

Retensjon av fosfor i våtmarksfiltre og filterbedanlegg – sammenlikning av lettklinker og skjellsand som filtermateriale i laboratorietester

Av Anne Kristine Søvik, Helen K. French, Kinga Adam og Bjørn Kløve

Anne Kristine Søvik og Helen K. French er forskere ved Jordforsk, Kinga Adam er doktorgradsstipendiat ved Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi, UMB, Bjørn Kløve er professor ved Universitetet i Oulu, Finland

Sammendrag

Fosforbindingsegenskapene til de to filtermaterialene Filtralite-P™ og Fosen skjellsand er blitt sammenlignet i et pilotskala-anlegg. Anlegget bestod av to kar i plexiglass (3m x 0,8m x 0,29m), ett for hvert materiale. De to karene ble tilført en kunstig P-løsning (6 mg P l⁻¹) i 18 måneder. Fosforkonsentrasjonen i innløp, utløp og i grunnvannsrør jevnt fordelt i karene ble målt igjennom hele forsøksperioden. Mengden akkumulert total P (TP) ble målt i prøver fra filtermaterialet ved forsøkets slutt. Resultatene viser at TP i første del av karet var mye høyere for Filtralite-P™ enn for Fosen skjellsand, henholdsvis 4000 og 330 mg P kg⁻¹. Dette tilsvarer 2000 og 330 g P m⁻³ filtermateriale. I begge karene sank konsentrasjonen av TP mot utløpet. De første 0,9 m av

karet med Fosen skjellsand var mettet med P, mens bare 0,3 m av karet med Filtralite-P™ var mettet. Resultatene viser også at for å beregne en realistisk levetid for et filteranlegg, må en gjennomsnittelig bindingskapasitet (basert på målinger av TP i materialprøver fra hele anlegget) brukes. Dette fordi bare materialet i de fremre deler av et anlegg vil ha oppnådd maksimal bindingskapasitet når utløpskonsentrasjonen er høyere enn kravet (ofte satt til 1 mg P l⁻¹). En slik gjennomsnittlig bindingskapasitet bør baseres på målinger av TP i materiale fra et anlegg der utløpskonsentrasjonen nettopp har nådd 1 mg P l⁻¹.

Innledning

Utslipp av næringstoffer (P og N), organisk materiale og sykdomsfremkallende organismer via kom-

munalt avløpsvann til vassdrag og kystområder utgjør en risiko for eutrofiering og redusert vannkvalitet. Hovedfokus har lenge vært rettet mot rensing av avløpsvann i urbane strøk. I stadig større grad er høygradig rensing også påkrevd i områder med spredt bebyggelse. Flere nye drifts-ekstensive rensemetoder har blitt introdusert i Norge deriblant kompakte biofiltre, konstruerte våtmarksfiltre og filterbed. Utvikling og tilpasning av slike systemer for å håndtere avløpsvann fra enkelthusholdninger i kaldt klima har pågått siden begynnelsen av 1990-tallet. I 2000 ble det utformet et eget VA miljøblad for denne type renseløsninger (Gaut og Mæhlum, 2001). FoU fokus i Norge har blant annet vært rettet mot å finne materialtyper som har stor fosforbindingskapasitet og høy hydraulisk ledningsevne. Frem til nå har norsk-produserte lettklinker av typen Filtralite (Leca-produkt utviklet for vannrensing) vært det mest brukte filtermaterialet (Mæhlum, 1998; Zhu, 1998). Filtralite-P™ som er neste generasjon lettklinker er spesielt utviklet for å sorbere fosfor. Siden 2000 har det imidlertid vært interesse for å forsøke andre materialtyper, og ulike typer skjellsand har særlig blitt fremhevet (Roseth 2000). Spørsmålet reiser seg da om hvorvidt skjellsand har like god P-bindingskapasitet som Filtralite-PTM. Fosforbindingskapasiteten til ulike typer skjellsand har allerede blitt testet i laboratoriet ved risteforsøk, kolonneforsøk og i ett pilotanlegg. Denne artikkelen oppsummerer først resultater som er fremkommet gjennom slike laboratorieforsøk, og rap-

porterer så resultater fra et nytt pilotanlegg der fosforbindingskapasiteten til Filtralite-P™ og en bestemt type skjellsand er blitt sammenlignet.

Materialeegenskaper til Filtralite-P™ og skjellsand

Filtralite-P™ (Maxit Group AB, Oslo) er et kommersielt tilgjengelig produkt med høy pH (>10) og et høyt innhold av Ca og Mg. Materialet er tilgjengelig i mange kornstørrelser, men for bruk i konstruerte våtmarksfiltre har det vært vanlig å bruke fraksjonen 0-4 mm. Den effektive porøsiteten er på 40 % (Optiroc, 2003), partikkel-porøsiteten er på 68 % (Suliman, 2003) mens mettet hydraulisk ledningsevne er målt til 100 m dag⁻¹. Filtralite-P™ skiller seg fra det tidligere Filtralite-materialet ved at det er tilsatt ekstra dolomitt.

Det finnes flere ulike produsenter av skjellsand i Norge. Noen av produktene er hentet fra avsetninger produsert av muslinger og snegler, mens andre produkter er hentet fra sand generert fra koraller. Generelt sett er de ulike typene skjellsand godt sortert med hydraulisk ledningsevne mellom 60 og 400 m dag⁻¹ og den effektive porøsiteten er høy, mellom 35 og 50 % (Roseth, 2000). Innholdet av kalsium målt som CaO ligger mellom 39 og 40 g 100 g⁻¹, mens innholdet av magnesium målt som MgO er mellom 0,6 og 3,2 g 100 g⁻¹ (Roseth, 2000). I denne artikkelen refereres det til undersøkelser utført med skjellsand fra følgende leverandører: 1) Fosen skjellsand og 2) Korall AS. Begge disse leverandørene selger skjellsand basert på koraller.

Metoder for å måle P-binding i filtermaterialer

Risteforsøk utføres ved å tilsette filtermateriale og et bestemt volum P-løsning i flasker som så ristes i et bestemt tidsrom. Ved å måle P-konsentrasjonen i løsningen før og etter risting kan man bestemme mengde P som er bundet til filtermaterialet. Forhold som kan virke inn på resultatet foruten materialets fysiske-kjemiske bindingsegenskaper er mengden vann i forhold til sand, konsentrasjonen til fosforløsningen, temperatur, riste-hastigheten og ristetiden.

Kolonreforsøk utføres ved at kolonner av plexiglass eller rustfritt stål pakkes med det aktuelle materialet, og deretter lar man fosforløsningen perkolere gjennom filtermaterialet med en jevn dosering over tid (ofte flere måneder). Størrelsen til slike kolonner kan variere, men de er som oftest mellom 0,5 og 1 meter lange og har en diameter på rundt 10 cm. Mengde P bundet til filtermaterialet kan enten bli bestemt ved å se på forskjell i konsentrasjon i inn- og utløp over tid, eller ved at mengden P i materialet måles ved forsøkets slutt. Forhold som kan virke inn på resultatet er konsentrasjonen til fosforløsningen, redoksforhold, temperatur og oppholdstiden i kolonnene.

Pilotanlegg er store kar (3 til 4 meter lange) fylt med filtermateriale. Som for kolonneforsøk strømmer en fosforløsning gjennom karet og materialets bindingsevne måles som beskrevet for kolonneforsøk. Slike pilotanlegg kan beplantes med typiske våtmarksplanter, og dermed kan effekten av planter på fosforretensjon

studeres. Forhold som påvirker resultatet er som for kolonneforsøk. I pilotanlegget benyttet til forsøkene beskrevet i denne artikkelen var det ikke plantevekst.

Resultater fra tidligere forsøk

I risteforsøk utført med Filtralite ble det med en initiell konsentrasjon på 360 mg P l⁻¹ funnet en bindingskapasitet på ca 1400 mg P kg⁻¹ (kornstørrelsesfraksjon 0-3 mm) (Zhu, 1998; Jenssen og Krogstad, 2003). I et fire år gammelt feltskalaanlegg med samme materiale ble mengden P bundet til materialet i innløpet målt til 800 mg P kg⁻¹. Dette er ca. halvparten av den kapasiteten som ble funnet i risteforsøkene. Risteforsøk med Filtralite-PTM og en initiell P-konsentrasjon på 480 mg P l⁻¹ har vist en enda større bindingskapasitet, helt opp i 12 000 mg P kg⁻¹ (Jenssen og Krogstad, 2003). Antas det at bindingskapasiteten i felt også for dette materialet er 50 % av det som blir funnet i laboratoriet, vil Filtralite-PTM i et våtmarksanlegg kunne sorbere opp mot 6000 mg P kg⁻¹.

Risteforsøk med ulike typer skjellsand og initiell konsentrasjon på 1000 mg P l⁻¹, ga bindingskapasiteter mellom 1200 og 3500 mg P kg⁻¹ (Roseth, 2000). I ett risteforsøk med Fosen skjellsand ble det funnet en bindingskapasitet på opp mot 8000 mg P kg⁻¹ for en initiell konsentrasjon på 1500 mg P l⁻¹ (Søvik og Kløve, 2005). I risteforsøkene som det er blitt henvist til så langt har det vært brukt et høyt forhold mellom vann og sand, dvs mellom 15 og 25 ganger mer vann enn sand. I risteforsøk med Fosen

skjellsand der forholdet mellom vann og sand var 1, sank bindingskapasiteten til 800 mg P kg^{-1} (Søvik og Kløve, 2005). Ulike kolonneforsøk har også blitt brukt for å teste P-bindingskapasiteten til sand fra Korall AS. Ved å se på total mengde P tilsatt og total mengde P i utløpet ble det beregnet at materialet i kolonnene hadde bundet mellom 2500 og $3500 \text{ mg P kg}^{-1}$ (Roseth, 2000).

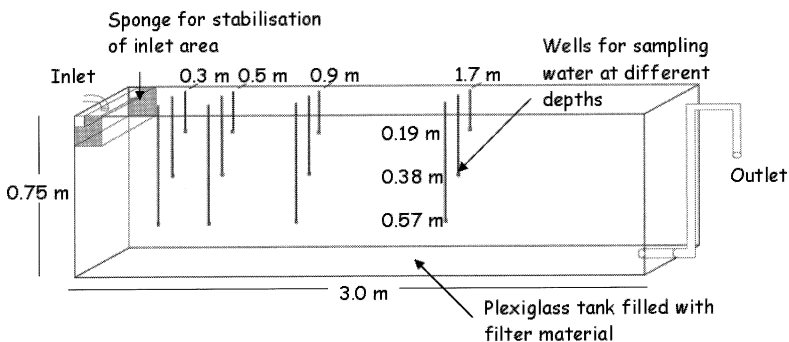
I et tidligere pilotforsøk med skjellsand fra Korall AS ble det ved forsøkets slutt funnet $1200 \text{ mg P kg}^{-1}$ i forfilteret. Ved innløpet til hovedfilteret var mengden P bundet lik 420 mg P kg^{-1} , mens det ved utløpet var 290 mg P kg^{-1} . Tallene er korigert for mengde P i ren sand. Dette gir en gjennomsnittlig akkumulert konsentrasjon på 335 mg P kg^{-1} i hele anlegget. Det er verdt å merke seg at dette pilotanlegget var mettet ved forsøkets slutt, dvs. at innløpskonsentrasjonen var lik utløpskonsentrasjonen (Søvik og Kløve, 2005).

Tidligere forsøk viser et relativt stort sprik i resultater, noe som kan skyldes ulike forsøks-betingelser og

testing på ulike materialertyper. Det ble derfor besluttet å teste de to filtermaterialene Filtralite-PTM og Fosen skjellsand i det samme forsøksoppsettet.

Pilotanlegg – forsøksoppsett

Pilotanlegget bestod av to kar laget i plexiglass og rustfritt stål, ett er fylt med Filtralite-PTM (0-4 mm) og ett med Fosen skjellsand (0-2 mm). Karene er 3 m lange; 0,29 m bred og 0,8 m høy (Figur 1). Høyden til filtermaterialet i karene er 0,75 m. Ingen av karene er beplantet. For å kunne studere P-konsentrasjonen i vannfasen som funksjon av tid og rom ble det satt ned 12 PVC-rør på ulike dyp i hvert kar (Figur 1). En svamp ble plassert i innløpet til karene for å fordele vannet jevnt over hele filterflaten. En kunstig P-løsning (6 mg l^{-1}) ble tilsatt begge karene som pulser på 135 ml hvert 3. min. Vannet drenerte ut av karene gjennom et perforert dreneringsrør og vannhøyden ved utløpet var satt til 0,70 m. Vannhøyden ved innløpet var på 0,74 m og 0,715 m i karene med hen-



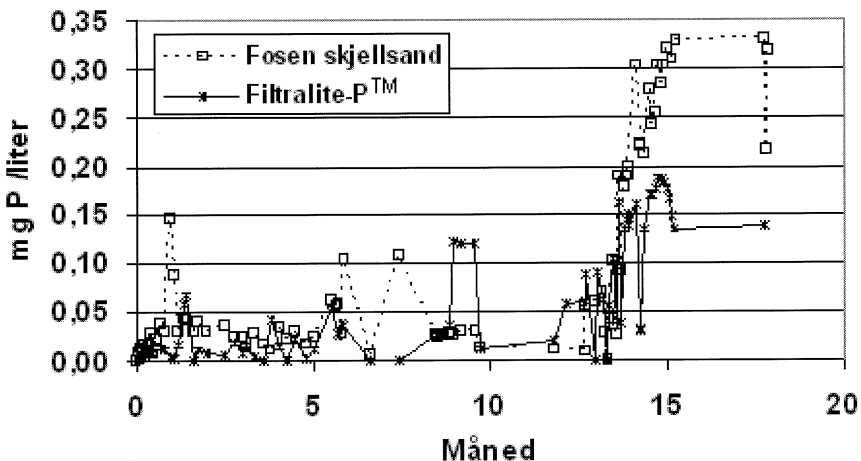
Figur 1. Oppsett for de to plexiglasskarene fylt med henholdsvis Filtralite-PTM og Fosen skjellsand. Vannet med fosfatløsningen strømmer horisontalt fra venstre til høyre.

holdsvis Fosen skjellsand og Filtralite-P™. Oppholdstiden var på 168 og 103 timer for karene med henholdsvis Fosen skjellsand og Filtralite-P™. Temperaturen i karene varierte mellom 13 og 17 °C. Fosforkonsentrasjonen ble målt i innløp, utløp og i PVC-rørene gjennom hele forsøksperioden på 18 måneder. Etter at forsøket var avsluttet ble det tatt ut en rekke prøver av materialet som så ble analysert for total mengde akkumulert fosfor (TP). Disse materialprøvene ble tatt fra 7 ulike lokaliteter på 3 dyp (10, 40 og 60 cm under overflaten).

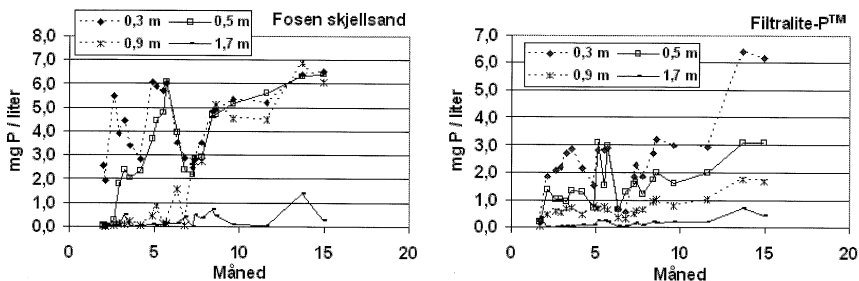
Pilotanlegg - resultater

I løpet av forsøksperioden steg fosforkonsentrasjonen i utløpet til ca. 0,3 og 0,2 mg P l⁻¹ for henholdsvis Fosen skjellsand og Filtralite-P™ (Figur 2).

Den dybdegjennomsnittlige fosforkonsentrasjonen i PVC-rørene (med avstand 0,3; 0,5; 0,9 og 1,7 m fra innløpet) er vist som funksjon av tid i Figur 3. I første del av forsøket varierte konsentrasjonen en del men i siste del av forsøket viste konsentrasjonen en jevn stigning. Ved slutten av forsøksperioden var konsentrasjonen i vannet i de første 0,9 m av karet med Fosen skjellsand lik innløpskonsentrasjonen. I karet med Filtralite-P™ var det bare i de første 0,3 m at vannets konsentrasjon var lik innløpskonsentrasjonen. I begge karene skjer det dermed en gradvis metning av filtermaterialet fra innløpet mot utløpet, men ved slutten av forsøksperioden var større deler av skjellsandfilteret mettet enn det som var tilfelle for Filtralite-P™.



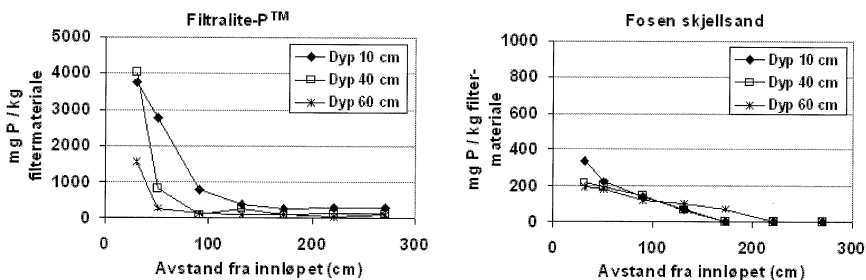
Figur 2. Fosforkonsentrasjon (mg P l⁻¹) i utløpet til de to karene som funksjon av tid.



Figur 3. Fosforkonsentrasjon (dybdegjennomsnitt) i PVC-rørene med avstand på henholdsvis 0,3; 0,5; 0,9 og 1,7 m fra innløpet.

I karet med Fosen skjellsand var det for en gitt avstand fra innløpet liten forskjell på P-konsentrasjonen i vannet med dyppet. Strømningsforholdene ser dermed ut til å ha vært homogene og all sanden bidro til binding av P. Dette var ikke tilfelle for karet med Filtralite-P™, her var fosforkonsentrasjonen i vannet i de øvre lag av karet gjennomgående høyere enn i de nedre lag av karet (resultater ikke vist). Det kan dermed se ut som om vannet i de nedre deler var stillestående og at bare de øvre deler

av filtermaterialet bidro til P-rensing. I begge karene var mengden P bundet til filtermaterialet ved forsøkets slutt høyest nær innløpet, for deretter å synke mot utløpet (Figur 4). Maksimal mengde P akkumulert ble målt til 4000 og 330 mg P kg⁻¹ for henholdsvis Filtralite-P™ og Fosen skjellsand (tallene er korrigert for mengde P i rent filtermateriale). Dette tilsvarer 2000 og 330 g P m⁻³ filtermateriale (volumvekten er på 0,5 og 1,0 kg dm⁻³ for henholdsvis Filtralite-PTM og Fosen skjellsand).



Figur 4 Akkumulert mengde P i karene med henholdsvis Filtralite-P™ og Fosen skjellsand (tallene er korrigert for mengde P i rent filtermateriale).

Diskusjon

Basert på en sammenligning av bindingskapasiteten til Filtralite i risteforsøk og feltanlegg, antar Jenssen og Krogstad (2003) at det nye materialet Filtralite-P™ vil ha en bindingskapasitet i felt på ca. 6000 mg P kg⁻¹. I pilotanlegget ble bindingskapasiteten målt til 4000 mg P kg⁻¹, altså bare en tredjedel av kapasiteten målt ved risteforsøk. Bindingskapasiteten til Fosen skjellsand i pilotanlegget var på 330 mg P kg⁻¹. Dette er langt under det som er blitt målt i tidligere risteforsøk. Men det er i overensstemmelse med det som er blitt målt i et tidligere pilotanlegg med sand fra Korall AS, der bindingskapasiteten i innløpet til hovedfilteret ble målt til 420 mg P kg⁻¹. Resultatene viser at risteforsøk generelt gir altfor høye verdier for bindingskapasiteten og at det kan være vanskelig å angi et bestemt forholdstall mellom bindingskapasiteten funnet i risteforsøk og i feltanlegg.

Basert på målinger av fosforkonsentrasjonen inn og ut av de to karene samt mengde vann tilsatt karene, ble den akkumulerte mengden P estimert til 187 g og 186 g for karene med henholdsvis Filtralite-P™ og Fosen skjellsand. Basert på målinger av TP i filtermaterialet er den akkumulerte mengden P på 200 g og 60 g for henholdsvis Filtralite-P™ og Fosen skjellsand. For Filtralite-P™ er det altså relativt god overensstemmelse mellom de to metodene, noe det ikke er for karet med skjellsand. Det er ikke klart hva som er årsaken til uoverensstemmelsen for Fosen skjellsand. En forklaring kunne være at estimatet for

mengde P i ren skjellsand er for høyt. Uansett ser det ut for at måling av TP i skjellsand underestimerer mengden P som er holdt tilbake i karet.

Levetiden til et filteranlegg estimeres ofte ved at bindingskapasiteten til et materiel multipliseres med volumet til anlegget. For det første må slike beregninger baseres på en mest mulig riktig verdi for bindingskapasitet. Som tidligere nevnt gir ofte risteforsøk i laboratoriet for høye verdier i forhold til det som er funnet i felt. Bindingskapasiteten bør derfor baseres på målinger av akkumulert TP i materialprøver tatt fra felt- eller pilotanlegg. Slike målinger kan også ha svakheter som nevnt overfor for Fosen skjellsand. Prøver for å måle bindingskapasitet i felt er vanligvis blitt tatt fra anleggets første del da det er her filtermaterialet er blitt mettet. Ved bruk av denne bindingskapasiteten antar man imidlertid at når et anleggs levetid er ute, dvs. når konsentrasjonen av P i utløpet overstiger den tillatte utløpskonsentrasjonen, så vil alt filtermaterialet i hele anlegget være mettet med fosfor. Forsøkene i pilotanlegget måtte dessverre avsluttes før konsentrasjonen i utløpet hadde nådd kravet (ofte satt til 1 mg P l⁻¹) (Figur 2). Imidlertid ser vi at den dybdegjennomsnittlige konsentrasjonen ved 1,7 m og 0,9 m i karene med henholdsvis Fosen skjellsand og Filtralite-P™ var på 1 mg P l⁻¹ ved forsøkets slutt (Figur 3). Videre viser Figur 4 at det i de første 1,7 og 0,9 m av de to karene bare var materialet like ved innløpet som hadde oppnådd den høyeste bindingskapasiteten. Resten av materialet hadde fremdeles

mye bindingskapasitet igjen. Disse resultatene viser at i det utløpskonsentrasjonen når 1 mg P l⁻¹, så vil mest sannsynlig bare deler av filtermaterialet være mettet med P. Dette betyr at hvis levetiden til et anlegg skal beregnes som nevnt overfor, så må en gjennomsnittlig bindingskapasitet (basert på målinger av TP i materialprøver fra hele anlegget) brukes for å oppnå et mer riktig estimat.

Konklusjoner

Resultatene i denne undersøkelsen viser at Filtralite-PTM har en større fosforbindingskapasitet enn Fosen skjellsand. Mengden akkumulert TP i de første deler av pilotanlegget var mye høyere for Filtralite-PTM enn for Fosen skjellsand, henholdsvis 4000 og 330 mg P kg⁻¹. Dette tilsvarer 2000 og 330 g P m⁻³ filtermateriale. Den delen av filteret som var mettet med P ved forsøkets slutt var også større for Fosen skjellsand enn for Filtralite-PTM. De første 0,9 m av karet med skjellsand var mettet med P, mens bare 0,3 m av karet med Filtralite-PTM var mettet. Det er viktig å være klar over at dette er resultater som gjelder for denne bestemte typen skjellsand, og at andre typer skjellsand kan ha andre bindingsegenskaper.

Resultatene viser også at for å beregne en realistisk levetid for et filteranlegg, må en gjennomsnittlig bindingskapasitet (basert på målinger av TP i materialprøver fra hele anlegget) brukes. Dette skyldes at når anleggets levetid er forbi, dvs utløpskonsentrasjonen er høyere enn

kravet (ofte satt til 1 mg P l⁻¹), så vil bare materialet i de fremre deler av et anlegg ha oppnådd maksimal bindingskapasitet. En slik gjennomsnittlig bindingskapasitet bør baseres på målinger av TP i materiale fra et anlegg der utløpskonsentrasjonen nettopp har nådd 1 mg P l⁻¹.

Takk

Dette arbeidet er blitt utført som en del av PRIMROSE prosjektet om konstruerte våtmarker (<http://primrose.jordforsk.no>) finansiert via den Europeiske Kommisjon (kontrakt CVK1-2000-00065).

Videre arbeid

I Norge har fokus vært rettet mot rensing av P. Et annet viktig næringssalt i avløpsvann er imidlertid nitrogen (N). I konstruerte våtmarksanlegg og sandfiltre kan opptak i planter og sediment gi midlertidig fjerning av N. For permanent fjerning må imidlertid de mikrobielle prosessene nitrifisering og denitrifisering hvor ammonium gjøres om til nitrat og deretter nitrogengass, optimaliseres. Disse prosessene er sensitive for miljøparametre som for eksempel pH. I pågående forsøk i regi av NFR prosjektet "Increased N removal in constructed wetland filters – use of stable nitrogen isotopes to determine factors controlling denitrification and DNRA" blir N-prosesser i ulike filtermaterialer studert og resultatene vil bli presentert i en ny artikkel i VANN. Det vil også bli presentert nye driftserfaringer fra fullskala våtmarksanlegg og filterbedanlegg i en egen VANN artikkel høsten 2005.

Referanser

- Gaut A. og Mæhlum T. 2001. Våtmarksfiltre. VA-Miljøblad nr. 49. Stiftelsen "NKF and NORVAR" VA/Miljøblad".
- Jenssen, P.D. og T. Krogstad, 2003. Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate (LWA). In: Ü. Mandler and P. Jenssen (Eds). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates, International Series on Advances in Ecological Sciences, WIT Press, UK, pp 259-269.
- Mæhlum, T., 1998. Cold-Climate Constructed Wetlands: Aerobic Pre-Treatment and Horizontal Sub Surface Flow Systems for Domestic Sewage and Landfill Leachate Purification. PhD Thesis, Agricultural University of Norway.
- Optiroc Group AB, Product specification of Filtralite PTM, 2003 Oslo, Norway.
- Roseth, R., 2000. Shell sand: A new filter medium for constructed wetlands and wastewater treatment. Journal of Environmental Science & Health, A35: 1335-1355.
- Suliman, F., 2003. Characterization of saturated horizontal flow in small boxes containing Filtralite-PTM, (in Press)
- Søvik, AK. og B. Kløve, 2005. Phosphorus retention processes in shell sand filter systems treating municipal wastewater. Ecological Engineering (godkjent for publisering)
- Zhu, T., 1998. Phosphorus and Nitrogen Removal in Light-Weight Aggregate (LWA) Constructed Wetlands and Intermittent Filter Systems. PhD Thesis, Agricultural University of Norway.