fra (Heistad 2012).



### 1.8 Behov for å koble mat og avløp

Behovet for å koble mat og avløp i dag er ikke tydelig i Norge, og siden det i tillegg finnes få valgmuligheter og dokumentasjon om desentrale løsninger, er det nok få som tar sjansen og tiden som trengs for å bygge noe selv. I områder hvor det finnes kommunale rør til sentraliserte løsninger er det også som regel tilkoblings- og avgiftplikt til det kommunale nettet.

I andre land er behovet mye større, i hvert fall med tanke på rensing og gjenbruk av vann, og spesielt med tanke på gråvann, hvor mesteparten av vannforbruket ender. Dette er da ofte land hvor løsningene må være teknologisk enkle slik at drift og vedlikehold kan bli utført av de som bruker dem. Jeg tror derfor at biologiske løsninger, hvor bruken av elektronikk og kjemikalier blir holdt til et minimum, er mer aktuelle.

Menneskelig avfall er verdifullt. Vi tar opp veldig lite av næringsstoffene vi får i oss i løpet av livet så det meste sender vi ned i avløpet. Hvert år skiller vi ut 500 kg urin, som svarer til ca. 5,7 kg nitrogen, 0,6 kg fosfor og 1,2 kg kalium (Wolfast 1993). Dette er samme mengde gjødsel som trengs for å produsere 250 kg korn som er nesten nok til å dekke en persons årlige inntak. Så hvis alle mennesker har en diett som er basert på at alt vi dyrker går til menneskelig mat, trenger vi ingen industrielle kilder til næringsstoffer. Selv om dette ikke er sannsynlig, så forteller det noe om verdiene og nytten i det vi i dag ikke utnytter.

Det må nok en liten revolusjon til i Norge og andre i-land, hvor verdiene vi har i avløpet blir såpass fokusert, for at nye løsninger og infrastruktur blir aktuelt å bygge i større skala. Ikke nødvendigvis store men kanskje flere mindre løsninger, også i byer, for eksempel én for hvert kvartal eller blokk.

Jeg håper at denne oppgaven vil komme til nytte som dokumentasjon på dette feltet når desentraliserte løsninger blir aktuelt.



## 1.9 Mål for oppgaven

I denne oppgaven har jeg valgt å fokusere på gråvann og urin, hvor jeg ser på et alternativ når det kommer desentralisering og ressursgjenvinning.

Gråvann inneholder ressurser, som næringsstoffer og vannet i seg selv. Men for å kunne brukes om igjen må det renses slik at patogener, lukt og organiske stoffer blir redusert. Hovedmålet for oppgaven har derfor vært å konstruere et filter som renses gråvannet videre til en god nok kvalitet for å kunne brukes til å dyrke planter. Videre skal det rensede vannet brukes i et hydroponisk dyrkingsforsøk med urin som naturlig næring, hvor vi nærmere kan studere effekten av vannet og bruken av urin som gjødsel direkte i system, på plantene.

Filteranlegget skal brukes til andre forsøk senere, og det er derfor også et mål å samle inn informasjon om drift under varierende forhold som temperatur og belastning, og forslag til andre forsøk som kan utføres med filteret eller det rensede vannet.

Først skal gråvann, som er kildeseparert ved studentboligene i Kajaveien på Ås, renses i Ecomotive systemet som er et kompakt biologisk gråvann-rensanlegg for hytter og hus. Deretter skal gråvannet renses i et filter som jeg konstruerer på utsiden av Fløy IV på NMBU.

### 1.9.1 Problemstilling

Arbeidet med oppgaven har hatt følgende problemstillinger:

- Hva er kvaliteten på det rensende gråvannet?
  - Vil filteret renses vannet tilfredsstillende med tanke på patogener, lukt og farge?
- Hvordan blir mengden og forholdet mellom næringsstoffene i det rensede vannet?
- Hvordan reagerer planter og vannreservoar ved bruken av gråvannet og urin?
- Hvordan utvikler plantene seg i forhold til kontroll som får samme mengde næring fra kunstgjødsel?

Jeg ønsker at filter-kolonnene jeg bygger kan brukes til andre master- og semesteroppgaver, derfor vil jeg skrive litt om veien videre:

- Forsøk som kan eller bør gjøres med anlegget
- Forbedringer med systemet



## 2. Materialer og metode

### 2.1 Materialer

#### 2.1.1 Gråvann

Gråvannet kommer fra 24 studentboliger i Kajaveien hvor det blir kildeseparert, (Gulbrandsen 1999) beskriver dette systemet detaljert i sin hovedfagsoppgave. Gråvannet har lavt innhold av næringsstoffer i forhold til organisk materialet og har en større andel lett nedbrytbare organiske stoffer sammenlignet med svartvannet. (Todt, Heistad et al. 2015)

Gråvannet fra samme system ble også brukt i et lignende forsøk for noen år siden, (Svete 2012), der gråvann ble renset i en beplantet vegg hvor blomster tok næring direkte fra vannet.

Gråvannet har følgende kvalitet:

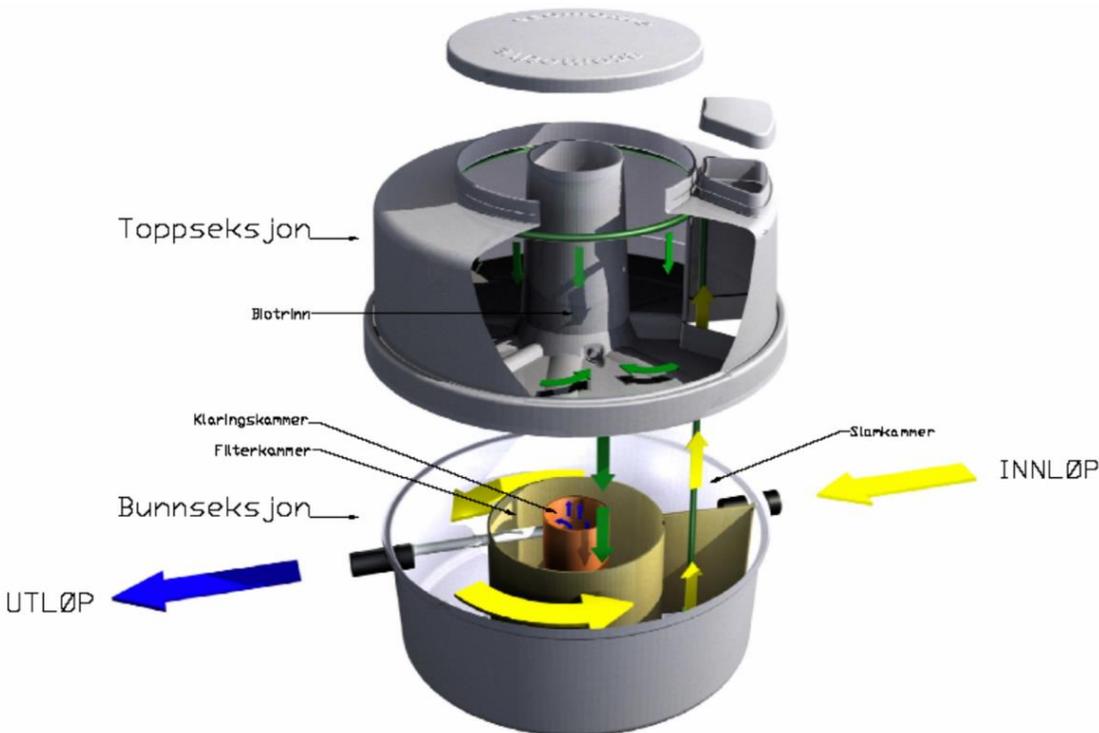
Tabell 2: Deskriptiv analyse av gråvannskvalitet parametre, fra kajaveien (mg/L) Kilde: (Eshetu, Kozminyck et al. 2014)

	<i>TSS</i>	<i>BOD<sub>5</sub></i>	<i>Total COD</i>	<i>Total P</i>	<i>NH<sub>4</sub></i>
Mean ± std	95,94±36,78	139,34±41,09	288,47±77,31	1,35±0,25	9,40±1,84
Median	89,00	139,00	289,00	1,36	9,38
Minimum	51,00	50,60	135,00	0,72	5,72
Maximum	278,00	250,00	485,00	1,81	13,90
Count	49,00	38,00	51,00	49,00	37,00

### 2.1.2 Ecomotive Gråvannrensplanlegg A02

Ecomotive sitt gråvannrensplanlegg A01 ble designet og utviklet som et kompakt renspanlegg, med alle funksjoner samlet i én tank. Bakgrunnen for designet var både et ønske om enklere transport og ned graving, men også et ønske om å utvikle tekniske løsninger som kunne rense mer vann på mindre plass. Ecomotive A02 er også oppgradert til å kunne håndtere gråvannrensning for bolighus.

(<http://www.ecomotive.no/>) Anlegget er beregnet på forhold med inntil 600 liter gråvann per dag og men en maksimal kapasitet på inn 900 liter per dag.



Figur 5: Oppbygning av Ecomotive gråvannspanlegg. Kilde: Bioforsk Rapport Vol. 3 Nr. 106 2008

Rensplanlegget er en oppdelt tank hvor gråvannet går igjennom tre steg, først er det et slamkammer, deretter et biofilter, og til slutt et klaringskammer. Gråvannet ledes med selvføll ned til slamkammeret hvor faste partikler holdt tilbake, før det pumpes over biofilteret og vannet renner ned til klaringskammeret, og til slutt utløpet. Denne behandlingen fører til at organisk materialet, fosfor, nitrogen og patogener holdes tilbake i anlegget.

For flere detaljer se brukermanualen: GWTP902 GREY WATER TREATMENT PLANT, ECOMOTIVE A02 / NOR. Finnes på: [http://www.jetshytte.no/files/Instruksjonsmanual\\_Ecomotive-A02.pdf](http://www.jetshytte.no/files/Instruksjonsmanual_Ecomotive-A02.pdf).

Etter at gråvannet har gått igjennom A02, renner det til en pumpe kum før det blir pumpet opp til dysene i filter-kolonnene. Rapport fra 2014 sier hva kvaliteten på gråvannet fra Kajaveien kan forventes å være etter behandling, og er den kvaliteten jeg forventer å få sendt til filter-kolonnene.

	<i>TSS</i>	<i>BOD<sub>5</sub></i>	<i>COD</i>	<i>TP</i>	<i>NH<sub>4</sub></i>
<b>Mean</b>	<b>15,92</b>	<b>23,35</b>	<b>66,45</b>	<b>0,59</b>	<b>5,74</b>
<b>Median</b>	<b>10,00</b>	<b>16,00</b>	<b>48,90</b>	<b>0,54</b>	<b>4,37</b>
Standard Dev	12,93	19,95	41,84	0,26	3,86
Minimum	4,40	3,10	26,50	0,25	2,15
Maximum	56,00	87,20	178,00	1,67	21,90
Count	48,00	37,00	49,00	48,00	37,00

Figur 6: Gråvannskvalitet etter rensing i Ecomotive. (<http://www.ecomotive.no/wp-content/uploads/2014/08/2014-NMBU-rapport-A02.pdf>)

### 2.1.3 Rensefiltrene

Jeg skal bygge et filter som skal fungerer som et poleringssteg etter gråvannrenseanlegget. Jeg bygger tre like filter-kolonner slik at de kan brukes til senere forsøk hvor man kan sette på forskjellige volumstrømmer eller forskjellig vannkvaliteter. Dette blir nedstrøms-filtre som skal ha en umettet strømning igjennom seg. De mates fra et fordelingsrør på toppen, og det rensede vannet blir samlet opp under i kar, før det blir sendt videre. Se Figur 7 for planlagt oppsett.

Selve rørene er 2,5 meter lange med ytre diameter 315 mm, og veggtykkelse 3 mm.

Dysene som ble brukt hadde en spredningsvinkel på 120 grader.

Filtermassen vil bestå av tre lag, nederst et 1-meter lag av Filtralite NC 0,8-1,6, deretter et 30-cm lag med aktivt kull (Filtrisorb 400), og på toppen et 1,0885-meter lag med Filtralite NR 2-4. Øverst er det luft slik at dyser kan spre vannet jevnt over toppen av filteret.

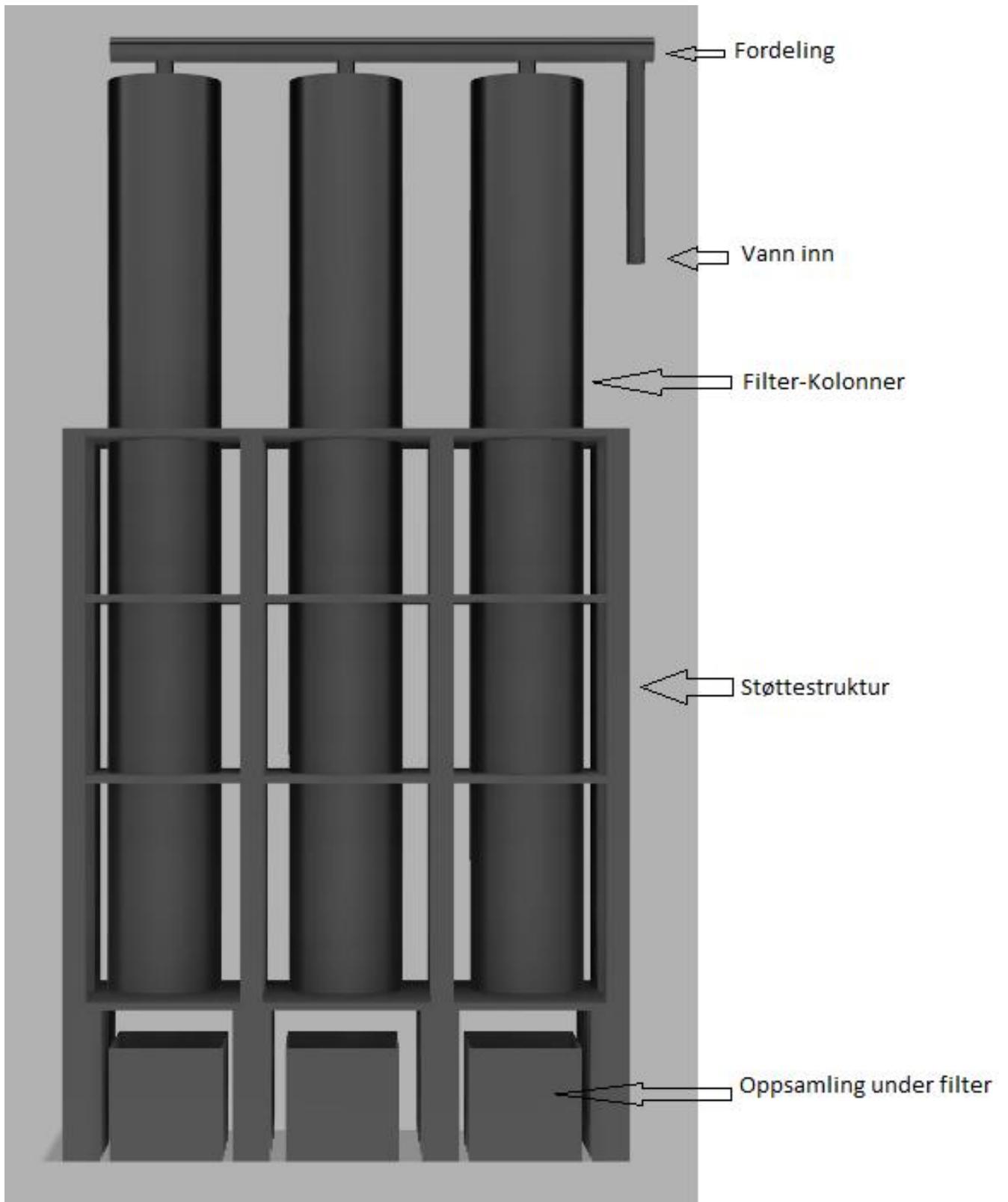
Det skal dannes en biofilm i filteret som skal rense vannet og bidra til nitrifikasjon ved rette omstendigheter. Aktivt kull er effektivt til å rense for metaller og bidra til fjerning av smak og lukt.

Filtralite er ekspandert leire. Det er et filtermedium som gir et stort pore-volum og overflate-areal som er ideelt for biologisk rensing hvor bakterier vil feste seg på overflaten.

Aktivt kull er kull som har gått igjennom en prosess som har økt kulletts overflateareal, noe som fører til at renseseffekten øker på grunn av det større arealet som er i kontakt med vannet. Kullet renser vann med en prosess som heter adsorpsjon, hvor partikler blir tiltrukket og fanget i porestrukturen.

Belastningen skal være på 300 l per m<sup>2</sup> per dag.

Se vedlegg A til D for detaljert info om filtralite typene og kullet som ble brukt.

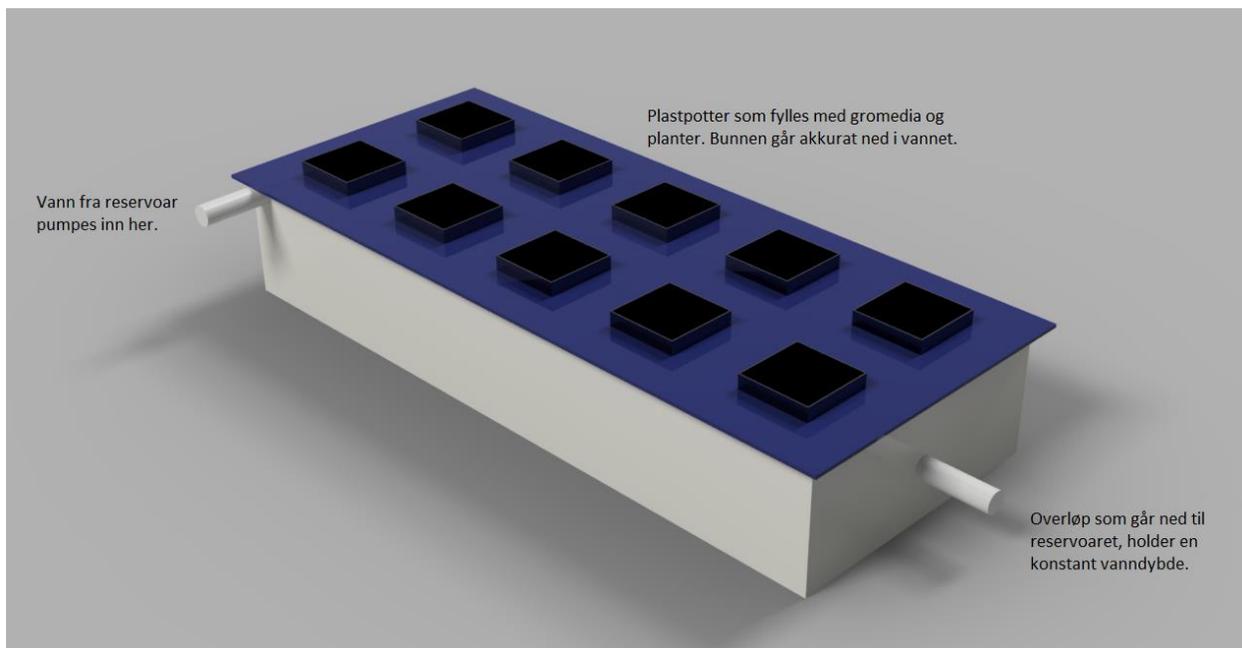


Figur 7: Design av filter-kolonnene

### 2.1.4 Hydroponi forsøk med urin og planter

Det rensede gråvannet skal testes i et hydroponi system med matplanter. Her valgte jeg et resirkulerende hydroponisk system hvor plantene er satt i potters med et inert medium, Filtralite NC 1,5-2,5. Pottene sitter gjennom lokket på en avlang lav boks hvor vannet blir pumpet opp til fra reservoaret. Dette danner et to centimeter dypt vannlag hvor pottene stikker ned i og trekker vann opp i filtraliten. Deretter føres vannet tilbake til et reservoar. Vannets gang mellom reservoar og hydroponi-anlegget gir oksygen til vannet.

Fem linjer/reservoarer med forsøk: en hvor plantene kun får rensed gråvann, en hvor de får tilsatt litt urin, en hvor det blir tilsatt mye, en positiv kontroll som består av springvann tilsatt næringsstoffer for optimal vekst opp til sammen EC nivå som det høyeste urin forsøket, og en negativ kontroll som består av rent lab-vann. Fra hvert reservoar vannes det to liner med planter: En med havre, og en med tomat.



Figur 8: Planlagt oppsett av planteforsøk.

Plantene vokser i et rom belyst med dagslys, og som holder en temperatur på rundt 20 grader.

Alle plantene vil bli spiret på samme måte: Under samme lysforhold og med samme vann, fram til havren er minst 10 cm høy og tomatene har fått første sett blader. Det brukes kun springvann uten tilsatt næring.

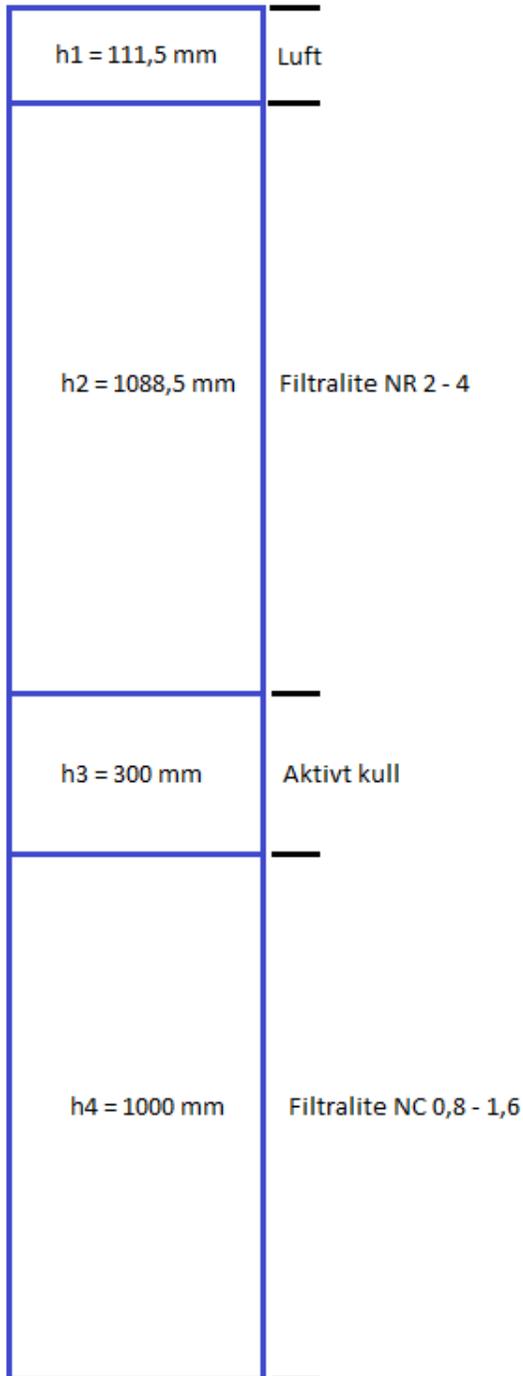
Jeg ønsker å se hvordan plantene reagerer på det rensede gråvannet og urin tilsetningen. Hvordan blir veksten av blad og røtter i forhold til kontrollen. Hvilke eventuelle problemer oppstår? Mengden urin som skal tilsettes kommer an på EC-verdien som dannes. Jeg skal tilsette urin til jeg oppnår ønsket EC som skal være opp mot 1400 mikro siemens per cm., for reservoaret med mest urin, da det er optimale forhold for havre.

Før og under forsøket måler jeg pH og konduktivitet for å se vekstvilkårene. pH-verdien bestemmer hvor mye en plante kan ta opp forskjellige næringsstoffer og konduktiviteten er et mål på hvor mye næringsstoffer som finnes i vannet.

## 2.2 Bygging av filter - Dimensjonering og fylling av kolonnene

### 2.2.1 Dimensjonering av lagene i kolonnene.

For å bestemme mengden av de forskjellige mediene som skulle tilsettes ble høyden på hvert av lagene bestemt og regnet ut før volumet av mediene ble regnet ut. Det øverste laget er kun luft da dysen trenger et område å spre vannet på.



1. Første lag, luft: siden dysen har en spredningsvinkel på 120 grader, må den ha en høyde på 82,5 mm over det øverste laget med filtralite. Dette ble beregnet på at røret har en indre diameter på 309 mm ( $315 - 2 \times 3$ ). Dysen bør dekke så mye som mulig av toppen på det øverste laget for å spre vannet mest mulig, men den må ikke treffe kolonneveggen da det vil føre til en vannstrøm langs veggen som ikke vil bli renses i filteret. Derfor valgte jeg en sikkerhetsmargin på 25 mm slik at hvis filteret skulle sette seg noe mer, vil det ikke oppstå strømning langs veggen. Selve dysen er festet 31,5 mm under lokket. Dette gir en total høyde på luftlaget øverst på 111,5 mm.

2. Fjerde lag, Filtralite NC 0,8-1,6: Skulle være på 1m, dette ga et volum på  $75 \text{ dm}^3$ .

3. Tredje lag, aktivt kull: Skulle være på 30cm, dette ga et volum på  $22,5 \text{ dm}^3$ .

4. Andre lag, Filtralite NR 2-4: Blir det siste laget som legges på og skulle være på 1m i tillegg til den resterende høyden.  $2500 - 1000 - 300 - 111,5 = 1088,5 \text{ mm}$ . Dette ga et volum på  $81,6 \text{ dm}^3$ .

### 2.2.2 Fylling

Mediene ble forsiktig fylt på, tørre, og etter hver 10 cm lag slo jeg røret to ganger på hver side slik at hvert lag fikk satt seg litt. Deretter blandet jeg laget før jeg jevnet overflaten, for å forsikre jevn kornfordeling. Etter at alle rørene var ferdig fylt, sto de 30 timer. Deretter slo jeg to ganger på hver side av det øverste laget før jeg la til eller fjernet litt slik at de akkurat fikk den høyden fra toppen av røret som var ønsket. Deretter limte jeg på lakkene.

Figur 9: Lagoppdeling av filterkolonnene, mer info om filtralite og aktivt kull se vedlegg A til D.



## 2.3 Styring og logging

### 2.3.1 Styring av pumpe med Arduino, belastning på filteret

Pumpen som leverte vann til kolonnene ble kontrollert av en arduino. Beregnet vannmengde ble fordelt utover døgnet, noe som resulterte i at pumpene ble slått på hvert tjuende minutt i 4,1 sekunder.

Pumpestyring ble bestemt av dysene som under trykk ga 6 liter per minutt. Vi ønsket en belastning på 300 liter per m<sup>2</sup> per døgn. Tverrsnittarealet i rørene var på:  $\pi * 0,1545^2 = 0,075$  m<sup>2</sup>. Dette ga en belastning på 22,5 liter/m<sup>2</sup>/døgn eller 67,5 liter for alle tre.

22,5 liter per døgn -> 3,75 min per døgn = 3min, 45sec = 225 sekunder hver dag. 9,4 sekunder hver time. Dosering hvert 20. minutt -> 3 dosering i timen, 3,1 sekund hver dosering. 1 sekund ekstra for å fylle fordelingsrøret helt -> 4,1 sekund hvert 20 minutt.

### 2.3.2 Temperatur logging med Raspberry Pi

Kolonnene sto ute, og jeg valgte da å logge forskjellige temperaturer for å se hvilken effekt det hadde på rensingen. Jeg valgte å måle vanntemperaturen inn i rørene, temperaturen ute, og temperaturen fra hver av kolonnene.

Dette ble gjort med en digital sensor og Raspberry Pi som lagret temperatur og tidspunkt i en SQL-database.

En Raspberry Pi er en billig minidatamaskin som kjører Linux. <https://www.raspberrypi.org/>

## 2.4 Analyse av rensset vann

Følgende parametere skal jeg teste for:

- Totalt suspendert stoff
- Totalt fosfor
- Orthofosfat
- Nitrat
- Totalt Nitrogen
- Ammonium
- COD
- Ecoli

Fokuset vil være på næringsstoffer og E-coli.

Analysen av vannkvalitet parameteren blir gjort med standard metode, se Tabell 3.



Tabell 3: Analytisk metode

Navn på parameter	Metode	Modell, navn
TSS	Vakuum filtrering	GF/C 40 nm
COD totalt	Kolorimetrisk metode	Hach Lange LCK314, LCK514
Totalt Fosfat	Kolorimetrisk metode	Hach Lange LCK349
Orthofosfat	Kolorimetrisk metode	Hach Lange LCK349
Ammoniakk	Kolorimetrisk metode	Hach Lange LCK304
Nitrat	Kolorimetrisk metode	
Totalt nitrogen	Kolorimetrisk metode	
Coli forms, E. coli	Mikrobiologisk	Colilert 18

TSS målinger ble gjort med vakuumfiltrering. Jeg brukte 40 nm Whatman Glassfiber filter GF/C™ (Whatman Cat No 1822-047). En 100 ml prøve fra hver kolonne ble filtrert før filteret ble tørket på 103 til 105 grader celsius i en aluminiums skål, til den fikk en konstant vekt. Økningen i vekt hos filteret og aluminiums skålen representerte TSS i prøven.

$$Mg\ TSS / L = (((tørket\ filter +\ beholder) - (filter\ før\ filtrering +\ beholder)) * 1000) / prøve\ volum,\ ml$$

Ufiltrerte prøver ble brukt for total COD, total P og total N analyser. Orthofosfat, ammoniakk, og nitrat analysene ble gjort med det filtrerte vannet jeg fikk fra TSS målingene. Analysene av total COD, total P, total N, orthofosfat, ammoniakk, og nitrat ble utført ved å bruke test-kit fra Hach Lange. Kyvette prøvene for total COD og total P ble fordøyd/oppvarmet ved bruk av Hach Lange Thermostat LT200 for henholdsvis 2 og 1 time, og verdiene ble bestemt ved bruk av Hach Lange DR 3900 spektrofotometer.

Vannet ble også analysert for totalt koliforme bakterier og E. coli som indikator organismer for anlegget sin effekt på fjerning av disse. Bakterie analysen ble gjort med IDEXX Coli-18 Quantitray og Quantitray/2000 systemer, med IDEXX DST pulver næringstilsetning kapsler. IDEXX Quant Sealer modell 2X ble brukt til å forsegle Quanti-brettene før inkubasjon ved 36 grader celsius i 18-22 timer. En 6-watt fluriserende lampe ble brukt til å identifisere og bestemme E. coli konsentrasjonene.



## 2.5 Analyse av hydroponi forsøk

For å se hvordan vannkvaliteten og vekstvilkårene i det hydroponiske systemet blir påvirket ved bruk av rensset gråvann tilsatt urin, skal jeg måle relevante vannparametere og se hvordan det påvirker plantene når de er små.

Vannparameterne jeg skal se på er elektrisk ledningsevne (EC) og pH-verdien. Dette da disse er viktige for plantene sin utvikling, EC blir vanligvis brukt for å si noe om mengden næringsstoff som er tilstede, og pH-verdien bestemmer hvor mye plantene kan ta opp av forskjellige næringsstoffer. Jeg vil ta prøver 2-3 uker etter oppstart.

Det er to typer planter i forsøket, havre og tomat. På grunn av lengden på forsøket er det ikke tid til å se effekten på tomater, men jeg kan se effekten på planten de første ukene. For havren skal jeg se hvordan den blir påvirket av forholdene i systemet og måle hvordan det påvirker veksten ved å måle vekten av røtter og blad. Jeg vil også se etter bristsymptomer hos plantene som kan fortelle noe om mangler på næringsstoffer eller svakheter som oppstår.



## 3. Resultater

### 3.1 Vann

#### 3.1.1 Vannkvalitetsparametere

Tabell 4 : Resultat vannparametere

Dato	Kolonne	Tot P (mg/l)	Orto P (mg/l)	Tot COD (mg/l)	Tot N (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Ammoniur (mg/l)
19-Nov	1	0.331	0.334	4.34	1.040	1.150	0.010
	2	0.225	0.227	23.9	0.650	0.982	0.008
	3	0.227	0.233	1.95	1.440	1.330	0.012
20-Nov	1	0.350	0.366	7.02	1.210	1.180	0.024
	2	0.228	0.239	4.02	0.815	1.010	0.026
	3	0.241	0.246	1.20	0.864	1.400	0.037
21-Nov	1	0.384	0.396	2.88	1.520	1.124	0.052
	2	0.253	0.250	2.81		1.000	0.047
	3	0.248	0.249	4.65		1.370	0.026
11/26/2015	1	0.353	0.342	6.15		0.969	0.076
	2	0.227	0.22	5.42		0.819	0.068
	3	0.239	0.232	1.63		0.952	0.079

#### 3.1.2 Temperaturer

Ingen resultater, tekniske problemer førte til at jeg ikke fikk ut temperaturdataene i tide. For å forhindre at det skjer igjen bør jeg laste opp SQL databasen til nettet som backup.

#### 3.1.3 TSS

TSS analysene var alltid 0 for alle kolonnene, det ga ikke utslag så kan ligge under deteksjonsgrensen for eksperiment. Her burde jeg ha filtrert mer vann for å få et nøyaktig tall. Det ble også utført en UV-transparent analyse som viste at vannet fra alle kolonner var neste 100 % UV-transparent. Vannet så også helt klart partikkelfritt.

#### 3.1.4 E. coli

Under drift av UV-anlegg mellom gråvannrenseanlegg og mitt forsøk viste prøvene under 0 for alle kolonnene.



### 3.2 Hydroponiforsøk

#### 3.2.1 Urin tilsetning

Hvor mye måtte tilsettes for å oppnå ønsket elektrisk konduktivitet (EC). Se også Tabell 5.

For reservoaret som skulle ha mest urin (1400 mikrosiemens/cm):

24 liter vann måtte tilsettes 1,15 liter urin for å oppnå en EC på 1300 mikros/cm.

For reservoaret som skulle ha mindre urin:

29,6 liter vann måtte ha 0,95 liter urin for å oppnå en EC på 740 mikros/cm.

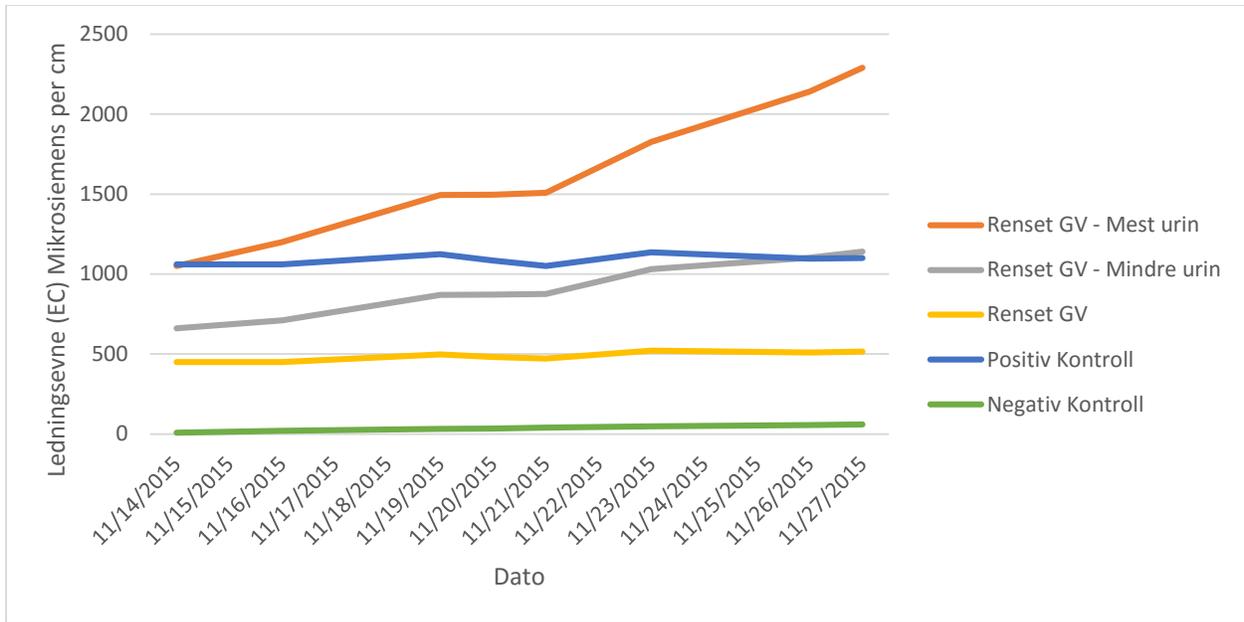
Tabell 5: Sammenheng mellom tilsatt mengde urin og oppnådd EC.

Kolonne 3 (24 liter)		Kolonne 2 (29,6 liter)	
Tilsatt mye urin		Tilsatt mindre urin	
Mengde urin (ml)	Oppnådd EC (mikrosiemens/cm)	Mengde urin (ml)	Oppnådd EC (mikrosiemens/cm)
0	440	0	440
100	560	450	630
250	710	700	680
450	830	950	740
700	960		
900	1150		
1150	1300		

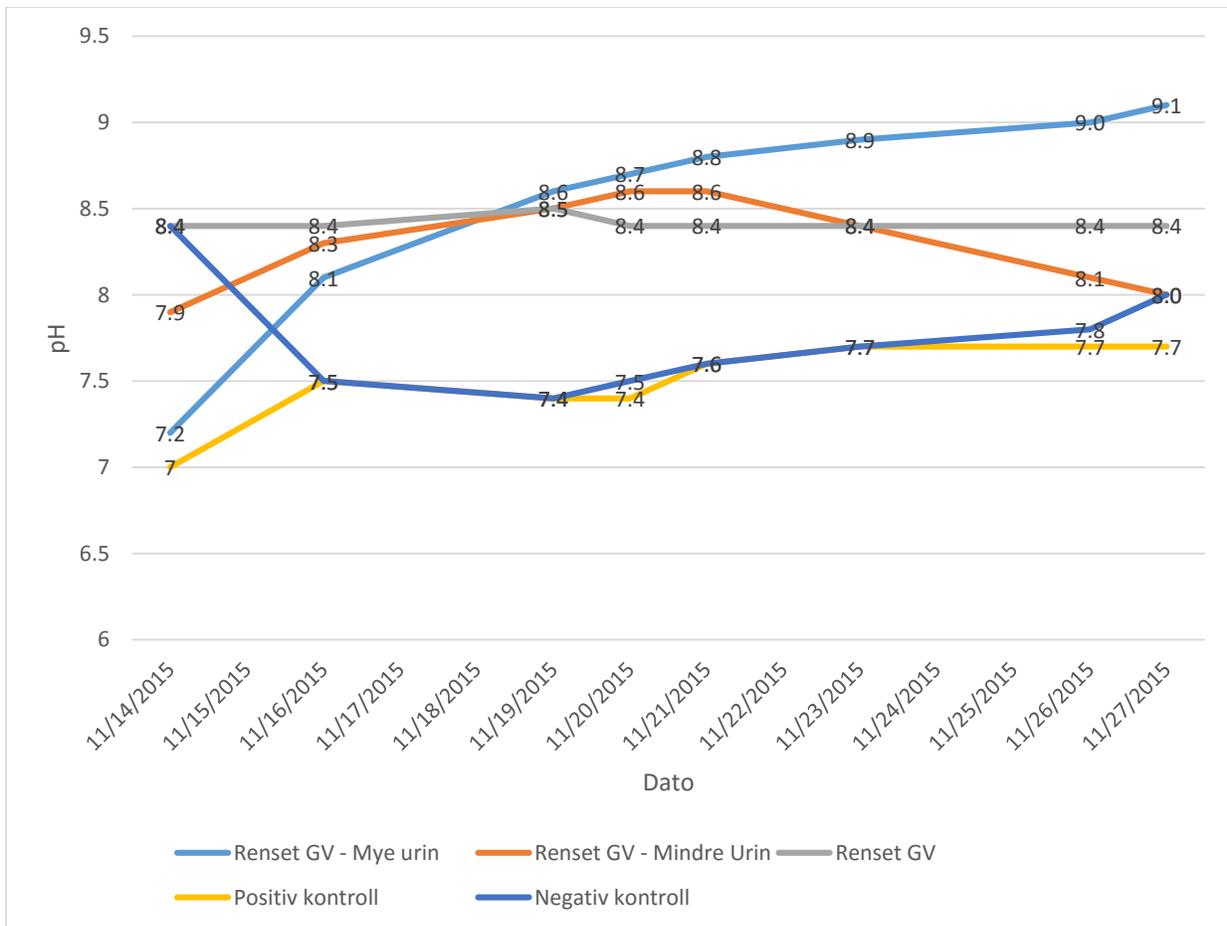
#### 3.2.2 EC og pH

Tabell 6: Elektrisk ledningsevnet (EC) og pH-verdier etter oppstart av planteforsøk.

Dato	Kolonne 3 Tilsatt urin		Kolonne 2 Tilsatt litt urin		Kolonne 1		Kranvann Tilsatt kunstgjødsel		Deionisert	
	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH
11/14/2015	1050	7.2	660	7.9	450	8.4	1060	7	9	8.4
11/16/2015	1200	8.1	710	8.3	450	8.4	1060	7.5	20	7.5
11/19/2015	1495	8.6	870	8.5	498	8.5	1125	7.4	33.2	7.4
11/20/2015	1496	8.7	872	8.6	481	8.4	1085	7.4	35	7.5
11/21/2015	1508	8.8	876	8.6	472	8.4	1050	7.6	40	7.6
11/23/2015	1826	8.9	1030	8.4	522	8.4	1137	7.7	49	7.7
11/26/2015	2140	9.0	1103	8.1	510	8.4	1097	7.7	56	7.8
11/27/2015	2290	9.1	1140	8.0	516	8.4	1100	7.7	60	8.0



Figur 10: Endringer i ledningsevne, dager etter oppstart. Basert på Tabell 6.



Figur 11: Endringer i pH, dager etter oppstart. Basert på tall i Tabell 6.



### 3.2.1 Planteobservasjoner

Tabell 7: Platefysiologiske observasjoner på havre.

		Kolonne 3 (Tilsatt urin)	Kolonne 2 (Tilsatt litt urin)	Kolonne 1	Kranvann (Tilsatt kunstgjødsel)	Deionisert
<b>Havre</b>	Antall døde planter	"5/5"	"1/5"			
	Maks bladlengde	0	28 cm	29,5 cm	29 cm	26 cm
	Fleste med bladlengde	0	15 cm	16 cm	16 cm	15 cm
	Gj.snitt vekt rot	0	0,70 g	0,88 g	0,73 g	0,93 g
	Gj.snitt vekt blad	0	0,66 g	0,93 g	0,90 g	0,73 g

Tabell 8: Plantefysiologiske observasjoner på tomatplantene.

		Kolonne 3 (Tilsatt urin)	Kolonne 2 (Tilsatt litt urin)	Kolonne 1	Kranvann (Tilsatt kunstgjødsel)	Deionisert
<b>Tomat</b>	Antall døde planter	"3/5"	"1/5"			
	Div	tydelig minst blad og stilk				
	Maks høyde	6 cm	6 cm	7 cm	11,5 cm	8 cm
	Gj.snitt høyde	5 cm	6 cm	6 cm	9,3 cm	7 cm
	Gj. snitt antall blader u. første	2.5	4	4	4.5	3.9
	Hår på plantene:	nesten ikke hår på stilk og blad	nesten ikke	mye hår på stilk og blad	mye hår på stilk og blad	lite hår
	Gj. snitt på største bladbar	3.25	4.5	5	6	4.5
	Størrelses forhold på blader	5. største	4. største	nest størst blader	de største bladene	3. største

Det var ingen mangelsymptomer på noen av plantene med tanke på næringsstoffer, og bladfargen var lik hos alle.



## 4. Diskusjon

### 4.1 Vannkvalitet

Vannkvalitet sammenlignet med drikkevannskrav. I følge Drikkevannsforskriften må drikkevann være:

«Hygienisk betryggende, klart og uten framtreddende lukt, smak eller farge. Det skal ikke inneholde fysiske, kjemiske, eller biologiske komponenter som kan medføre fare for helseskade i vanlig bruk. Drikkevann skal oppfylle kvalitetskravene i vedlegget i denne forskriften. Egen vannforsyning til en enkelt husholdning skal være hygienisk betryggende. For denne type vannforsyning gjelder vedlegget til forskriftene som veiledende norm.»

Vedlegget til Drikkevannsforskriften setter følgende krav:

Tabell 9: Grenseverdier fra Vannforskriften som er aktuelle for mine målinger. Kilde: Vannforskriften

Nr.	Parameter	Enhet	Grenseverdi
4	Turbiditet	FNU	1
6	E. coli	Antall/100	0
19	Ammonium	Milligram/l N	0,50
33	Kjemisk oksygenforbruk, COD	Milligram/l O	5,0
42	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	Milligram/l N	10

Sammenlignet med kravene i drikkevannsforskriften er det kun COD som ble målt til over grenseverdien, men de fleste dagene var den under. E. coli var under 0, trolig på grunn av at UV behandlingen er så effektiv mot bakterier. Dette er bra, men også dumt fordi jeg ikke får se hvor effektivt systemet fjerner patogener. Dette er absolutt et område hvor det bør gjøres forsøk.

Vannet fra dette rensesystemet kan ikke anbefales å drikkes da prøvene som er tatt ikke er omfattende nok. Det er forventet liten til ingen tungmetaller pga. kull i filteret, men det ble ikke målt spesifikt. Det ble heller ikke målt noen parametere med tanke på rester fra husholdningskjemikalier, medisiner eller andre mikroforurensninger som oppstår. Det er gjort mye forskning på avanserte rensemetoder det siste tiåret, men selv om det meste kan bli fjernet, er det ingen metoder som tar «alt» (Kümmerer 2008).

Vannforskriften setter ikke krav til total fosfor og nitrogen. Men hvis vi ser på eldre tabeller finner vi et klassifiseringssystem som sier noe om næringsstoffer. I følge (Holtan and Rosland 1992) så ligger det i klassen «Meget dårlig» med tanke på fosfor- og nitrogeninnholdet. Det rensede vannet inneholder mer næringsstoffer en det drikkevann gjør, men så lenge det ikke utgjør en fare for helsen, så vil jeg påstå at det er trygt å håndtere. Desto bedre til dyrking av planter ettersom næringsstoffene er av en form som gjør dem tilgjengelige for planter, og ikke har noen patogener som kan utgjøre en risiko.

I følge (Li, Wichmann et al. 2009) inneholder vann fra bad og vaskemaskiner lite nitrogen og fosfor, mens vann fra kjøkkenet har et balansert COD:N:P forhold. Så ved å ikke ta med kjøkkenvann er det mulig å holde næringsstoff innholdet i gråvannet nede hvis man ønsker det, for å bruke det om igjen. Det påpekes også i deres artikkel at det mangler spesifikke retningslinjer og verdier for gjenbruk av gråvann, eller at de som finnes ikke er omfattende nok.



Som nevnt tidligere i oppgaven er det ikke satt noe krav til gjenbruk av gråvann, men man bør følge retningslinjer som gjør det trygt å bruke. For at det skal settes nasjonale krav- og retningslinjer må gjenbruk av gråvann bli aktuelt hos kommunale og interkommunale vannverk, da de håndterer mesteparten av avløpet i Norge. Det vil trolig ikke skje i nær fremtid, da separering av avløp ikke er utbredt og man har allerede problemer med å opprettholde det nåværende avløpsnettet.



## 4.2 Hydroponiforsøk

### 4.2.1 EC og pH

EC og pH økte mest i reservoaret tilsatt mest urin. PH var allerede høy i starten pga. filtralitemediet som ble brukt i plantepottene, de ble grundig skylt før bruk.

EC sank først noe etter som reservoaret ble blandet med vannet som sto i karet hvor plantene var. Deretter økte EC i begge reservoarene som fikk tilsatt urin, men til over det dobbelte i det største. Her kan det være en reaksjon som også høyner pH.

### 4.2.2 Planteobservasjoner

#### For havre:

- Døde i karene med høyest pH og EC.
- Vokste mest i karet med kun gråvann.

Havre ønsker en EC rundt 1400 mikrosiemens/cm. Det kan være andre grunner til at all havren døde i det ene reservoaret men kan være pga. pH over 9 og at EC økte til over 2000.

Det var også enkelt planter som døde fordi de ikke overlevde transaksjonen til hydroponi-systemet, derfor gir det et unøyaktig bilde og bruke gjennomsnittlige tall om høyde og vekt og kan ikke brukes til å sammenligne reservoarene. Plantene var også ganske små.

#### For tomat:

- Hårene på planter, kalt trikomer, vokser fra cellene i overhuden og har funksjoner etter hvor de sitter. På stengler og blad fungerer de ofte som dekkhår for å for å redusere transpirasjon fra overflaten. Andre bruksområder er for å holde unna insekter, isolere og reflektere lys. Mengden og størrelsen på disse hårene kan da si noe om hvor friske og levedyktige plantene er i forhold til hverandre.
- I reservoarene tilsatt urin og i reservoaret med avionisert vann var det minst trikomer, derfor tror jeg det er et tegn på at forholdene ikke er optimale i disse vannmiljøene.
- Plantene med kunstgjødsel har tydelig større og lengre blader, høyere. Men så har plantene som står i "lab-vann" vokst mer enn de som står i gråvann. Men de har mindre antall blader. pH verdien var lavere og nærmere det optimale i reservoaret tilsatt kunstgjødsel, den fikk ikke den samme økningen i pH som reservoarene tilsatt gråvann.

Det var ingen symptomer på at de manglet noen type næring; bladene var like på alle og de hadde samme farge. Jeg brukte bilder og beskrivelser fra boken Plan Physiology and Development (Taiz and Zeiger 2010) for å vurdere dette. Men siden plantene er såpass unge og små, tror jeg ikke at eventuelle mangler er synlige, dette er ganske sikkert ettersom plantene som sto i avionisert vann uten næring tilsatt ikke viste noen tegn på mangler. De høye pH-verdiene skaper også forhold som gjør det vanskelig for plantene å ta opp næringsstoffene. Andre faktorer som har mye å si for vekst, er lyset. Plantene sto i et dagopplyst rom så mengden var likt for alle, selv om det trolig var for lite for optimal vekst.

Generelt så blir det vanskelig å si noe sikkert om forskjellene mellom urin og kunstgjødsel i dette forsøket bortsett fra at vann tilsatt urin øker både pH og EC vesentlig og det må undersøkes nærmere.



### 4.3 Veien videre

Et mål for denne oppgaven er at filter-systemet jeg bygget for å rense gråvann kan brukes videre for andre master- eller semesteroppgaver. Erfaringene jeg fikk ved å bruke et hydroponisk system tilsatt urin viste mange utfordringer som også det også kan lages oppgaver på.

#### 4.3.1 Forbedring på kolonner

- Kolonnene bør isoleres. Siden de skal stå ute hele året kan de ikke fryse, det kommer an på temperaturen som sendes ut til kolonnene også og mengden vann.
- Det bør lages nye og bedre tanker som står under og tar imot det rensede gråvannet.
- Bunnene hvor tankene står bør isoleres, da vannet blir liggende stille her fryser det lettere.
- Forbedre datalogger til å laste SQL databasen opp på nettet.

#### 4.3.2 Forsøk

Basert på hva jeg har gjort og erfart har jeg forslag til videre prosjekter:

- Tracer test for å bestemme oppholdstid for vannet i kolonnene nøyaktig, man kan også se om det er store forskjeller mellom dem, men etter mine observasjoner er det ikke stort.
- Kjøre forskjellige volumstrømmer og se effekten av det på vannkvaliteten.
- Forsøk for å finne effekten til å redusere patogener. Da det under mitt forsøk var installert en UV lampe rett etter Ecomotive systemet, fikk jeg en veldig redusert mengde, noen ganger under 0.
- Forsøk for å finne filteret sin evne til å fjerne tungmetaller.
- Forsøk for å finne filteret sitt evne til å fjerne mikro-forurensninger.
- Lengre forsøk med den rensede gråvannet og urin for å se hvordan pH og EC endrer seg over tid.
- Forsøk for å måle hvordan næringsstoffinnholdet i gråvannet tilsatt urin endrer seg.
- Forsøk med planter under optimale forhold, med tanke på lys og pH. Man kan da lettere se eventuelle forskjeller med tanke på opptak av næringsinnhold.



## 5. Konklusjon

I denne masteroppgaven var det meningen å bygge et filteranlegg som skulle polere gråvann, som først ble rensert i Ecomotive sitt gråvannrensaneanlegg, til en kvalitet som gjør det mulig å bruke vannet om igjen. Det skulle også utføres et hydroponisk forsøk hvor vannet ble tilsatt urin, for å finne ut hva man kan forvente hvis man skal dyrke hydroponisk med urin som næring. Det ble tatt målinger av vannparametere og dyrket planter i systemet som indikatorer på miljøet som oppstår.

Vannet som ble filtrert i kolonnene ble helt klart og uten noe lukt, E. coli ble målt til under 0, men vet ikke helt renseseffekten da det var plassert UV behandling foran som tok mesteparten av patogener fra vannet. Ammonium og nitrat ble målt til under grenseverdiene for drikkevann, COD var nærme grenseverdien for drikkevann, men ble målt over ved tre anledninger. Jeg kan ikke anbefale at det drikkes, da vi ikke vet noe om metaller eller mikroforurensninger. Næringsstoffinnholdet er såpass høyt at det klassifiseres som «Meget dårlig» som drikkevann, men derav bedre for vanning av planter.

Det mangler spesifikke krav til vannkvalitet ved gjenbruk av gråvann, men man kan se tallene en får i forhold til krav til drikkevann og avløp. I dette tilfelle ble det ikke funnet e. coli i det rensede gråvannet så da vil jeg påstå at det er trygt å bruke til for eksempel: vanning av planter, skylle ned i toalett, vasking av bil, oppvask og klesvask. Ikke som drikkevann eller til matlaging.

Hydroponi-forsøket viste at man ikke kan bruke urin som næringstilsetning uten å måtte regulere pH. Det ble også observert at ledningsevne (EC) økte sammen med pH, i uker etter oppstart. Forholdene (pH og EC) endret seg så mye at jeg tror å sammenligne næringsstoffene gir et uklart resultat, også vanskelig da plantene fortsatt var veldig små grunnet for kort tid på forsøket. For å få et bedre bilde av hva som skjer bør det gjøres nye forsøk med vann og urin over flere måneder for å kartlegge best mulig.

Det er flere forbedringer som kan gjøres på filteret, og jeg har mange forslag til oppgaver den kan brukes til. Erfaringene fra forsøket med urin fant flere utfordringer som må utforskes videre for å kunne bruke urin som næring i et hydroponisk system. Det finnes lite eller ingen informasjon om forsøk med bruk av gråvann og/eller urin i hydroponiske systemer, så et spennende område og fortsette forskning i.



## 6. Kilder

Al-Hamaiedeh, H. and M. Bino (2010). "Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants." Desalination **256**(1-3): 115-119.

Asimov, I. (1974). Asimov on Chemistry. New York, USA, Doubleday Publishing.

Boyjoo, Y., et al. (2013). "A review of greywater characteristics and treatment processes." Water Science and Technology **67**(7): 1403-1424.

Cordell, D. (2010). The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. Institute for Sustainable Futures. Linköping, Sweden, University of Technology, Sydney and Linköping University. **PhD**.

Cordell, D. (2013). Peak phosphorus and the role of P recovery in achieving food security. Source Separation and Decentralization for Wastewater Management, IWA publishing.

Cordell, D., et al. (2009). "The Story of Phosphorus: Global food security and food for thought." Global Environmental Change **19**(2): 292-305.

Despommier, D. (2011). The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century.

Emsley, J. (2000). The 13th Element: The Sordid Tale of Murder, Fire, and Phosphorus. New York, USA, Wiley & Sons.

Erismann, J. W. and T. A. Larsen (2013). Nitrogen economy of the 21st Century. Source Separation and Decentralization for Wastewater Management.

Eshetu, M., et al. (2014). Ecomotive A02 Greywater Treatment Plant - Final test report.

Esrey, S. A. and I. Andersson (2001). "Closing the loop: Ecological sanitation for food security." Water Resour **18**.

Fatunbi, A. O. (2009). "Suitability of human urine enriched compost as horticultural growing medium." World Appl Sci J **6**(5): 637-643.

Fittschen, I. and H. H. Hahn (1998). "Characterization of the municipal wastewater part human urine and a preliminary comparison with liquid cattle excretion." Water Chi Technol **38**(6): 9-16.



Galloway, J. N., et al. (2008). "Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions." Science(320): 889-892.

Germer, J. S., et al. (2011). "Skyfarming an ecological innovation to enhance global food security." Journal of Consumer Protection and Food Safety.

Gulbrandsen, A. (1999). Vannbesparende vakuumsystem for transport av svartvann og lokal behandling av gråvann i konstruert våtmark. IMT. Ås, Norway, NMBU (NLH). **Master**.

Heinonen-Tanski, H., et al. (2007). "Pure human urine as a good fertilizer for cucumbers." Bioresour Technol **98**: 214-217.

Heistad, A. (2012). Kapittel 17 VA i spredt bebyggelse. Vann- og avløpsteknikk. H. Ødegaard.

Höglund, C., et al. (2002). "Viral persistence in source-separated human urine." Adv Environ Res **6**: 265-275.

Holtan, H. and D. S. Rosland (1992). Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann S. forurensningstilsyn, SFT.

IFA (2008). Feeding the Earth: Fertilizers and Global Food Security. Paris, France, Market Drivers and Fertilizer Economics International Fertilizer Industry Association.

IFPRI (2002). Green Revolution: Curse or Blessing? Washington DC, USA, International Food Policy Research Institute.

Johnston, A. E. (2000). Soil and plant phosphate. Paris, France, International Fertilizer Industry Association (IFA).

Jönsson, H., et al. (2004). Guidelines on use of urine and faeces in crop production. Report 2004-2 Ecosanres. Stockholm, Sweden, Stockholm Environment Institute.

Jönsson, H. and B. Vinnerås (2013). Closing the loop: Recycling nutrients to agriculture. Source Separation and Decentralization for wastewater management.

Kirchmann, H. and S. Pettersson (1995). "Human urine-chemical composition and fertilizer efficiency." Fertilizer Res **40**: 149-154.

Kümmerer, K. (2008). Strategies for reducing the input of pharmaceuticals into the environment. Pharmaceuticals in the environment. Sources, Fate, Effects and Risks. . K. Kümmerer. Berlin, Heidelberg, Germany, Springer. **3rd ed.**: 411-418.



Ladner, P. (2011). The Urban Food Revolution.

Larsen, T., et al. (2013). Source separation and Decentralization for Wastewater Management.

Li, F., et al. (2009). "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses." Science of the total environment **407**(11): 3439-3449.

Maurer, M., et al. (2003). "Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery." Water Sci Technol **48**(1): 37-46.

Morgan, P. (2003). Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops. Third World Water Forum 16-23 March 2003.

Ødegaard, H., et al. (2012). Vann- og Avløpsteknikk.

Pradhan, S. K., et al. (2007). "Use of human urine fertilizer in cultivation of cabbage (*Brassica oleracea*) - impacts on chemical, microbial, and flavor quality." J Agric Food Chem **55**: 8657-8663.

Programme, U. N. E. (2012). Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management, United Nations Environment Programme Nairobi, Kenya.

Rittmann, B. E. (2013). The energy issue in urban water management. Source Separation and Decentralization for Wastewater Management. T. A. Larsen, K. M. Udert and J. Lienert, IWA Publisher: 13-27.

Sloper, C. H. (2013). The LED grow book.

Strauss, M. and U. J. Blumenthal (1990). Use of human wastes in agriculture and aquaculture. IRCWD report no 08/90. Duebendorf, Switzerland.

Svete, L. E. (2012). Vegetated greywater treatment walls: Design Modifications for intermittent Media Filters. IMT. Ås, Norway, NMBU. **Master**.

Taiz, L. and E. Zeiger (2010). Plant Physiology and Development Sixth Edition.

Tidåker, P., et al. (2007). "Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilizers - a scenario study." J Cleaner Prod **15**(1): 52-62.



Todt, D., et al. (2015). "Load and distribution of organic matter and nutrients in a separated household wastewater stream." Environmental Technology **36**(12): 1584-1593.

Vinnerås, B. and H. Jönsson (2002). "The performance and potential of fecal separation and urine-diversion to recycle plant nutrients in household wastewater." Bioresour Technol **84**: 275-282.

Winker, M., et al. (2010). "Ryegrass uptake and carbamazepine and ibuprofen applied by urine fertilization." Sci Total Environ **408**: 1902-1908.

Wolfast, M. (1993). "Rena vatten. Om tankar i kretslopp." Creamon HB Uppsala: 1-186.

## 7. Vedlegg

### Vedlegg A: Filtralite NR 2-4

#### **FILTRALITE® NR 2-4**



#### Product description

##### PRODUCT

Filtralite® is high quality filter media, manufactured from a unique expanded clay material.

##### ADVANTAGES

Filtralite® media, with its highly porous structure, enables improved filter efficiency by reduced backwash frequency and improved water velocity. Filtralite® media generate substantial savings by both improved filter capacity, and reduced operational costs.

##### EXPLANATIONS

N = Normal density, M = Medium density, H = High density, C = Crushed, R = Round

#### Product specificaton

Commercial name	FILTRALITE® NR 2-4
Density	Bulk density, loose: 360 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Round particles, smooth surface with micropores
Manufactured by	Weber Leca Rælingen, Norway
Version	8

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Particle size range	1-5 mm	> 5 mm max. 15 % < 1 mm max. 15 %	EN 12905
Bulk density, dry, loose	320 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3

#### CHEMICAL COMPOSITION, APPROXIMAT VALUES

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O
63%	17%	7%	4%	2%	2%

#### Disclaimer

The information provided in this data sheet is based on our current knowledge and experience. All the above information must be considered as guidelines. It is the user's responsibility to ensure that the product is suitable for the intended use and perform self-monitoring. The user is responsible if the product is used for purposes other than those recommended, or improper execution. We are available for consultation in the use of our products.

Figur 12: Produktdatablad Filtralite NR 2-4 (<http://www.weber-norge.no/>)

## Vedlegg B: Filtralite NC 0,8-1,6

**FILTRALITE® NC 0,8-1,6**

**Product description**
**PRODUCT**

Filtralite® is high quality filter media, manufactured from a unique expanded clay material.

**ADVANTAGES**

Filtralite® media, with its highly porous structure, enables improved filter efficiency by reduced backwash frequency and improved water velocity. Filtralite® media generate substantial savings by both improved filter capacity, and reduced operational costs.

**EXPLANATIONS**

N = Normal density, M = Medium density, H = High density, C = Crushed, R = Round

**Product specification**

Commercial name	FILTRALITE® NC 0,8-1,6
Density	Bulk density, compressed: 530 kg/m <sup>3</sup> Particle density: 1260 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Crushed particles, porous surface structure
Manufactured by	Weber Leca Rælingen, Norway
Version	7

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Particle size range	0,8-1,6 mm	< 0,8 mm max. 5 % > 1,6 mm max. 5 %	
Bulk density, dry, compressed	530 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3, 10 strokes
Particle density, apparent	1260 kg/m <sup>3</sup>	± 150 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-6: Annex E

Other properties	Value	Comments
Voids	~61 %	EN 1097-3, approximat value
Acid solubility	< 7 %	EN 12902

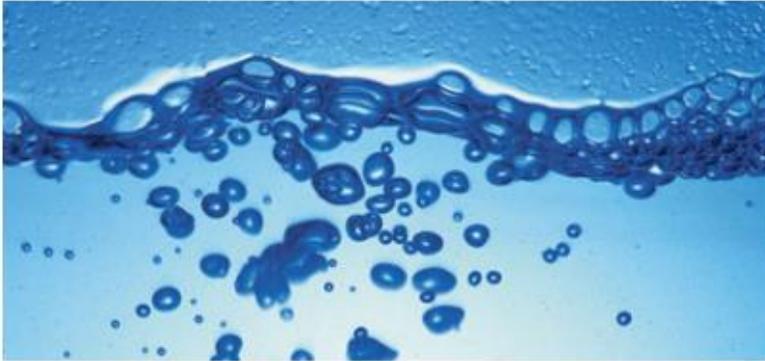
**CHEMICAL COMPOSITION, APPROXIMAT VALUES**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O
63%	17%	7%	4%	2%	2%

Figur 13: Produktdatablad Filtralite NC 0,8-1,6 (<http://www.weber-norge.no/>)

## Vedlegg C: Filtralite NC 1,5-2,5

## FILTRALITE® NC 1,5-2,5



### Product description

#### PRODUCT

Filtralite® is high quality filter media, manufactured from a unique expanded clay material.

#### ADVANTAGES

Filtralite® media, with its highly porous structure, enables improved filter efficiency by reduced backwash frequency and improved water velocity. Filtralite® media generate substantial savings by both improved filter capacity, and reduced operational costs.

#### EXPLANATIONS

N = Normal density, M = Medium density, H = High density, C = Crushed, R = Round

### Product specification

Commercial name	FILTRALITE® NC 1,5-2,5
Density	Bulk density compressed: 500 kg/m <sup>3</sup> Particle density: 1050 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Crushed particles, porous surface structure
Manufactured by	Weber Leca Rælingen, Norway
Version	7

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Particle size range	1,4-2,5 mm	< 1,4 mm max. 5 % + Δ < 0,125 mm > 2,5 mm max. 5 %	
Bulk density, dry, compressed	500 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3, 10 strokes
Particle density, apparent	1050 kg/m <sup>3</sup>	± 150 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-6: Annex E

Other properties	Value	Comments
Voids	~60 %	EN 1097-3, approximat value
Acid solubility	< 7 %	EN 12902

#### CHEMICAL COMPOSITION, APPROXIMAT VALUES

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O
63%	17%	7%	4%	2%	2%

Figur 14: Produktdatablad Filtralite NC 1,5-2,5 (<http://www.weber-norge.no/>)

## Vedlegg D: Aktivert kull

## Data Sheet

Pure Water. Clean Air. Better World.



## FILTRASORB® 400

Granular Activated Carbon

### Applications



FILTRASORB 400 activated carbon can be used in a variety of liquid phase applications for the removal of dissolved organic compounds. FILTRASORB 400 has been successfully applied for over 40 years in applications such as drinking and process water purification, wastewater treatment, and food, pharmaceutical, and industrial purification.

### Description

FILTRASORB 400 is a granular activated carbon for the removal of dissolved organic compounds from water and wastewater as well as industrial and food processing streams. These contaminants include taste and odor compounds, organic color, total organic carbon (TOC), and industrial organic compounds such as TCE and PCE.

This activated carbon is made from select grades of bituminous coal through a process known as reagglomeration to produce a high activity, durable, granular product capable of withstanding the abrasion associated with repeated backwashing, hydraulic transport, and reactivation for reuse. Activation is carefully controlled to produce a significant volume of both low and high energy pores for effective adsorption of a broad range of high and low molecular weight organic contaminants.

FILTRASORB 400 is formulated to comply with all the applicable provisions of the AWWA Standard for Granular Activated Carbon (B604) and Food Chemicals Codex. This product may also be certified to the requirements of ANSI/NSF Standard 61 for use in municipal water treatment facilities. Only products bearing the NSF Mark are certified to the NSF/ANSI 61 - Drinking Water System Components - Health Effects standard. Certified Products will bear the NSF Mark on packaging or documentation shipped with the product.

### Features / Benefits

- Produced from a pulverized blend of high quality bituminous coals resulting in a consistent, high quality product.
- Carbon granules are uniformly activated through the whole granule, not just the outside, resulting in excellent adsorption properties and constant adsorption kinetics.
- The reagglomerated structure ensures proper wetting while also eliminating floating material.
- High mechanical strength relative to other raw materials, thereby reducing the generation of fines during backwashing and hydraulic transport.
- Carbon bed segregation is retained after repeated backwashing, ensuring the adsorption profile remains unchanged and therefore maximizing the bed life.
- Reagglomerated with a high abrasion resistance, which provides excellent reactivation performance.
- High density carbon resulting in a greater adsorption capacity per unit volume.

### Specifications<sup>1</sup>

	FILTRASORB 400
Iodine Number, mg/g	1000 (min)
Moisture by Weight	2% (max)
Effective Size	0.55–0.75 mm
Uniformity Coefficient	1.9 (max)
Abrasion Number	75 (min)
Screen Size by Weight, US Sieve Series	
On 12 mesh	5% (max)
Through 40 mesh	4% (max)

<sup>1</sup>Calgon Carbon test method

### Typical Properties\*

	FILTRASORB 400
Apparent Density (tamped)	0.54 g/cc
Water Extractables	<1%
Non-Wettable	<1%

\*For general information only, not to be used as purchase specifications.

### Safety Message

Wet activated carbon can deplete oxygen from air in enclosed spaces. If use in an enclosed space is required, procedures for work in an oxygen deficient environment should be followed.

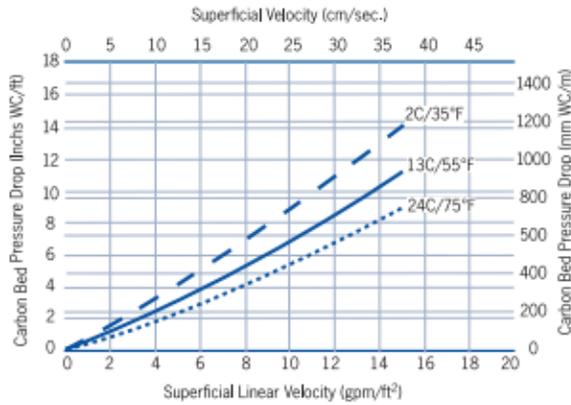
1.800.4CARBON calgoncarbon.com

© Copyright 2015 Calgon Carbon Corporation, All Rights Reserved  
DS-FILTRA40015-EIN-E1Figur 15: Produktdatablad Filtrasorb 400 del 1 (<http://www.calgoncarbon.com/>)



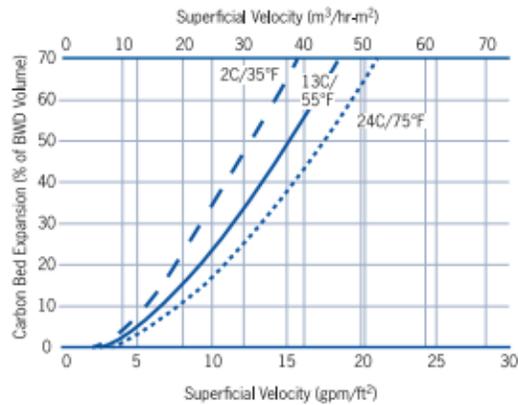
**Typical Pressure Drop**

Based on a backwashed and segregated bed



**Typical Bed Expansion During Backwash**

Based on a backwashed and segregated bed



**Design Considerations**

FILTRASORB 400 activated carbon is typically applied in down-flow packed-bed operations using either pressure or gravity systems. Design considerations for a treatment system is based on the user's operating conditions, the treatment objectives desired, and the chemical nature of the compound(s) being adsorbed.

**Safety Message**

Wet activated carbon can deplete oxygen from air in enclosed spaces. If use in an enclosed space is required, procedures for work in an oxygen deficient environment should be followed.

1.800.4CARBON calgoncarbon.com

© Copyright 2015 Calgon Carbon Corporation, All Rights Reserved  
DS-FILTRA40015-EIN-E1

Figur 16: Produktdatablad Filtrasorb 400 del 2 (<http://www.calgoncarbon.com/>)



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)