

# Hydrauliken i Ångersjöns fosforfällor

– bestämning av flödesvägar och åtgärdsförslag för optimal fosforbindning vid avloppsrening med reaktiva filter

HYDRAULICS OF FILTER MEDIA FOR PHOSPHORUS SEPARATION IN A  
SMALL SCALE WASTEWATER TREATMENT PLANT

Ellinor Jansson

**Examensarbete**

Handledare: Lars Hylander  
Daniel Stråe  
Hanna Friberg

---

Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för Markvetenskap  
Avdelningen för Hydroteknik

Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Hydrotechnics

Uppsala 2008

---

Examinator: Harry Linnér, Statsagronom, Sveriges Lantbruksuniversitet, Ultuna

Handledare: Lars Hylander, Docent, Institutionen för Geovetenskap, Uppsala Universitet  
Daniel Stråe, WRS Uppsala AB  
Hanna Friberg, SSAB Merox AB

### **Tackord**

Det är många som har hjälpt mig under arbetets gång som jag vill tacka. Främst mina handledare Lars Hylander, Daniel Stråe och Hanna Friberg som ställt upp i vått och torrt. Jag vill även tacka Mikael Anderson som varit min lokala guide och hjälpt mig med praktiskt arbete vid Ångersjön, och Kjell Örjes som hjälpt mig få fram provtagningsutrustning.

Och sist ett stort tack till SSAB Merox AB som ställt upp och finansierat examensarbetet.

## **INNEHÅLLSFÖRTECKNING**

<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>INLEDNING</b>	<b>7</b>
Syfte	7
<b>TEORI OCH TIDIGARE STUDIER</b>	<b>8</b>
<b>Hydraulik i filterbäddar</b>	<b>8</b>
Skiktningar	8
Densitetsskillnad	9
Biologisk tillväxt	9
<b>Kemisk bindning av fosfor till filtermaterial</b>	<b>9</b>
<b>Var i filtret adsorberas fosfor?</b>	<b>10</b>
<b>MATERIAL</b>	<b>11</b>
<b>Platsbeskrivning</b>	<b>11</b>
Utformning av anläggningen	11
Krav på rening	12
<b>Material i fosforfällorna</b>	<b>13</b>
Filtralite-P	13
Hyttsand	13
Reningsförmåga hos Filtralite-P och Hyttsand	14
<b>Dimensionering och mängder av filtermaterial vid Ångersjöns rastplats</b>	<b>14</b>
<b>Vattennivåer</b>	<b>15</b>
<b>Flöden</b>	<b>15</b>
<b>Vattenkvalitet</b>	<b>16</b>
Fosfor	16
pH	18
Organiskt material	18
Kloridhalt	18
Fällning	18
<b>METOD</b>	<b>19</b>
<b>Provpunkter</b>	<b>19</b>
<b>Mätning av fosfor</b>	<b>19</b>
<b>Kornstorleksfördelning</b>	<b>19</b>

<b>Statistiska beräkningar</b>	<b>19</b>
<b>RESULTAT</b>	<b>20</b>
<b>Observationer</b>	<b>20</b>
<b>Fosforhalter i materialen</b>	<b>20</b>
Fördelning av fosfor halt i djupled	21
<b>Olika resultat beroende av mätmetod</b>	<b>21</b>
Skillnader i mellan fosforhalt bestämd i materialen och jämförelse med tidigare studier	21
<b>Kornstorleksfördelning</b>	<b>22</b>
<b>DISKUSSION</b>	<b>22</b>
<b>Skillnader i fosforadsorption beroende av mätmetod</b>	<b>23</b>
Filtralite-P	23
Hyttsand	24
<b>SLUTSATSER</b>	<b>24</b>
<b>REFERENSER</b>	<b>25</b>
Litteratur	25
Internet	26
Personligt meddelande	26
<b>BILAGA I: INNEHÅLL I HYTTSSAND</b>	<b>27</b>
<b>BILAGA II: FOSFORFRAKTIONERING ENLIGT HEDLEY</b>	<b>28</b>

## SAMMANFATTNING

Utsläpp av orenat avloppsvatten leder till onaturligt höga halter av kväve och fosfor i rinnande vatten, sjöar och hav med bl.a. rubbade ekosystem och syrebrist som följd. En stor del av fosfor kommer från enskilda avlopp med bristfällig rening. Nya kostnadseffektiva material och metoder för fosforavskiljning behövs på marknaden för att avhjälpa detta.

Hyttsand är en biprodukt från järnframställning som i laboratorieförsök har visat sig kunna binda fosfor. För att testa Hyttsand som reaktivt filtermaterial för fosforavskiljning i ett fullskaligt försök har en reningsanläggning med två parallella reningslinjer med Hyttsand respektive Filtralite-P som filtermaterial för avloppsvatten anlagts. Filtralite-P är ett beprövat filtermaterial för fosforavskiljning. Anläggningen ligger vid Ångersjön strax söder om Hudiksvall och startades 2004. Mätvärden från pågående övervakning visar att båda filtren har avtagit i fosforavskiljning sedan start. Brister i hydrauliken i fosforfiltren misstänktes ha en avgörande roll för oväntat låg adsorption av fosfor, varför detta undersöktes i detta examensarbete.

Erhållna resultat visar att i båda filtren avtar fosforhalten bundet till materialet med höjden. Det tyder på att vattnet passerar genom de lägre delarna av filtret när inlopp och utlopp är placerade i botten. Skillnaden i fosforhalt i höjdlängd är procentuellt större i Hyttsandsfiltret än i Filtralite-P-filtret vilket möjligen visar att flödet är jämnare fördelat i Filtralite-P-filtret.

Avsaknad av gradient i fosforhalt emellan inlopp och utlopp samt ökande halter i utgående vatten tyder på fosformättnad i filtren. För Filtralite-P-filtret visar analysvärden från ett externt laboratorium att materialet hade tagit upp mer fosfor än vad mina egna analyser med en annan metod visade. De externa analysvärdena visar att filtret var mättat enligt tillverkarens specifikationer. Tidigare studier av Hyttsand anger att materialet kan binda in mer fosfor än vad som skett i anläggningen vid Ångersjön.

För att förbättra hydrauliken och därmed fosforadsorptionen till materialet bör inlopp eller utlopp placeras i övre delen av filtret samt vattennivån bör hållas så hög som möjligt.

## ABSTRACT

Discharge of untreated wastewater leads to unnaturally high levels of nitrogen and phosphorus in rivers, lakes and the sea, which results in unbalanced ecosystems with eutrophication and lack of oxygen. Part of the phosphorus in surface waters is coming from on-site wastewater treatment from scattered households with unsatisfactory purification.

Blast furnace slag is a by-product from iron production, and has in laboratory trials showed good phosphorus binding capacity. To test blast furnace slag as a reactive filter media for phosphorus separation in a full scale experiment, a wastewater treatment plant has been built behind the picnic area at Ångersjön alongside the road E4 in central-eastern Sweden. The plant contains two parallel lines, one with blast furnaces slag and the other with Filtralite-P as phosphorus sorbent. Both filters have showed decreasing phosphorus purification effect with time in spite of a low wastewater load. Inhomogenous hydraulic in the phosphorus filters was suspected to result in poorer absorption of phosphorus than expected. This hypothesis was investigated in the present study.

There is no gradient in phosphorus contents between filter material located at the entrance as compared to the outlet in none of the filters. Phosphorus contents decline with height in both filters, indicating that most probably the larger part of the wastewater runs in the lower section of the filter as a result of that both the inlet and the outlet were at the bottom. The phosphorus level of the filter with blast furnace slag decreases more as a function of the distance from the bottom than the filter with Filtralite-P. This may indicate that the waterflow is more uniformly distributed in the filter with Filtralite-P.

The absence of any gradient in phosphorus level between the entrance and the outlet and continuously increasing phosphorus concentrations in the outlet water indicates that the filter was saturated. Analyses of total phosphorus content in material from the filter with Filtralite-P, done at an external laboratory show higher amounts of phosphorus than my own analyses with another method show. The total phosphorus content indicates that the filter is saturated according to the specifications of the Filtralite-P supplier. Regarding the blast furnace slag, a higher capacity to adsorb phosphorus has been documented in other investigations than the amount adsorbed in the filter at Ångersjön.

To optimize the hydraulics in the filters and thereby the phosphorus adsorbing capacity, the inlet or outlet should be placed in the upper horizon of the filter and the water level should be kept as high as possible.

## INLEDNING

Utsläpp av orenat avloppsvatten bidrar till eutrofiering med onaturligt höga halter av främst fosfor, men även av kväve och andra närsalter i rinnande vatten, sjöar och kustnära hav. En ökad tillgång på näring, skapar obalans i ekosystemet och leder till större nettoproduktion av biomassa som så småningom dör och skall brytas ner. När ökade mängder biomassa ska brytas ned åtgår mer syre varpå risken för syrebrist och utbredning av döda bottenar ökar. Både utsläppen av kväve och fosfor behöver generellt minska i Sverige. De enskilda avloppens bidrag till eutrofieringen gäller dock i första hand fosfor.

I Sverige står de enskilda avloppen för en större del av fosforutsläppen (630 ton år 2000) än de kommunala reningsverken (504 ton år 2000) (Naturvårdsverket, 2006). Ändå bor omkring 85 % procent av Sveriges befolkning i områden som är anslutna till kommunal avloppsrening.

Ambitionsnivån för ökad fosforavskiljning i enskilda avlopp har därför höjts på senare år, inte minst genom Naturvårdsverkets nya allmänna råd för enskilda avlopp. De tidigare överlägset vanligaste reningsmetoderna ”infiltration” och ”markbäddar” har fått ökad konkurrens av reningsmetoder som anses inkludera mer långtgående fosforavskiljning. Användning av fällningskemikalier och olika reaktiva filtermaterial förekommer, liksom olika källsorterande lösningar. Den potentiella marknaden och konkurrenskraften bör ändå vara stor för ett material som kan rena avloppsvatten från fosfor på ett effektivt och billigt sätt, särskilt om materialet efter användning kan återföras som gödning på åkermark och dessutom är energi- och resurssnålt. (pers. Stråe, 2008)

Masugnsslagg (Hyttsand) från stål tillverkning i Oxelösund kan vara ett sådant material. Det har i laboratorieförsök visat sig kunna binda fosfor (Stark, 2004). Hyttsanden är dessutom en biprodukt vilket är en fördel ur resurssynpunkt. Efter att materialet har blivit fosformättat är förhoppningen att det ska kunna användas som kombinerat kalk och gödselmedel (pers. Friberg, 2007). Hyttsanden har sedan 2004 testats i en fullskalig avloppsanläggning som servar Vägverkets rastplats vid Ångersjön utmed E4:an strax söder om Hudiksvall. Eftersom reningsanläggningen har två parallella reningslinjer med Hyttsand i den ena linjens fosforfälla och det mer beprövade Filtralite-P i den andra kan driftegenskaperna mellan materialen jämföras i fullskaledrift.

Den uppföljning som pågått sedan anläggningen togs i drift har visat på oväntat snabb avtagande fosforavskiljning i både Hyttsandsfiltret och Filtralite-P-filtret, trots en förhållandevis låg belastning. Hydrauliken i fosforfiltret misstänktes ha en avgörande roll för adsorptionen av fosfor.

## Syfte

Syftet med denna studie har varit att undersöka fosforfällornas hydrauliska egenskaper för att det i förlängningen ska vara möjligt att förbättra utformningen av filterbäddarna. Genom att avgöra hur stor del av filtervolymen som kommer i kontakt med större delen av avloppsvattnet samt i viss kontakt med avloppsvattnet undersöka om hydrauliken begränsar fosforavskiljningsförmågan samt avgöra om en annan typ av konstruktion skulle kunna förbättra hydrauliken och därmed fastläggningsegenskaperna, samt undersöka om typ av filtermaterial påverkar flödesbilden.

Avgränsningen sker till att endast undersöka de reaktiva fosforfiltren vid Ångersjöns rastplats, genom att mäta fosforhalt materialprover. Tidsmässigt så begränsas undersökningen till att omfattat flödesbilden fram till juni 2007 då filtren byggdes om.

## **TEORI OCH TIDIGARE STUDIER**

### **Hydraulik i filterbäddar**

Hydraulisk konduktivitet är ett mått ett materials förmåga att leda vatten. Den hydrauliska konduktiviteten i filterbäddar påverkas av placering av in- och utlopp, egenskaper hos filtermaterialet samt även hydraulisk belastning och densitetsskillnader. Dessutom kan det ske biologisk tillväxt i filtret som ändrar hydrauliken (Suliman, 2006).

För att optimera fosforbindning skall uppehållstiden för avloppsvattnet i filtret vara så lång som möjligt samt kontaktytan så stor som möjligt. Finare och mer porösa material har större kontaktyta än grövre (Zhu, 1998).

Under optimala förhållanden med ett homogent poröst material kan flödet beskrivas med Darcy's lag. Flödet per areaenhet är enligt Darcy's lag den hydrauliska konduktiviteten för materialet multiplicerat med höjdskillnaden per längdenhet (Grip och Rodhe, 1994).

$$Q/A = -K (\Phi_1 - \Phi_2)/L$$

### Skiktningar

Kornstorleksfördelningen i filtermaterialet påverkar hydrauliken genom att grövre material har större porer och får då högre genomsläpplighet medan finare material har sämre genomsläpplighet. Vid slumpmässig packning av filtermaterialet kan skikt med grovt och fint material bildas. Längs lagren med grövre material kan stråk med högre flöde bildas. Det medför minskad kontakttid mellan avloppsvatten och filtermaterial som leder till försämrad rening av avloppsvattnet (Suliman, 2006).

### Placering av inlopp och utlopp

Placeringen av in och utlopp är viktigt för att så stor del som möjligt av filtret ska utnyttjas. Inloppets placering har större betydelse än utloppets placering för flödesvägen (Suliman, 2006).

Genom att placera in- och utlopp så att flödet tvingas gå mot gravitationen utnyttjas större del av filtret. Inlopp i botten och utlopp i toppen på filtret är den kombination av placering av inlopp och utlopp som ger längst uppehållstid (Suliman, 2006).

Kortast genomströmningshastighet, högst porvattenhastighet och minst utnyttjad filtervolym fås om inloppet sätts i mitten på filtret höjddes. Ju högre upp i filtret utloppet placeras desto färre zoner utan flöde eller med lågt flöde har observerats i laborieförsök (Suliman, 2006).

Fosforadsorptionen till Filtralite-P-filter i full skala med inlopp och utlopp i botten har enligt Zhu (1998) visat sig ske främst i den första biten av filtret och utefter botten. Mättnad av



fosfor skedde först efter botten på filtret. Fosforhalten i filtermaterialet ökade mer vertikalt än horisontellt. Allra högst fosforkoncentration var det vid inloppet i botten på filtret.

Homogent eller skiktat material hade större påverkan på flödesmönstret än placeringen av in och utlopp. Placering av inlopp och utlopp påverkar hydrauliken mer när materialet var homogent och utan skiktningar, i jämförelse med när det var skiktat (Suliman, 2006).

### Densitetsskillnad

Vattnets densitet varierar beroende på salthalt och temperatur. Skillnader i densitet hos vatten kan i fria vattenmassor leda till att starka skiktningar uppstår. Dessa skikt kan bilda barriär som hindrar vattenmassorna från att blandas. (Vattenportalen, 2006)

Vatten med högre densitet än avloppsvattnet går snabbare genom filtret än vad avloppsvattnen normalt gör. I laboratorieförsök har det visat sig att inkommande vatten med högre salthalt än omgivande vatten till en början gått i ett skikt efter botten. En skarp gräns mellan inkommande vatten och omgivande vatten har uppstått, vilken löser upp sig ju längre in i filtret det kom. (Suliman, 2006)

I laboratorieförsök har vertikalt flöde drivet av skillnad i densitet varit mycket långsammare än det horisontella flödet längs stråk med grövre material. När infiltrerat regnvatten blandats med avloppsvatten får det lägre densitet än oblandat avloppsvatten. Inkommande avloppsvatten strömmar då under regnblandat avloppsvatten. (Suliman, 2006)

### Biologisk tillväxt

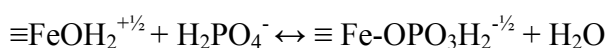
Tydlig förändring i porositet och spridning kan uppnå i filtermaterial efter att biologisk tillväxt har skett i filtret. Biologisk tillväxt orsakar reduktion av dränerbarporositet främst för sandfilter. Biologisk tillväxt kan reducera flödet i stråk som tidigare haft kraftigt flöde och gynna jämnare fördelning av avloppsvattnet i filtret. (Suliman, 2006)

Eftersom det finns risk för igensättning då avloppsvattnet är ofullständigt biologiskt renat och den så kallade biohuden som växer på filterkornen riskerar minska utbytet mellan avloppsvattnet och filtermaterialet försöker man normalt undvika biologisk tillväxt i fosforfilter. Detta är vertikalfiltrets främsta uppgift i de norska filterbäddarna (pers. Stråe, 2008).

### **Kemisk bindning av fosfor till filtermaterial**

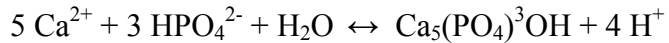
Beroende på pH och tillgängliga ämnen bildar fosfor olika föreningar. Fosfat har högst löslighet vid pH 5,5-8,0. Under detta pH kan mycket svårlösliga föreningar med järn och aluminium bildas. Fosfat ersätter då OH<sub>2</sub>-grupper på oxidtytor genom ligandbyte genom att binda direkt till Fe<sup>3+</sup> eller Al<sup>3+</sup>. Om fosfatjonerna är bunden på detta sätt kan de på nytt frigöras med ligandbyte med hydroxidjoner (Eriksson m.fl., 2005).

Ligandbyte med järnoxid

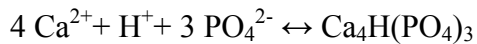


Vid högt pH och höga kalciumhalter bildas hydroxyapatit ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) och oktakalciumfosfat ( $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) som är mycket svårlösliga föreningar. Fosforfixering kan även inträda som sekundär reaktion efter en primär adsorption och då som en långsam reaktion som når jämvikt först efter veckor eller månader (Eriksson m.fl., 2005).

Bildning av hydroxiapatit



Bildning av amorft kalciumfosfat



Bildning av hydroxiapatit är den dominerande mekanismen för fosforbindning i masugns-slagg. Slagg med stor andel lösligt kalcium och som redan innehåller början till hydroxiapatit eller liknande apatiter har hög kapacitet att binda fosfor (Johansson, 1998).

Humus bildar starkare ytkomplex med oxider än fosfat genom att humus har ett stort antal komplexbildande karboxyl- och fenolgrupper. Organiskt material kan på så vis bidra till minskad adsorption av fosfor genom att blockera och neutralisera oxidernas positiva laddade  $\text{OH}_2$ -grupper. Även kalcium bildar ytkomplex med humus vilket är en process som gynnas av högt pH (Eriksson m.fl., 2005).

### **Var i filtret adsorberas fosfor?**

Fosforadsorptionen till kalkhaltiga filtermaterial är en snabb reaktion (pers. Hylander, 2008). Vid skakförsök under 24 timmar med Filtralite-P (0-4 mm) bands 50 % av fosformängden inom de första 4,5 timmarna (Zhu, 1998). Det tyder på att inbindningsprocesserna är relativt snabba och fosfor binds främst den första tiden i filtret.

Fullskaliga försök med Filtralite-P-filter har visat att fosforadsorptionen skedde främst i den första delen av filtret samt efter botten. Fosforinnehållet i de första 4,5 metrarna var betydligt högre än resten av filtret efter fyra år. Mellan år tre och fyra flyttades fronten med hög fosforkoncentration en meter närmare utloppet (Zhu, 1998).

I fullskaleförsök med reaktivt filtermaterial och våtmarksväxter bredde fronten med hög fosforhalt ut sig främst vertikalt. Fosforhalten i bottenlagret var betydligt högre än i övre delarna av filtret, vilket antogs bero på växternas upptag samt att in- och utlopp var placerade i botten på filtret. (Zhu, 1998)

## MATERIAL

### Platsbeskrivning

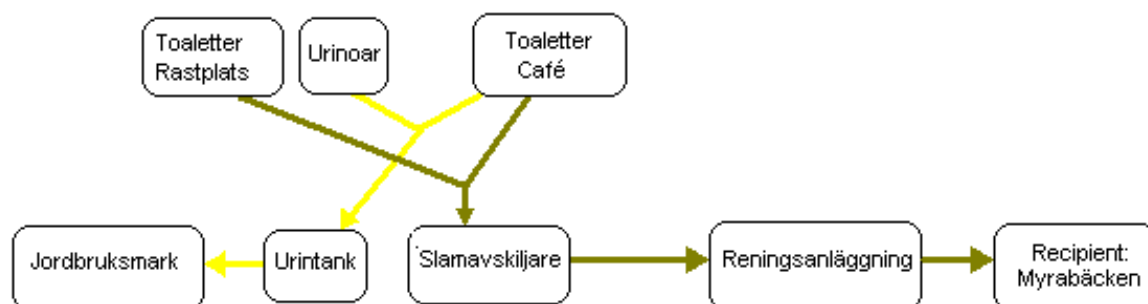
Ångersjöns rastplats ligger i anslutning till väg E4 några mil söder om Hudiksvall vid Ångersjön. Förutom rastplats med toaletter driver finns även Ångersjöns Café och Vildmarks-camping med husvagnsplatser och stugor i anslutning till rastplatsen. Campingen nyttjas främst sommartid. Vintertid besöks rastplatsen mestadels av förbipasserande trafikanter.

Till att börja med gick avloppet från toaletterna och caféet till en slutentank som tömdes vid behov. Under högsäsongen sommartid blev belastningen hög och tanken fick tömmas dagligen så det beslutades att bygga en permanent avloppsanläggning. Avloppsreningsanläggning byggdes gemensamt med Vägverket Region Mitt och Vedmora byalag som driver campingen. WRS fick i uppdrag att skapa en kretsloppsanpassad anläggning med hög grad av rening. Hösten 2003 anlades avloppsreningsanläggning för Vägverkets toaletter och caféet (pers. Stråe, 2008).

För att möta Vägverkets och byalagets kretsloppsambitioner liksom de höga krav på rening som ställdes av Miljö- och hälsoskyddsmyndigheten byggdes 2003 en anläggning med urinsortering och norska filterbäddar. Anläggningen projekterades av WRS Uppsala AB och entreprenör var SM Asfalt i Söderhamn (pers. Stråe, 2008).

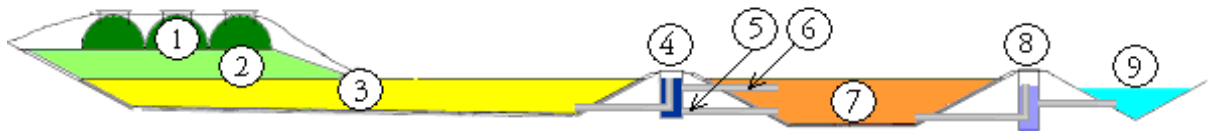
### Utformning av anläggningen

Vägverkets anläggning har förutom toaletter även latrintömning för husvagnar samt en vattenfri urinoar vid rastplatsen. I caféet är toaletterna urinsorterande. Urinen samlas i en tank tillsammans med urin från urinoaren för att kunna användas som gödsel. Resterande avloppsvatten går till slamavskiljare och pumpas därefter vidare till reningsanläggningen (Stråe, 2006<sup>a</sup>).



**Figur 1:** Schematisk skiss över urinuppsamlingsystem och spillvatten system.

Reningsanläggningen är uppbyggd som två parallella linjer med flera reningssteg, se figur 2. I det inledande biologiska reningssteget används trycksatta dysor för att spraya ut vattnet över LECA-kulor (2). Dysorna är placerade under isolerade och skyddade plastkupoler (1) och ger en jämn och driftsäker spridning. I LECA-materialet ska avloppsvattnet infiltrera under omättad strömning för att gynna avskiljning av partiklar, nedbrytning av syreförbrukandeämnen (BOD), nitrifiering av ammoniumkväve samt avskiljning och nedbrytning av en väsentlig del av smittämnen. Reningssteget kallas förfilter eller vertikalfilter (Stråe, 2006<sup>a</sup>).



**Figur 2:** Schematisk skiss över reningsanläggningen. 1: plastkupoler med trycksatta dysor, 2: vertikalfilter, 3: kalkgrus, 4: brunn, 5: inlopp till fosforfilter (fram till juni 07), 6: inlopp till fosforfilter (efter juni 07), 7: reaktivt fosforfilter, 8: brunn, 9: polerings- och infiltrationsdamm

Under och efter vertikalfiltret finns horisontalfiltret (3) som är ett vattenmättat kalkgrus. Kalken gynnar fastläggningen av fosfor och avdödningen av patogena mikroorganismer genom pH-höjningen. Efter horisontalfiltret passerar avloppsvattnet genom en brunn (4) där vattennivån i kalkgruset kan regleras innan det når det reaktiva fosforfiltret (Stråe, 2006<sup>a</sup>).

I fosforfiltret (7) fastläggs fosfor. Fosforfiltrets material skiljer sig emellan de två linjerna. Det ena innehåller Hyttsand och det andra innehåller Filtralite-P. Från början leddes vattnet in i nedre delen av filtret (5) men inloppet byggdes om och ligger sedan juni 2007 i övre delen av filtret (6). Vattnet sprids över hela filterbredden i ett tvärgående slitsat rör (pers. Stråe, 2008).

Fosforfiltren har sluttande kanter, i botten är filtren 4 x 4 meter och upptill är de ca 8 x 8 meter. Filtralite-P-filtret är cirka 1,1 meter djupt och Hyttsandsfiltret är cirka 1,7 meter djupt, dock är vattennivån i filtren lägre. Vattnet samlas upp i ett tvärgående slitsat rör i botten och leds ut i en gemensam brunn (8) för båda fosforfällorna, där vattennivån i fosforfällorna kan regleras. Slutligen poleras och infiltreras vattnet via en damm (9) intill den närliggande Myrabäcken. Dammen har även ett bräddavlopp ut till bäcken som leder till Ångersjön. När maximal vattennivå är inställd utan att vattenytan i kalkgruset når över gruset beräknas filtren rymma 40 m<sup>3</sup> material.

### Krav på rening

Efter fosforfiltret ska vattnet vara klart och luktfritt samt ha badvattenkvalitet. Anläggningen skall inklusive utsortering av urin avlägsna minst 90 % av fosfor, 25 % av kvävet och 90 % av BOD<sub>7</sub>. För att målet med 90 % fosforavskiljningen har det uppskattats vara nödvändigt med en avskiljningsgrad i filterbädden på mer än 85 %. 1,5 mg/l har satts som maximal halt för fosfor i utgående vatten (Stråe, 2006<sup>a</sup>).

## Material i fosforfällorna

### Filtralite-P

Filtralite produceras av Maxit Group AB i Norge och är ett filtermaterial som används både till rening av dricksvatten och av avloppsvatten (Maxit Group AB<sup>a</sup>, 2007).

Materialet tillverkas av lera som hettas upp till 1200°C varvid leran expanderar och organiskt-material förbränns. De gaser som bildas i materialet vid upphettning skapar porer. (Maxit Group AB<sup>b</sup>, 2007). Porerna är av varierad storlek, från mikroporer till porer på en till två millimeter. Porerna är till stor del sammankopplade till en labyrintliknande struktur. Den höga porositeten ger stor kontaktyta för avloppsvattnet. Filtralite-P är speciellt framtaget för att rena avloppsvatten från fosfor (Maxit Group AB<sup>a</sup>, 2007)



**Figur 3:** Filtralite-P 0-4 mm

### Hyttsand

Hyttsand är en biprodukt från SSAB i Oxelösund. Det är en amorf kalkrik produkt som bildas vid råjärnframställning i masugn. Råvarorna till denna process är bl.a. kalk, malmpellets och koks (pers. Friberg, 2008).

Kalken fungerar som slaggbildare. Slaggen flyter ovanpå det smälta järnet och har när den sedan tappas har den en temperatur på ca 1500°C. Slaggen kan beroende på kylningsmetod få olika egenskaper. Vid långsam kylning i luft bildas Hyttsten som är ett kristallint material som används som vägmateriäl. Snabbkyls slaggen med vatten bildas istället Hyttsand, som har en sandliknande produkt med amorf struktur. (SSAB Merox AB, 2006)



**Figur 4:** Hyttsand 2-4 mm

Hyttsand består i huvudsak av omsmälta bergarter, bl.a. 35 % kiseldioxid, 30 % bränd kalk och 13 % aluminiumoxid (SSAB Merox AB, 2006). För en komplett innehållsförteckning se bilaga I.

**Tabell 1:** Egenskaper hos Filtralite-P och Hyttsand

	Kornstorlek	Porositet	Torr skrymdensitet	Hydraulisk konduktivitet
Filtralite-P	0-4 mm <sup>1</sup>	42 % <sup>1</sup>	550 kg/m <sup>3</sup> <sup>1</sup>	100 m/dygn <sup>1</sup>
Hyttsand	2-4 mm <sup>2</sup>	46,7 % <sup>3</sup>	1 100 kg/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	40,6 m/dygn <sup>3</sup>

1. Maxit Group AB 2. SSAB Merox AB, 2006 3. Hylander et al., 2006 (värden för Hyttsand med kornstorlek 0,25-4 mm)

### Reningsförmåga hos Filtralite-P och Hyttsand

Magnhild Føllesdal och Maxit Group AB har sammanställt en rapport över anläggningar med Filtralite-P. Dessa anläggningar liknar den vid Ångersjön dock saknar dessa urinseparering och kalkgrus. Filtren har adsorberat 94-99 % av fosfor från avloppsvattnet då halten fosfor i ingående vatten i medeltal låg mellan 6,9-29 mg/l (Føllesdal, 2005). Typvärde i utgående vatten från filter ligger under 1 mg/l enligt Maxit Group AB<sup>a</sup>.

Det har gjorts både kolonn- och skakförsök som visar att Hyttsand kan avskilja fosfor. I kolonnförsök med avloppsvatten från Ångersjöns avloppsrenings anläggning avskildes 98 % av fosfor. I skakförsök har Hyttsand adsorberat ungefär lika mycket fosfat per viktenhet som för Filtralite-P, 14 respektive 16 µg PO<sub>4</sub>-P/g material (Stark, 2004). Eftersom Hyttsandens densitet är dubbelt så stor som Filtralite-P:s motsvarar det en inbindningsförmåga per volymenhet som är dubbelt så stor i Hyttsanden. Den uppmätta inbindningsförmågan motsvarade 8,8 g/m<sup>3</sup> för Filtralite-P och 15,4 g/m<sup>3</sup> för Hyttsanden. Även här användes avloppsvatten från Ångersjöns avloppsreningsanläggning.

I kolonnförsök som pågick under 67 veckor med avloppsvatten (4,2 mg fosfor/l) tog Hyttsand upp 0,3 mg fosfor/g material i övre lagret i kolonnen. Fosforadsorptionen minskade successivt vid slutet av försöksperioden var halten i utgående vatten över 2 mg fosfor/l (Hylander et al., 2006). 0,3 mg fosfor/g material motsvarar 330 g fosfor/m<sup>3</sup>.

Enligt norska riktlinjer från norsk kommunalteknisk forening och Norvar (2001) kan Filtralite-P ta upp 1,5-2 kg fosfor/m<sup>3</sup> i fullskaliga anläggningar.

### **Dimensionering och mängder av filtermaterial vid Ångersjöns rastplats**

Maxit Group AB<sup>a</sup> rekommenderar 7-10 m<sup>3</sup> Filtralite-P per person. Livslängd på filtret beräknas då vara 15 år och reningen av fosfor över 95 %. Detta är beräknat då hela avloppsfraktionen skall renas och filtret föregås av slamavskiljare och aerobiskt biofilter. För avloppsanläggningar för upp till fyra hushåll skall längden vara ca 8,8 meter och djupet 1 meter medan bredden varierar beroende på antal anslutna hushåll.

I anläggningen vid Ångersjöns rastplats beräknas volymen Filtralite-P som varit i kontakt med avloppsvattnet fram till juni 2007 vara 25 m<sup>3</sup>. Om materialet tar upp 1,5-2 kg fosfor per m<sup>3</sup> så bör filtret vid Ångersjön kunna ta upp 37 -50 kg fosfor.

Om Hyttsand kan adsorbera 330 g fosfor/m<sup>3</sup> som i Hylander et als (2006) försök, innebär det att Hyttsandfiltret skulle kunna avskilja 9,5 kg fosfor.

Fosforfiltren är dimensionerade utifrån den förväntade fosforbelastningen och den förväntade förmågan hos Filtralite-P att binda in fosfor. Hyttsandsfiltret har fått samma mått som Filtralite-P-filtret.

### Vattennivåer

Vattennivåerna i filtren har successivt höjts från 0,8 till 0,9 meter i Filtralite-P-filtret och från 0,8 meter till 1,0 meter i Hyttsandsfiltret, se tabell 2 och 3. Genom att ställa in en lägre vattennivå initialt och höja den successivt har man velat hushålla med kapaciteten och på så vis förlänga livslängden för filtret (pers Stråe, 2007).

Vid beräkningar av utnyttjad filtervolym har höjden i Filtralite-P-filtret satts till 0,84 meter och 0,93 i Hyttsandsfiltret. Volymen för Filtralite-P-filtret blir då 25 m<sup>3</sup> och 29 m<sup>3</sup> för Hyttsanden.

**Tabell 2:** Vattennivåer i Filtralite-P-filtret

Datum	Vattennivå (m)
2004-01-01 till 2004-10-25	ca 0,8
2004-10-25 till 2006-06-29	0,8
2006-06-29 till 2006-07-27	0,92
2006-07-27 till 2007-06	0,88

**Tabell 3:** Vattennivåer i Hyttsandsfiltret

Datum	Vattennivå (m)
2004-01-01 till 2004-10-25	ca 0,8
2004-10-25 till 2005-06-01	0,83
2005-06-01 till 2006-03-28	0,93
2006-03-28 till 2006-05-31	1,03
2006-05-31 till 2007-06	1,00

### Flöden

Vattenflödet i filtren ligger kring 400 m<sup>3</sup> per år i vardera linjen, se tabell 3. Totalt har cirka 4 000 m<sup>3</sup> vatten passerat genom anläggningen.

Hyttsandsfiltret hade högre flöde än Filtralite-P-filtret de första tio månaderna som anläggningen var i drift. Det högre flödet berodde på felaktig inställning av pumparnas styrning. Efter att felet åtgärdades har flödena i filtren varit det samma. Vattenvolymer som passerat genom Hyttsandsfiltret var i juni 2007 20 % större än för Filtralite-P-filtret. I juni 2006 byttes spolsystem för Vägverkets toaletter vilket lett till lägre vattenförbrukning (pers. Stråe, 2008).

**Tabell 3:** Årsflöden i respektive linje (m<sup>3</sup>)

År	Filtralite-P	Hyttsand
2004 2:a halvåret	640	1000
2005	430	430
2006	440	440
2007 t.o.m. sep	310	310
Total	1800	2200

Under högsäsong år 2004, 2005 och 2006 har dygnsflödet varit kring 3 m<sup>3</sup> i vardera linjen, under högsäsongen 2006 var flödet cirka 5 m<sup>3</sup> per dygn och linje. Under lågsäsong är flödet endast varit några hundra liter per dygn.

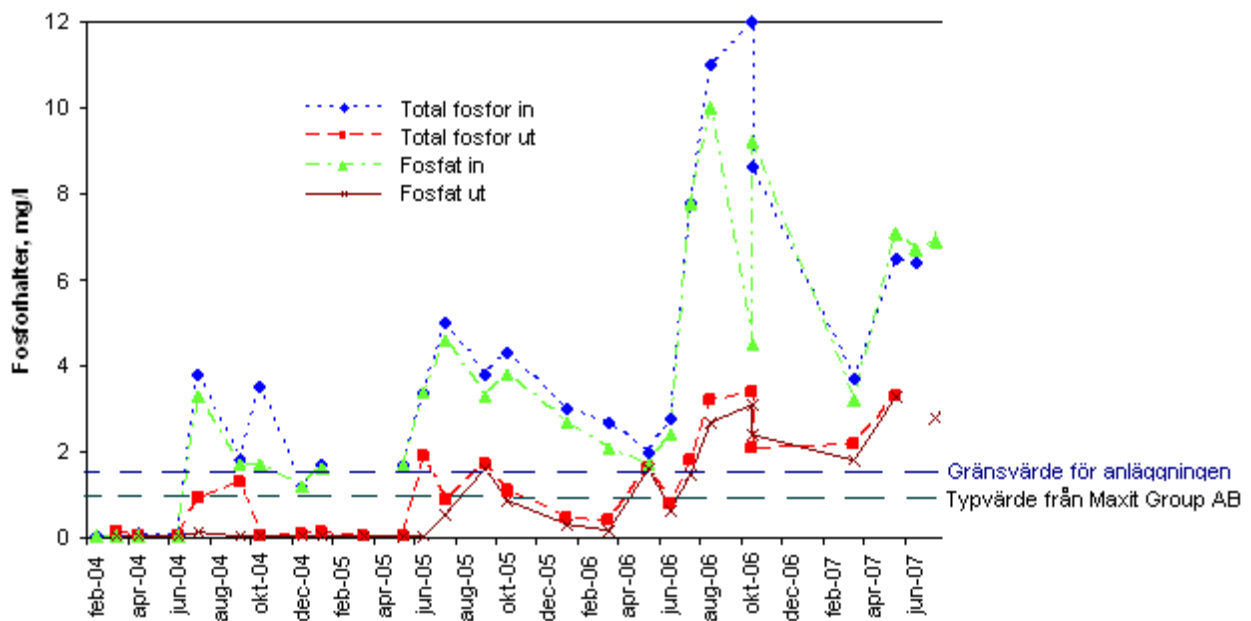
Effektiv porvolym i Filtralite-P-filtret som är vattenfylld är 10,5 m<sup>3</sup> och i Hyttsandsfiltret är motsvarande volym 13,5 m<sup>3</sup>. Om flödet genom filtren skulle vara jämt fördelat över hela volymen skulle uppehållstiden vara 3,5 dygn i Filtralite-P-filtret och 4,7 dygn i Hyttsandsfiltret under högsäsong. Under lågsäsong är omloppstiden cirka en månad i båda filtren.

## Vattenkvalitet

### Fosfor

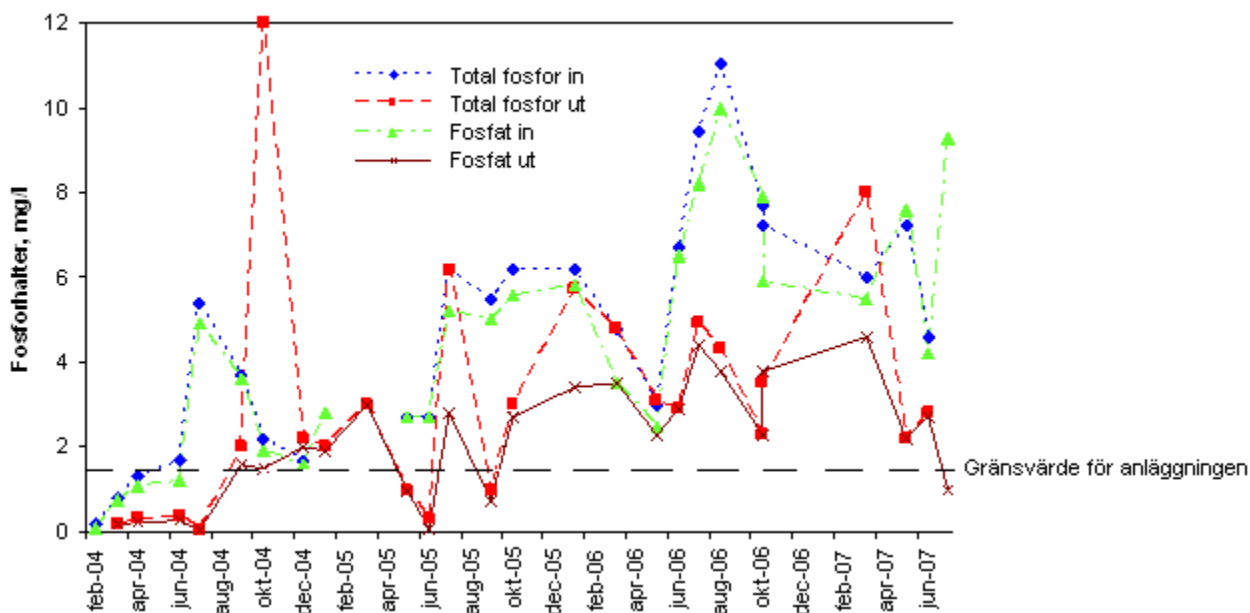
Fosforhalterna i inkommande vatten till fosforfällorna varierar mellan hög- och lågsäsong. Under sommarmånaderna då flödesbelastningen är som störst har också fosforhalterna varit som högst. Samtidigt har haltminskningen av fosfor varit som kraftigast då, se figur 5 och 6. Den största delen av fosfor har förekommit i form av fosfat. Skillnaden i rening mellan hög- och lågsäsong är störst i Hyttsandsfiltret. (Stråe, 2006<sup>1&2</sup>).

Halten av fosfor i inkommande vatten till Filtralite-P-filtret har legat mellan 1 och 10 mg/l (Stråe, 2006<sup>a</sup>). I Hyttsandsfiltret har fosforhalten i inkommande vatten varit mellan 1 mg/l till 11 mg/l sedan juni 2004 (Stråe, 2006<sup>b</sup>). Både inkommande och utgående halter av fosfor har ökat i filtren sedan starten. Minskade spolvattenmängder tros vara en viktig orsak till ökningen (Stråe, 2006<sup>a</sup>).



**Figur 5:** Fosforhalter i inkommande och utgående vatten från Filtralite-P-filtret (Stråe, 2006<sup>a</sup>)





**Figur 6:** Fosforhalter i inkommande och utgående vatten från Hyttsands-filtret (Stråe, 2006<sup>b</sup>)

Mätningar av fosfor i inkommande och utgående vatten visar att båda filtrens reningsförmåga har avtagit trots en förhållandevis låg belastning, se figur 5 och 6. I Filtralite-P-filtret avskiljdes 97 % av fosfor under det första året, två år senare avskiljdes endast 74 %, se tabell 4 (Stråe, 2006<sup>a</sup>).

Avskiljningen av fosfor i Hyttsandsfiltret var 61 % det första året. Två år senare var avskiljningen endast 44 %. Målsättningen för fosforfällorna med minst 85 % avskiljnings har alltså inte uppnåtts av Hyttsandsfiltret och endast uppnåtts av Filtralite-P-filtret det första 1,5 året (Stråe, 2006<sup>a</sup>).

**Tabell 4:** Adsorberad mängd fosfor till respektive filtermaterial samt reningsgrad, beräknat utifrån skillnaden mellan inkommande och utgående halt samt flöde

	Filtralite-P		Hyttsand	
	Fosfor (kg)	Reningsgrad (%)	Fosfor (kg)	Reningsgrad (%)
2004 2:halvåret	0,8 <sup>1</sup>	97 <sup>1</sup>	1,4 <sup>2</sup>	64 <sup>2</sup>
2005	1,1 <sup>1</sup>	83 <sup>1</sup>	1,2 <sup>2</sup>	71 <sup>2</sup>
2006	1,2 <sup>1</sup>	71 <sup>1</sup>	1,0 <sup>2</sup>	50 <sup>2</sup>
2007 t.o.m september	2,1	62	1,2	41
<b>Totalt</b>	<b>5,2</b>	<b>78</b>	<b>4,8</b>	<b>57</b>

1 Stråe, 2006<sup>a</sup>, 2 Stråe, 2006<sup>b</sup>

## pH

pH i inkommande vatten till Filtralite-P-filtret har legat mellan 7,2 och 8,0 (Stråe, 2006<sup>a</sup>) och motsvarande siffra för Hyttsandsfiltret är 7,3 till 7,8 (Stråe, 2006<sup>b</sup>). pH i avloppsvattnet höjs vid passage genom reningsanläggningen. I utgående vatten från Filtralite-P-filtret har pH legat mellan 8,8 och 12 (Stråe, 2006<sup>a</sup>) och i utgående vatten från Hyttsandsfiltret mellan 7,8 och 11 (Stråe, 2006<sup>b</sup>).

## Organiskt material

Eftersom det inledande biologiska reningssteget effektivt har minskat mängden organiskt material (analyserat som BOD<sub>7</sub>) har halterna över lag varit låga i båda filtren. Inkommande och utgående halter av BOD<sub>7</sub> ligger mestadels på en låg och stabil nivå. Vattnet i Filtralite-P filtret har maximalt innehållit 12 mg/l, men har oftast legat under detektionsgränsen på 3 mg/l (Stråe, 2006<sup>a</sup>). I Hyttsandsfiltret har halten BOD<sub>7</sub> som högst varit 16 mg/l, men även här har halten oftast legat under detektionsgränsen (Stråe, 2006<sup>b</sup>).

## Kloridhalt

Kloridhalten i inkommande och utgående vatten har till stor del följts åt med högre halter under sommarens högsäsong och lägre halter under lågsäsong. Utgående halter har dock varit något lägre under senvintern och något högre under sommaren jämfört med inkommande halter. Halterna varierar mellan 0 och 300 mg/l. Säsongsvariationen har varit större i Filtralite-P filtret (Stråe, 2006<sup>b</sup>).

## Fällning

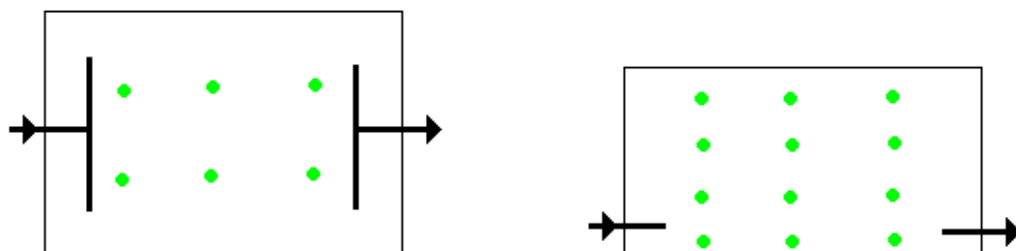
En vit fällning har observerats både i utloppsrör, brunn och i infiltrationsdamm. Stora mängder fällning har observerades i utloppet från Filtralite-P-filtret under den första tiden anläggningen var i drift, sedan dess har mängden varit mindre. Från Hyttsandsfiltret har fällning observerats först senare. Utloppen har satts igen ett flertal tillfällen på grund av fällningarna. Fällningen tros vara olika föreningar av främst kalk och fosfat (pers. Stråe, 2008).

## METOD

För att undersöka var i filtren vattenmassan passerar har materialprover tagits från olika punkter i filtren. Eftersom filtren skall ta upp fosfor från avloppsvattnet har fosforhalten i materialen satts som i relation till andelen vatten som passerat i punkten. Höga fosforhalter i en punkt antas betyda att stor del av flödet i filtret går i denna punkt.

### Provpunkter

Materialprover togs med jordprovtagingsborr på olika höjd från botten i filterbäddarna. Prov uttogs parvis på tre olika avstånd från inloppet enligt figur 7. Materialet torkades i ugn och förvarades fram till extrahering i plastpåsar i rumstemperatur.



**Figur 7:** Provtagningskarta med inloppsrör och utloppsrör, sett uppifrån (vänstra bilden) och från sidan, med 3 till 4 provtagningspunkter i djupled (högra bilden).

- Provtagningspunkt

### Mätning av fosfor

Materialet extraherades med koncentrerad salpetersyra i 24 timmar. Total mängd fosfor bestäms spektrofotometriskt enligt Watanabe och Olsen (1965). En fotospektrometer av märket Hitachi användes och mätningen skedde på 880 nm.

Fosforfraktionering enligt Hedley, rev. 01-04-27 av Lars Hylander (se Bilaga II). Fosforfraktionen späddes till mätbar koncentration. Till spädd lösning tillsattes bas (10 M NaOH) tills pH i lösning med reagens låg mellan 0,9 och 1,4.

Två prover från vardera filter skickades till ett ackrediterat laboratorium för att kunna avgöra trovärdigheten av extrahering och mätning av fosfor. Materialet extraherades med kungsvatten och fosforhalterna mättes med ICP.

### Kornstorleksfördelning

Ett antal av materialproverna siktades för att bestämma kornstorleksfördelningen. Materialet skakades i 5 min och varpå de olika fraktionerna vägdes.

### Statistiska beräkningar

Statistiska beräkningar är gjordes på medianvärden av analysreplikater. Linjär regression och parat t-test gjordes med hjälp av programmet Statistix 9.

## RESULTAT

### Observationer

En hålighet upptäcktes i Filtralite-P-filtret mellan provtagningspunkterna inlopp och mitten, 55 till 75 cm från botten. Hålighetens storlek var cirka  $0,4 \times 0,3 \times 0,2 \text{ m}^3$ . Närliggande område var perforerat på lägre nivåer i filtret.

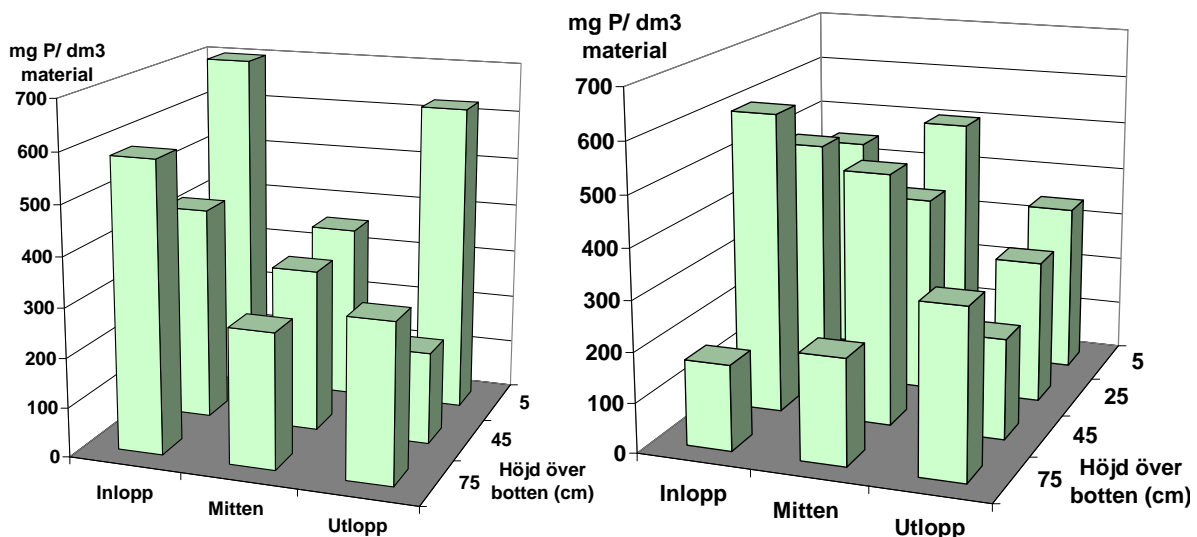
Vid tillsats av salpetersyra till materialen bildas gas vilket visar att de som förväntat innehåller kalk. Gasutvecklingen var större för Filtralite-P än Hyttsand vilket tyder på högre kalkinnehåll. Mer gas bildades från Filtralite-P från filtret än Filtralite-P som inte varit i kontakt med avloppsvatten.

### Fosforhalter i materialen

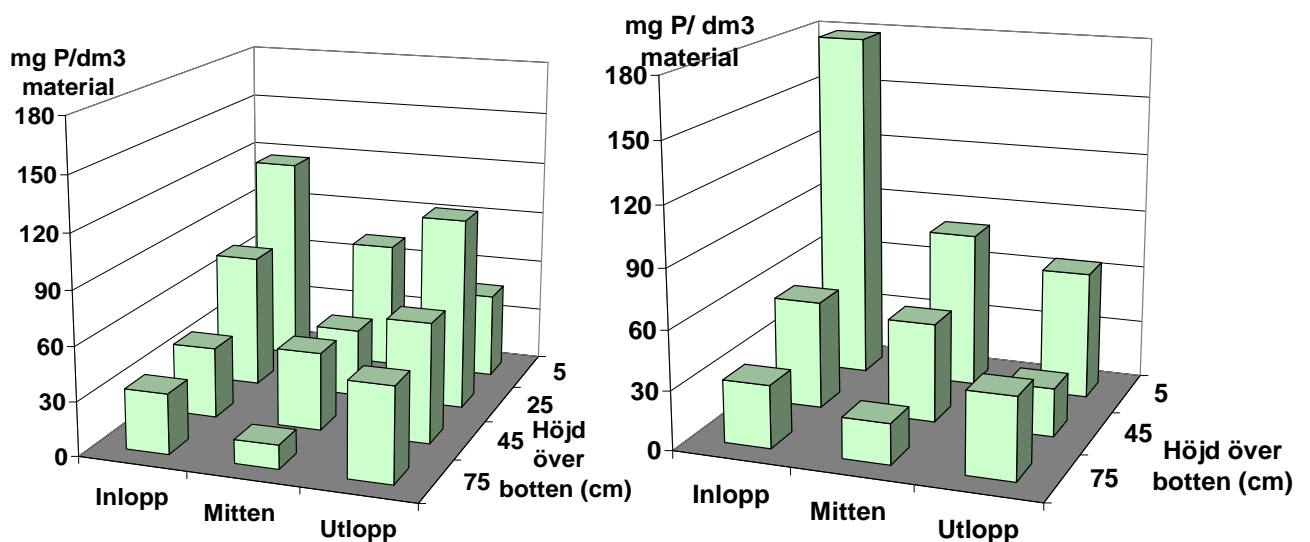
Uppmätta fosforhalter i filtermaterialen illustreras i figur 8, 9, 10 och 11. Värdena är ej korrigerade för skillnaden i volym avloppsvatten som passerat filtren.

Det finns inget signifikant samband mellan fosforhalt och avstånd från inlopp vare sig i Filtralite-P-filtret ( $p= 0,2695$ ) eller i Hyttsandsfiltret ( $p= 0,5498$ ). Inte heller vid jämförelse mellan enbart inlopp och utlopp fanns någon signifikant skillnad (parat t-test).

Fosforhalterna avtar signifikant med höjden i båda filtren. I Filtralite-P-filtret avtar halten med  $5,7 \mu\text{g P/g}$  material per centimeter i höjddled ( $p= 0,0136$ ). I Hyttsandsfiltret avtar halten med  $0,85 \mu\text{g P/g}$  material per centimeter i höjddled ( $p= 0,0033$ ).



**Figur 8 och 9:** Fosforhalter i Filtralite-P i olika punkter i filtret. De två diagrammen representerar två parallella linjer med provtagningspunkter.



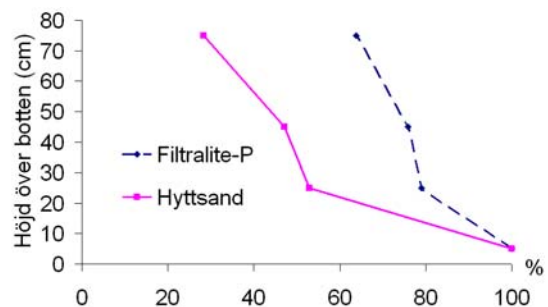
**Figur 10 och 11:** Fosforhalter i olika punkter i Hyttsandsfiltret. De två diagrammen representerar två parallella provtagningspunkter i bredd.

Fosforhalten i Filtralite-P-filtret var signifikant högre ( $p= 0,0000$ ) än i Hyttsandsfiltret, beräknat med parat t-test. Fosforhalten var 11 gånger högre per viktenhet i Filtralite-P-filtret än i Hyttsandsfiltret, och per volymenhet 5,5 gånger högre. Fosforhalten i Filtralite-P-filtret var genomsnitt 745 mg/kg och Hyttsandsfiltret var fosforhalten i genomsnitt 63 mg/kg.

Fosforhalterna i provtagningspunkter i anslutning till håligheten i Filtralite-P-filtret var ej signifikant skilda från halter i kringliggande provtagningspunkterna ( $p= 0,63$ ).

### Fördelning av fosfor halt i djupled

Fosforhalterna i filtren är fördelade enligt figur 12. Där andelen uppmätt fosfor, mätt i procent, på olika höjd från botten visas i förhållande till högsta uppmätta halt i filtren. I Filtralite-P-filtret är halterna jämnare fördelade än i Hyttsandsfiltret.



**Figur 12:** Andel fosfor (%) av högsta uppmätta halt i respektive filter

### Olika resultat beroende av mätmetod

Värden från Filtralite-P-filtret var 2-3 gånger högre enligt det ackrediterade laboratoriet ALcontrol AB än enligt fotospektrometriska mätningar. För material från Hyttsandsfiltret överensstämde värden från fotospektrometriska mätningar med ALcontrol AB:s värden.

### Skillnader i mellan fosforhalt bestämd i materialen och jämförelse med tidigare studier

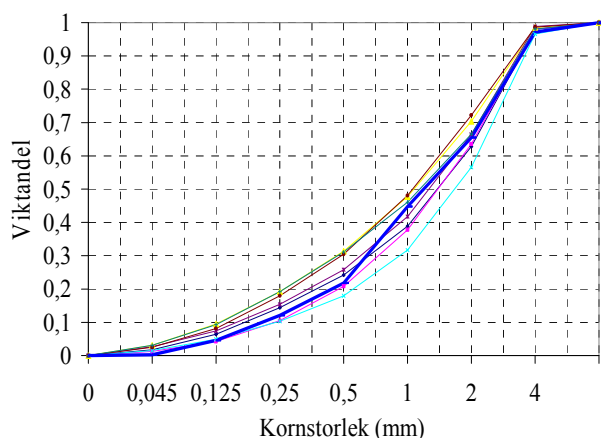
Mängden inbunden fosfor i fosforfiltren beräknad utifrån materialanalyser och halter i inkommande och utgående vatten skiljer sig åt. Även resultat från tidigare studier av materialen varierar. Se tabell 5 för inbindningsförmågan av fosfor till filter omräknat till motsvarande volym som vid Ångersjöns fosforfällor för de olika studierna.

**Tabell 5:** Mängd inbunden fosfor (kg) i fosforfiltren beräknad utifrån materialanalys och utifrån halter fosfatfosfor i inkommande och utgående vatten från fosforfällorna, samt mängd fosfor som potentiellt kan inbindas i fosforfiltren beräknade utifrån tidigare undersökningar på materialen.

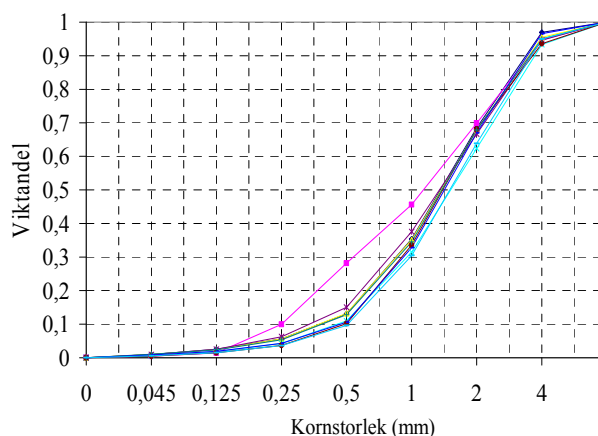
Beräkningsunderlag för mängd inbunden fosfor	Filtralite-P	Hyttsand
Mängd i material	10	2,0
Mängd i inkommande och utgående vatten (Stråe, 2006 <sup>a &amp; b</sup> )	5,2	4,8
ALcontrol AB	20-30	2,0
Kolonnförsök (Hylander et al., 2006)		9,5
Norsk kommunalteknisk forening och Norvar (2001)	38-50	

### Kornstorleksfördelning

Sikt kurvorna visar att materialen är relativt homogent fördelade i respektive filter, se figur 13 och 14. Endast en punkt i Hyttsandsfiltret avviker kraftigt från övriga med fler partiklar i intervallet 0,25 till 2,0 mm. Denna punkt ligger vid utloppet 75 cm över botten. Någon kraftigt avvikande fosforhalt har inte uppmätts i denna punkt. Partikelstorleken från material kring håligheten i Filtralite-P-filtret skiljer sig inte från de övriga sikt kurvorna (markerat med kraftigare linje i figur 13).



**Figur 13:** Kornstorleksfördelning i Filtralite-P 0-4 mm



**Figur 14:** Kornstorleksfördelning i Hyttsand 2-4 mm.

### DISKUSSION

Biologisk aktivitet bedöms inte kunna ha orsakat stopp och pluggflöde i filtren då halten av organiskt material varit låg och miljön är alltför alkalisk för de flesta bakterier.

Densitetsskillnader på grund av olika temperatur bedöms inte uppstå då vattnet borde ha kylts till marktemperatur när det nått fosforfiltret. Skillnader i salthalt förekommer säsongvis men för att skiktningar i materialet ska uppstå så måste salthalten troligtvis vara högre än den är i vattnet i reningsanläggningen vid Ångersjön.

Eftersom materialens kornstorleksfördelning tycks vara relativt likformigt fördelad i fosforfällorna, bör skiktningar i material inte vara ett problem i filtren.

I båda filtren avtar fosforhalten med höjden över botten, vilket visar att en större del av flödet sker i de lägre delarna av filtren. Skillnaden i höjdled är procentuellt större i Hyttsandsfiltret än i Filtralite-P-filtret vilket visar att flödet är jämnare fördelat i höjdled i Filtralite-P-filtret.

Eventuellt skulle en högre placering av inlopp eller utlopp bidra till att öka spridningen i höjdled och därigenom medföra ett ökat flöde i filtrens övre delar. En praktisk nackdel med att göra som Suliman föreslår och placera utloppet högt upp kan vara att tömning av filtret vid reparation och liknande försvåras.

Eftersom flödet främst sker i de lägre delarna av filtret bör vattennivån hållas så hög som möjligt för att om möjligt förbättra förutsättningarna för flödet i de övre delarna.

Avsaknad av gradient i fosforhalt mellan inlopp och utlopp liksom ökande halter i utgående vatten tyder på mättnad i filtren. Filtren är troligtvis fosformättade efter botten.

### **Skillnader i fosforadsorption beroende av mätmetod**

Anledningen till att ALcontrol AB:s värden var flera gånger högre än fotospektrometriska-mätningar kan vara att kungsvatten användes vid extrahering istället för salpetersyra. Salpetersyra är en svagare syra än kungsvatten så att en del av fosfor kan ha varit kvar i fast form i materialet, ALcontrol AB:s värden får därför ses som mest trovärdiga.

Halterna varierar kraftigt beroende på hur fosforhalten mätts. Mängden fosfor beräknad från halter i inkommande och utgående vatten har stor felmarginal då både flödesdata och vattenprover är tagna med långa intervall. Varför mängderna fosfor skiljer sig åt är svårt att säga men en del av fosfor har troligtvis i fällt ut i brunn och utloppsrör.

Omloppstiden i filtren är kortare än i de anläggningar som finns i Føllesdals rapport (2005). I dess anläggningar har uppehållstiden varit minst 14 dygn medan den vid Ångersjön under högsäsong endast är cirka 4 dygn. Detta är troligtvis inte orsak till den låga reningen eftersom reningen varit dålig även under vintern när flödet är lågt och omloppstiden är betydligt längre samt att inbindningen av fosfor till filtermaterial är en relativt snabb reaktion.

### Filtralite-P

Avskild fosfor beräknad utifrån materialanalyserna är högre än vad som kan förväntas utifrån skillnaden i fosforhalter i inkommande och utgående vatten. Vad som orsakar skillnaden är ännu oklart.

Potentiell mängd inbunden fosfor i Filtralite-P-filtret beräknad utifrån VA miljö-blad (2001) värden är i samma storleksordning som värden från ALcontrol AB vilket tyder på att filtret är mättade. Detta stämmer väl överens med de höga halterna i utgående vatten.

Hålighet med höga halter av fosfor antyder på pluggflöde men hur stor del av vatten som passerar i det möjliga pluggflödet är ovisst. Det kan finnas flera pluggflöden som inte upptäcktes på grund av det grovmaskiga provtagningsmönstret.

## Hyttsand

ALcontrol AB:s värden stämmer väl överens med fotospektrometriska analyser vilket tyder på att båda analyserna är korrekta.

Mängden avskild fosfor beräknad utifrån materialanalyserna är betydligt lägre än vad som kan förväntas utifrån skillnaden i fosforhalter i inkommande och utgående vattnet. Rikliga utfällningarna i utloppsrör och brunn tyder på att en del fosfor fällts ut där. Hur stora mängder fosfor som finns i fällningen och mängden fällning är inte mätt eller analyserat. Om fällningen motsvarar mängden fosfor som skiljer mellan å ena sidan inkommande och utgående halter och å andra sidan mängden materialprover går därför inte att säga men fällningar kan förklara en stor del av skillnaden.

Kolonnförsöken gjorda av Hylander et al. (2006) visar att inbindningsförmågan för Hyttsand är dubbelt så hög som proverna beräknade från halter i inkommande och utgående vatten och sex gånger högre än vad materialanalyserna visar. De högsta halterna i Hyttsandsfiltret motsvarar 2/3 av halterna i Hylanders kolonnförsök trots att fosforhalten i inkommande vatten är snarlika i kolonnförsöket som in till fosforfällorna vid Ångersjön.

Skillnaden mellan fosforhalter i material från Ångersjön och försöken tyder på att det borde finnas kapacitet kvar att binda in mer fosfor. Eftersom reningsgraden har sjunkit och det inte finns någon gradient i fosforhalt mellan inlopp och utlopp samt att det inte verkar förekomma pluggflöde, så får filtret ändå antas vara relativt mättat i de lägre delarna av filtret. Om inte annat så har förmågan att binda in mer fosfor under dessa förhållanden avtagit.

## **SLUTSATSER**

Hydrauliska egenskaper i Filtralite-P och Hyttsandsfilter

- Filtralite-P-filtret har ett relativt jämt flöde genom filtret med något högre flödet efter botten
- I Filtralite-P-filtret förekommer inga större hydrauliska problem
- Det går vatten genom hela Hyttsandsfiltret men betydligt högre flöde efter botten

För att öka fastläggningen av fosfor bör

- Vattennivån hållas så hög som möjligt i filtren
- Inlopp placeras i botten och utlopp i övre delen av filtret, alternativt tvärtom för att underlätta tömning av filten
- Undvik skiktningar i filtermaterialet



## REFERENSER

### Litteratur

- Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. 2005. Wiklanders marklära. Studentlitteratur, Lund. 337 s.
- Føllesdal, M., 2005, Wastewater Treatment in Filter Beds, Common Report from all Pilot Plants, NI Project 02056. Maxit Group AB
- Grip, H. & Rodhe A., 1994, Vattnets väg från regn till bäck. Uppsala
- Hylander, L. D., Kietlińska, A., Renman, G. & Gyula, S., 2006, Phosphorus retention in filter materials for wastewater treatment and its subsequent suitability for plant production. *Bioresource Technology* 97 (2006) 914-921.
- Johansson, S., Åhnberg, H. & Pihl, H., 2006, Arbetsrapport 38 2006–12 Kemiska reaktioner vid stabilisering av jord. Svensk Djupstabilisering, Swedish Deep Stabilization Research Centre
- Naturvårdsverket, 2006, Rening av avloppsvatten i Sverige år 2004. Naturvårdsverket
- Maxit Group AB<sup>a</sup>, Onesite wastewater treatment for houses and holiday homes in rural areas. Oslo
- Maxit Group<sup>b</sup> AB, Product Specification of Filtralite filter media. omarbetning 4, Oslo
- Norsk kommunalteknisk forening och Norvar, 2001, VA miljö-blad nr 49 Våtmarksfiltre Utförelse Behandlingsanlegg Avlop.
- Stark, T., 2004, Fosforavskiljning i reaktiva filter vid småskalig avloppsrening, Reaktive filter materials for removal of phosphorus in small scale wastewater treatment plants. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala
- Suliman, F. R. D., 2006, Influence of hydraulic conditions on purification processes in horizontal subsurface-flow constructed wetlands 2006:7. Department of Mathematical Sciences and Technology, Norwegian Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås
- Stråe, D., 2006<sup>a</sup>, Avloppsreningsanläggningen vid Ångersjöns rastplats, Hudiksvalls kommun, Utvärdering av reningsresultat för FiltraliteP-filtret, Referensresultat för utvärdering av hyttsand som fosforfiltermaterial för avloppsvatten. WRS Uppsala AB
- Stråe, D., 2006<sup>b</sup>, Avloppsreningsanläggningen vid Ångersjöns rastplats, Hudiksvalls kommun, Utvärdering av Hyttsands funktion som fosforfiltermaterial för avloppsvatten. WRS Uppsala AB
- Zhu, T., 1998, Phosphorus and nitrogen removal in light-weight aggregate (LWA) constructed wetlands and intermittent filter systems. Norges Lantbrukshøgskole, Ås, Norge

## **Internet**

Maxit Group AB<sup>a</sup>, <http://www.maxit.no/1573>, 2007-10-04

Maxit Group AB<sup>b</sup>, 2007, [http://www.filtralite.com/./index.asp?titleProduction&aid=9041&-path\\_by\\_id=/9029/9031/9041/&siteid=9&SITE\\_LANGUAGE=UK](http://www.filtralite.com/./index.asp?titleProduction&aid=9041&-path_by_id=/9029/9031/9041/&siteid=9&SITE_LANGUAGE=UK), 2007-10-06

SSAB Merox AB, 2006, <http://www.merox.se/index.pl/hyttsand> , 2007-09-25

SSAB Merox AB, 2007-11-12, <http://www.merox.se/uploads/images/171/>, Prodspec\_M-kalk\_utg\_06.pdf, 2008-03-26, Produktspecifikation M-kalk, Utgåva: 06

Vattenportalen, 2006-03-24, [http://www.vattenportalen.se/ovp\\_ordlista\\_s.htm](http://www.vattenportalen.se/ovp_ordlista_s.htm), 2008-03-04

## **Personligt meddelande**

Friberg Hanna, 2008, SSAB Merox AB

Hylander Lars, 2008, Uppsala Universitet

Stråe, Daniel, 2008, Water Revival Systems Uppsala AB

## BILAGA I: INNEHÅLL I HYTTTSAND

Värden från kemisk analys av M-kalk (SSAB Merox AB, 2007) som har samma innehåll som Hyttsand (pers. Friberg, 2007).

Kiselsyra, SiO <sub>2</sub>	35 %
Kalciumoxid, CaO	30 %
Aluminiumoxid, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13 %
Magnesium, Mg	10 %
Kalium, K	0,6 %
Svavel, S	1,0 %
Mangan, Mn	0,5 %
Bor, B	54 ppm
Bly, Pb	< 0,5 ppm
Kadmium, Cd	< 0,01 ppm
Koppar, Cu	2,3 ppm
Krom, Cr	69 ppm
Kvicksilver, Hg	< 0,04 ppm
Nickel, Ni	4,7 ppm

## BILAGA II: FOSFORFRAKTIONERING ENLIGT HEDLEY

Rev. 01-04-27 Lars Hylander

Bestämning av fosfatfosfor med molybdatmetoden

Reagens A: 6 g ammoniummolybdat löses i 125 mL avjon vatten. 0,145 g kaliumantimonoxidtartat löses i 125 mL avjon. vatten. De båda lösningarna blandas med 0,5 L 2,5 M svavelsyra, späds till 1 L.

Spektrofotometri: Mätningen sker i kyvetter, 1 \* 1 cm, vid 880 nm våglängd. Volymen bör vara c:a 4 mL. pH i kyvetten bör vara mellan 0,9 och 1,4 eftersom , detta kan åstadkommas genom användning av rätt lösning vid spädningen, dvs späd med vatten när avloppsvatten analyseras. Anpassa spädningen så att absorbansen blir mellan 0.05 och 0.5.

### Utförande:

1. Sätt på spektrofotometern, gärna 1 timme i förväg.
2. Gör i ordning reagenslösning B, som är reagens A med 5 mg ascorbinsyra/mL löst däri. Görs genom att ta 20 mL reagens A och tillsätta 100 mg askorbinsyrekristaller, som får lösas.
3. Tillsätt **0,35** mL reagenslösning B i så många rör som ska mätas, alla proverna + 0-lösning + standard, i plastburkar, prov-rör eller glasbägare. Lämpliga standardlösningar är 0.009, 0,09, 0,3 och 3 mg P/L.
4. Tillsätt **3,7** mL prov eller standard t ex med mikropipett. Skaka lite.
5. Mät provens absorbans efter mer än 20 minuter. Använd destillerat vatten som 0-prov (=standardnolla).
6. Gör en standardkurva. Vid beräkning, drag ifrån extraktions-0-provet (=provblank).