

Anrikning av fosfor i filterbedanlegg – en studie av tre anlegg på Østlandet

*Av Kari Horgen Skjønsberg, Tore Krogstad, Trond Mæhlum
og Petter D. Jenssen*

Kari Horgen Skjønsberg og Trond Mæhlum er forskere ved Bioforsk. Tore Krogstad og Petter D. Jenssen er professorer ved Institutt for plante- og miljøvitenskap, Universitetet for miljø- og biovitenskap.

Sammendrag

Filterbed er en anleggstype for rensing av avløpsvann som består av en slamavskiller, et biofilter og et filterbasseng. Formålet med dette studiet er å undersøke hvor mye fosfor som er anriket i tre filterbedanlegg fra Østlandsområdet. Filtermateriale er tatt ut som ni eller tolv søyler avhengig av størrelsen på anleggene.

Analysen av filtermaterialet viser en anrikning på opptil 3,3 g P kg⁻¹. Utregning av gjennomsnittlig fosforanrikning i de tre anleggene viser høyest andel ved innløpet og en tendens til økende anrikning mot bunnen. Renseprosenten for fosfor er i to av anleggene over 90 %, mens det i det tredje anlegget er på 65 %. Det er ikke påvist nedtransportering av små partikler, noe som viser at homogeniteten i filtermaterialet ikke har endret seg i driftsperioden. For å få anleggene til å fungere optimalt er det viktig med kontinuerlig driftsoppfølging og vedlike-

hold. Selv om filterbedanlegg er en godt dokumentert rensemetode, er det behov for mer kunnskap om hvordan varierende driftsforhold påvirker rensesevnen.

Summary

Accumulation of phosphorus in filter beds – a study of three plants from Østlandet

A filter bed is a constructed wetland for wastewater treatment which has a septic tank, biofilter and a filter basin. The goal of the study was to investigate how much phosphorus that was accumulated in three filter beds. Samples of the filter media was collected from each plant in nine or twelve columns depending on the size of the plant.

Analysis of the filter material shows an accumulation of phosphorus up to 3,3 g P kg⁻¹. The mean accumulation of phosphorus is largest at the inlet of all three plants and it is also a tendency of

increasing accumulation of phosphorus at increasing depths. The efficiency of phosphorus removal is over 90 % in two of the plants and about 65 % in the third one. There has been no confirmation of transportation of small particles which show that the homogeneity has not changed during the lifetime of the plant. To ensure optimal function of the wastewater treatment systems, it is important with continual maintenance. Even if filter beds is a well documented treatment system, more information is required about how different conditions affect the efficiency of the plant.

Innledning

Filterbedanlegg er en type naturbasert renseløsning med horisontal strømning under bakken. Anleggene består vanligvis av en slamavskiller, etterfulgt av et aerobt biofilter og deretter et filterbaseng, heretter kalt hovedfilter. Når hovedfilteret er beplantet med våtmarksplanter kalles det en konstruert våtmark. Denne anleggstypen har vært i bruk for rensing av avløpsvann i Norge siden begynnelsen av 1990-tallet (Mæhlum & Pedersen, 1999). I 2001 ble VA/Miljøblad nr. 49 laget som en bransjenorm for design av anleggene (NKF & NORVAR, 2001). I dag er det anslagsvis mellom 500 og 1000 filterbedanlegg i drift for avløp fra hus og hytter. De fleste er små anlegg på mindre enn 10 pe for eneboliger, men det finnes også anlegg designet for mer enn 100 pe.

Fosfor holdes tilbake i filtermateriale som vanligvis består av lettklinker, skjellsand eller annet materiale med høyt inn-

hold av kalsium, jern eller aluminium. Siden fosfor er en begrenset ikke-fornybar ressurs med stor etterspørsel på verdensbasis er det viktig å ha rensesystemer der fosfor anrikes i en form som kan resirkuleres. Ved å fjerne fosfor fra avløpsvann ved bruk av filterbed, kan fosfor på sikt brukes som gjødsel (Kvarnström et al., 2004).

Filterbedanleggene som er undersøkt i dette studiet er bygd i henhold til VA/Miljøblad nr. 49 fra 2001. Filtermaterialet som er benyttet i de undersøkte anleggene er Filtralite P, en type lettklinker laget av leire med innblanding av mineralet dolomitt. Ved oppvarming av dolomitt blir brent kalk (CaO) og periklas (MgO) dannet. CaO reagerer med vann og danner alkaliske forbindelser som er med på å heve pH i anlegget. Fjerning av fosfor i disse filterbedanleggene skjer i hovedsak ved utfelling og i noen grad ved sorpsjon til kalsium og magnesium (Adam, 2006).

Formålet med dette studiet er å måle hvor mye fosfor som totalt er anrikt i tre ulike filterbedanlegg og å finne ut hvor i anleggene hovedandelen av fosfor er anrikt. Det blir også foretatt en vurdering av om den dimensjonerte levetiden svarer med den estimerte levetiden til anleggene.

Material og metode

Dette studiet tar for seg tre filterbedanlegg i Hobøl, Ringerike og Oslo kommune, heretter anlegg A, B og C. Anleggene hadde vært i drift i henholdsvis fem, fire og ni år da undersøkelsene ble gjennomført og filterprøvene tatt. Prøver

	Anlegg A	Anlegg B	Anlegg C
Byggeår	2003	2004	1999
Belastning (husstander)	2 hus	23 hus og 2 hytter	3 hus og kafédrift
Antall pe (design)	10	110	43
Areal m ² , hovedfilter	70	501	312
Volum m ³ , hovedfilter	70	677	300

Tabell 1. Oversikt over anlegg A, B og C (NAVA, 2000; Køhler, 2002, 2003).

av filtermaterialet fra hovedfilteret ble analysert for å undersøke renseeffekten av fosfor. I tillegg er vannprøver fra anleggene analysert. Tabell 1 gir opplysninger om anleggene, for utfyllende informasjon se Skjøsberg (2010).

Filterprøver

Høsten 2008 ble det samlet inn prøver fra hovedfilteret ved bruk av plastrør med diameter 45 mm i PVC-materiale, slik bilde 1 viser. Avhengig av størrelsen på anleggene ble det samlet inn ni søyler fra anlegg A og C og tolv søyler fra anlegg B. Plastrørene ble slått ned i filteret i et rutenett med omtrent lik avstand ved innløpet, i midten og ved utløpet av hovedfilteret. Søyelengdene varierte mellom 53 og 108 cm. Hardhet i materialet og faren for å punktere membranen i bunn av anleggene var årsaker til at plastrørene ikke kunne bli slått lenger ned.

Søylene ble delt opp i prøver à 10 cm som totalt utgjorde 247 prøver fra de tre anleggene. Ved de kjemiske analysene ble prøver fra hver tjuende cm fra anlegg A og B analysert, mens fra anlegg C ble prøver fra hver tiende cm analysert. Årsaken til at kun et utvalg av prøvene ble

analysert fra anlegg A og B var at det ble antatt at prøvene ville vise samme tendens og ikke tilføre resultatet noe mer. Prøvene ble oppsluttet med HNO₃ i ultraklav og analysert for totalt innhold av P, Mg, Ca, Al, Fe, K og Na ved bruk av induktivkopleet plasma-optisk emisjonspektroskopi (ICP-OES).

Analyse av mengde finstoff

For å undersøke om det hadde skjedd en omfordeling av finstoff i hovedfilteret i driftsperioden ble prøver fra hver tiende cm fra den lengste søylen ved innløpet, i midten og ved utløpet i alle tre anleggene analysert. En kornfordelingsikt med størrelse <600µm ble benyttet til analysen.

Vannprøver

Periodevis mellom september 2008 og juli 2009 ble det tatt vannprøver fra innløp og utløp ved anleggene. Annet data-materiale som ble undersøkt var eksisterende data fra tidligere driftsovervåking. Vannprøvene ble analysert for total-P etter NS 4725 (NSF, 1984), total-N etter NS 4743 (NSF, 1993a), TOC etter NS-EN 1484 (NSF, 1997), pH etter NS 4720 (NSF, 1979) og ledningsevne etter NS-ISO 7888 (NSF, 1993b). Analysene av

vann- og filterprøvene ble utført ved Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM) ved Universitetet for miljø- og

biovitenskap (UMB). For nærmere beskrivelse av fremgangsmåte og analyse- ring, se Skjøsberg (2010).



Bilde 1. Nedslåing av plastrør i felt (Krogstad, 2008).

	Anlegg A (g P kg ⁻¹)	Anlegg B (g P kg ⁻¹)	Anlegg C (g P kg ⁻¹)
Innløp	1,99	1,67	0,73
Midten	1,71	1,32	0,59
Utløp	1,42	1,44	0,49

Tabell 2. Gjennomsnittlig anriket fosfor i g kg⁻¹ ved innløpet, i midten og ved utløpet i anlegg A, B og C.

Resultat og diskusjon

Levetiden til filterbedanlegg bygd i henhold til VA/miljø-blad 49 er antatt å være 10 – 15 år (Jenssen et al., 2005). Anleggets levetid påvirkes av filtermaterialets kjemiske kvaliteter og belastningen på anlegget. Filtermaterialet antas å være homogent med hensyn til tilsetninger og kjemiske egenskaper og med like fysiske kvaliteter i hele filtermassen. På bakgrunn av dette forventes det at filtermaterialet vil ha lik evne til å binde fosfor i hele anlegget.

Tabell 2 viser en oversikt over anrikkelse av fosfor ved innløpet, i midten og ved utløpet i anlegg A, B og C. Dette viser at det bindes mest fosfor ved innløpet hvor konsentrasjonen i avløpsvannet er høyest. Etter hvert som filtermaterialet ved innløpet mettes med fosfor, kan det forventes at anrikningen utjevner seg i hele filtermaterialet. Høyere konsentrasjon ved utløpet enn i midten i anlegg B kan forårsakes av strømningsretningen til vannet, noe dette studiet ikke kommer nærmere innpå.

Ifølge et laboratorieforsøk av Jenssen & Krogstad (2003) er maksimal sorpsjonskapasitet for fosfor i filterbedanlegg 8-12 g kg⁻¹. I fullskala filterbedanlegg kan det forventes at avløpsvannet ikke er i kontakt med hele filtermassen og at bindingsforholdene ikke er like optimale som inne på et laboratorium. Ved fullskala filterbedanlegg er en mer realistisk fosforsorpsjonskapasitet 4-6 g P kg⁻¹ (Jenssen & Krogstad, 2003).

Tabell 3 viser gjennomsnittet av alle målingene for fosfor som er anriket i anlegg A, B og C. I parentes vises anleggenes minimums- og maksimumsverdier som er målt i filtermaterialet. Gjennomsnittsverdiene er ifølge verdiene Jenssen & Krogstad (2003) kom fram til, langt under maksimal fosforsorpsjon. Dette tyder på at anleggene fortsatt har lang levetid eller at tidligere laboratorieforsøk har gitt for høyt estimat for bindings-evnen.

	Anlegg A	Anlegg B	Anlegg C
(g P kg ⁻¹)	1,71 (1,2 – 3,3)	1,47 (1,1 – 2,1)	0,6 (0,29 – 1,1)

Tabell 3. Total gjennomsnittlig anriket fosfor i g kg⁻¹ i anlegg A, B og C.

	Anlegg A	Anlegg B	Anlegg C
P_{total} (kg)	51	279	70

Tabell 4. Overslag over den totale mengden fosfor i kg som er anriket i anlegg A, B og C.

Den totale mengden fosfor, vist i tabell 4, er basert på ligning 1 som gir et overslag

over hvor mye fosfor som er anriket i hvert anlegg.

Ligning 1

$$P_{\text{total}}(\text{g}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} d_{ij} \cdot [P]_{ij} \cdot \rho \cdot A_i$$

Her er n antallet søyler tatt ut av hovedfilteret, m_i antall inndelte sjikt i søyle i , d_{ij} tykkelsen av sjikt j i søyle i , $[P]_{ij}$ anrikningen av fosfor i sjikt j i søyle i , ρ er massetettheten til filtermaterialet og A_i er arealet som omgir søyle i . For mer informasjon om datagrunnlaget henvises det til Skjønsberg (2010). Tabell 5 viser en oversikt over hvilke parametre som er brukt ved utregning av P_{total} .

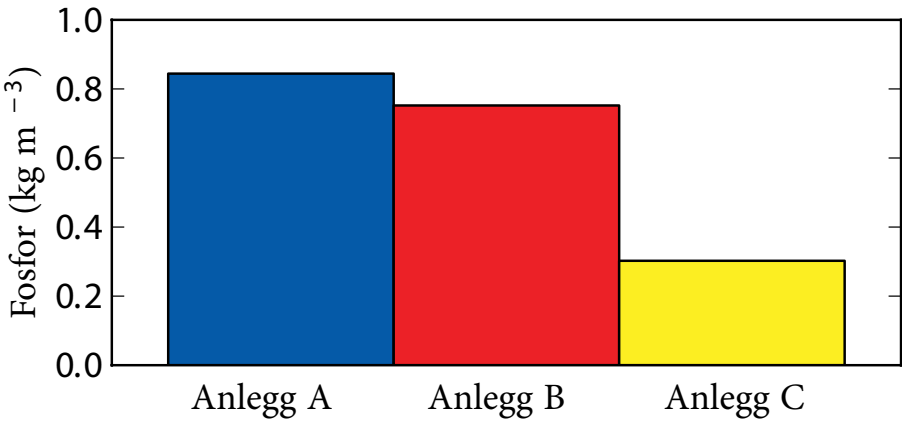
Figur 1 viser andel fosfor anriket i anleggene basert på P_{total} dividert med volumet av anleggene. Volumet baserer seg på gjennomsnittlig dybde fra de ulike søylepunktene. Den totale mengden

anriket fosfor i kg m^{-3} i hvert anlegg er antakeligvis underestimert på grunn av at sjiktet mot bunnen av anleggene med stor sannsynlighet ikke er nådd. Den lave anrikningen av fosfor i anlegg C kan tyde på at anlegget består av en annen generasjon Filtralite P med lavere kalsiuminnhold. Ifølge Pedersen¹ (pers. med) ble anlegg C dimensjonert utfra et filtermateriale med bindingskapasitet $1,75 \text{ kg m}^{-3}$. Utfra dette har anlegg C i løpet av ni års drift bundet 20 % av maksimal bindingskapasitet. Til sammenligning har anlegg A og B bundet om lag 50 %.

¹ Nils Erik Pedersen. Daglig leder, HACO

	Anlegg A	Anlegg B	Anlegg C
Antall søyler	9	12	9
Areal (m ²)	7,7	41,8	34,7
Areal _{total} (m ²)	70	501	312
Massetetthet ρ (kg m ⁻³)	500	500	500
Gjennomsnittsdybde (m)	0,85	0,74	0,74

Tabell 5. Oversikt over data som er brukt ved utregning av ligning 1.



Figur 1. Mengde fosfor i kg m⁻³, anriket i anlegg A, B og C.

Anleggenes estimerte levetid

Utrekning av anleggenes estimerte levetid baserer seg på den mengde fosfor i g

kg⁻¹ som i gjennomsnitt er funnet anriket i anleggene i henhold til tabell 3, ved

Ligning 2

$$T_{\max} = P_{\max} \cdot \frac{T}{P}$$

hvor T_{\max} er anleggenes estimerte levetid i år, P_{\max} er anleggenes maksimale forventede fosforbindingskapasitet i g kg⁻¹, T er tiden i år anlegget har eksistert ved det aktuelle tidspunktet og P er gjennomsnittlig anriket fosfor i kg i hvert anlegg. P_{\max} er ved utregning 5 g kg⁻¹. Ligning 2 er kun et estimat og beskriver en lineær sammenheng mellom anriket fosfor og anleggenes driftstid. Tabell 6 viser anleggenes estimerte levetid ved bruk av ligning 2.

på 14 år og det stemmer med den forventede levetiden på 10 – 15 år (Jenssen et al., 2005). Den estimerte levetiden for anlegg C er derimot fem ganger høyere enn maksimal forventet levetid. Dette tyder på at anlegget enten er overdimensjonert eller ikke fungerer optimalt.

Anlegg A og B har en estimert levetid

Dybdeprofiler av fosfor

Figur 2 viser hvordan fosfor fordeler seg i dybdeprofil fra innløpet til utløpet. Konsentrasjonen av fosfor øker i hovedsak mot bunnen i alle tre anleggene,

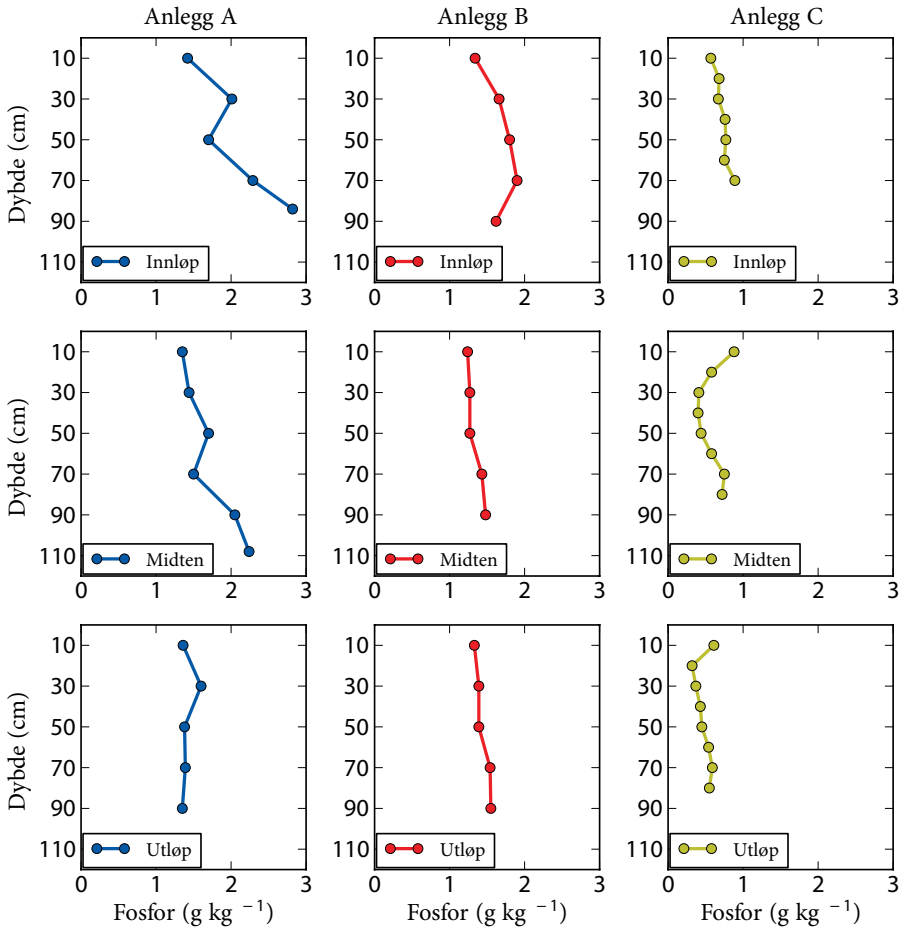
	Anlegg A	Anlegg B	Anlegg C
Tid (år)	14	14	75

Tabell 6: Estimert levetid i anlegg A, B og C.

både ved innløpet, i midten og ved utløpet. I anlegg B er det kun den siste prøven, det vil si den dypeste, ved innløpet som har lavere verdi enn den foregående. De høye fosforkonsentrasjonene i toppsjiktet i midten og ved utløpet i anlegg C, kan forklares av mulige punktkilder fra beitende dyr i området. For mer detaljert beskrivelse av figur 2 og med resultater

fra dybdeprofil av kalsium og magnesiuminnhold henvises det til Skjønsberg (2010).

Det er forventet å være en økning av anriket fosfor mot bunnen av anleggene. Bakgrunnen for dette er at det er forventet en transport av kalk- og leirpartikler nedover i filtermassen. Små partikler har større spesifikk overflate og derfor større



Figur 2. Fordeling av fosfor i dybden i anlegg A, B og C ved innløpet, i midten og ved utløpet.

evne til å binde fosfor. Det er ingen tydelig tendens til økning av partikler med størrelse mindre enn 600µm mot bunnen, dette utelukker imidlertid ikke at det kan være en forskyving av partikler innen denne størrelsefraksjonen mot bunnen. Årsaken til dette er at det er uklart hvordan forholdene er i det nederste sjiktet av anleggene siden det er få prøver fra dette nivået av filtermaterialet.

Vannkjemiske målinger

Total P

Maksimalt tillatt utslipp av fosfor for mindre renseanlegg er i Norge vanligvis 1 mg P l⁻¹. Hver kommune kan fastslå verdiene utfra lokale bestemmelser så lenge de er under maksimalt tillatt utslipp. Tillatt utslipp ved anlegg A og B er 1 mg P l⁻¹, mens grensen for anlegg C er 0,8 mg P l⁻¹.

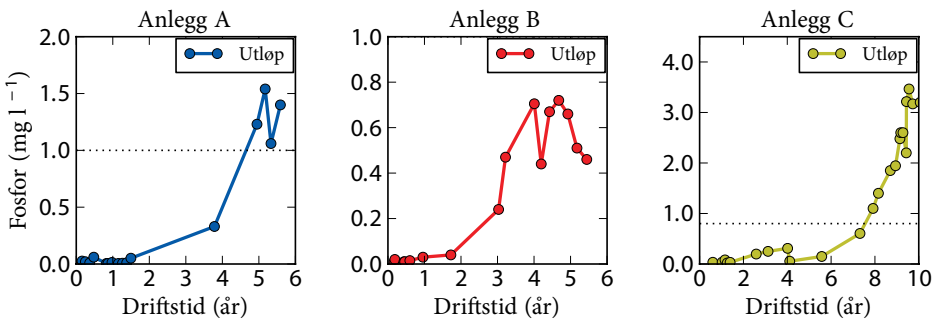
Figur 3 viser en oversikt over endring av total fosfor i utløpet per tid. I anlegg A øker utslippskonsentrasjonen etter fire års drift til over grensen på 1 mg P l⁻¹. I en periode på tre – fire år er det kun registrert én vannprøve. Dette gir noe

usikre resultater og det er uklart hva som er tendensen i denne perioden. Ved innhenting av vannprøver til dette studiet er fosforkonsentrasjonen stiget til over den tillatte grensen på 1 mg l⁻¹.

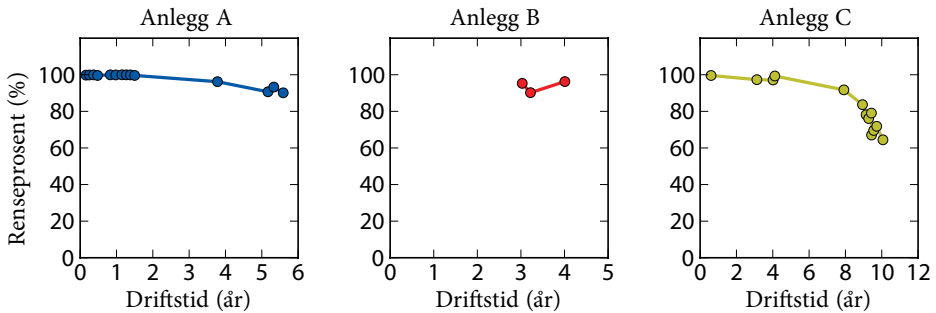
Hoveddelen av resultatene fra analysene fra anlegg B er gjort av kommunen anlegget er tilknyttet. Utløpskonsentrasjonene i dette anlegget ligger under utslippskravet. Konsentrasjonen stiger gradvis fram til tre års drift, deretter varierer utslippskonsentrasjonene noe.

I anlegg C ligger fosforkonsentrasjonen under 0,5 mg P l⁻¹ de første seks årene, deretter stiger konsentrasjonene til 3,5 mg P l⁻¹ på forholdsvis kort tid.

Forventet renseevne for fosfor i filterbedanlegg er høyere enn 90 % (NKF & NORVAR, 2001). Figur 4 viser anleggenes renseprosent for fosfor og i anlegg A og B er renseprosenten etter noe driftstid fortsatt over dette nivået. Selv om fosforkonsentrasjonen i utløpet øker i femte driftsår er endringen i renseprosenten for anlegg A liten. Dette kan tyde på endring i tilført avløpsvann med høyere andel fosfor enn tidligere.



Figur 3. Konsentrasjonene til total fosfor i mg l⁻¹ i utløpet i anlegg A, B og C.



Figur 4. Renseprosenten til total fosfor i anlegg A, B og C.

Som det fremgår av figur 4 er resultatene fra anlegg B basert på et lite tallmateriale, men med utgangspunkt i de lave utløpsverdiene fra figur 3 og antakelse om at innløpsverdien til fosfor ligger rundt 10 mg l^{-1} kan det antas at renseprosenten til anlegg B vil være høy.

Renseprosenten til anlegg C er høy i de første driftsårene, men synker til 65 % etter ti års drift. Både ved anlegg A og C er det i perioden det ikke er driftsoppfølging at konsentrasjonen av fosfor i utløpet øker. Dette viser at det sannsynligvis kan være en sammenheng mellom mangelfull vedlikehold og høye konsentrasjoner av fosfor i utløpet.

På bakgrunn av anleggenes forholdsvis korte driftstid er det fortsatt forventet lav konsentrasjon i utløpet. For anlegg C viser det seg at dette ikke stemmer. Det samlede tallmaterialet fra anlegg C og de høye fosforverdiene i utløpet i figur 3 viser at anlegget ikke fungerer optimalt. Ifølge service- og årsrapporten fra Hensel (2010) er alternative tiltak som utskiftning av hele eller deler av filtermaterialet tiltak som bør vurderes for å øke tilbakeholdelsen av fosfor i anlegget.

Ulike faktorer som kan forårsake høye verdier av fosfor i utløpet er økt vannbelastning eller tilførsel av fremmedvann som kan føre til at fosforbindingsnivnet reduseres som følge av kortere kontakttid mellom vann og filtermateriale. Anbefalt oppholdstid til avløpsvann er ti døgn for svartvann (NKF & NORVAR, 2001). På grunn av plasseringen til anlegg C kan det antas at en del fremmedvann blir tilført anlegget. For å registrere mengden fremmedvann inn i anlegget kan en vannmåler installeres i utløpet. Økt innhold av fosfor i avløpsvannet kan være en annen faktor som resulterer i høyere konsentrasjoner i utløpet. En annen mulighet for økt fosforkonsentrasjon i utløpet er at forfilteret ikke fungerer som det skal.

Ledningsevne og pH

Ledningsevnen sier noe om mengden løste ioner i vannfasen. Hoveddelen av de løste ionene vil i denne sammenheng være kalsium og magnesium som i noen grad vil frigjøres når filtermaterialet kommer i kontakt med vann. Måling av ledningsevnen kan derfor brukes som en

indikasjon på hvor mye kalsium og magnesium som lekker ut av anlegget.

Fra det nordiske pilotprosjektet «Wastewater Treatment in Filter Beds» (Føllesdal, 2005) viste kalsiumkonsentrasjonen i det ene pilotanlegget fra Finland en nedgang fra 820 mg l⁻¹ til 130 mg l⁻¹ i utløpet i løpet av en 2-årsperiode (Vilpas et al., 2005). I pilotprosjektet fra Sverige hadde innholdet av kalsium i utløpet en synkende tendens i det ene anlegget, mens det i det andre anlegget ikke var store forskjeller mellom start og slutt i løpet av den undersøkte perioden (Hellström et al., 2005).

Av det tilgjengelige datamaterialet som er benyttet i dette studiet viser ledningsevnen fra anlegg A og C en synkende tendens de første driftsårene.

I filterbedanlegg er pH i utgangspunktet høy på grunn av at Filtralite P inneholder brent dolomitt. Avløpsvann har normalt pH-verdier rundt 7 – 8 (Jenssen et al., 1996). Innholdet av kalsium og magnesium i filtermaterialet er faktorer som påvirker pH-nivået i avløpsvannet. Når kalsium og magnesium vaskes ut av anlegget vil pH synke. I anlegg A og C synker pH fra om lag 12 til 9,2 og 8,7 i utløpet etter henholdsvis seks og ti år.

Konklusjon

Basert på gjennomsnittlig utregning er det funnet høyest anrikning av fosfor ved innløpet i de tre undersøkte anleggene. Gjennomsnittlig fosforanrikning ved innløpet ligger mellom 0,73 – 1,99 g kg⁻¹ ved anlegg A, B og C. Resultatene viser også en tendens til økt anrikning av

fosfor mot bunnen av anleggene. Det er ikke påvist nedtransportering av små partikler av kalk og leire, noe som viser at homogeniteten i filtermaterialet ikke har endret seg vesentlig i driftsperioden.

Levetiden til anlegg A og B er i denne undersøkelsen estimert til 14 år og tilsvarende den dimensjonerte levetiden til filterbeanlegg på 10 – 15 år. Anlegg C har utfra beregninger en levetid som er fem ganger høyere enn maksimal forventet levetid. Renseprosenten i anlegg A og B er over 90 %, mens helt nede i 65 % i anlegg C. Sammen med den estimerte levetiden til anlegg C tyder dette på at anlegget ikke fungerer slik det skal. Dette kan skyldes manglende driftsoppfølging. For å få anleggene til å fungere optimalt er det viktig med kontinuerlig driftsoppfølging og vedlikehold. Tekniske enheter må kontrolleres, forfilter rakes, og det bør tas prøver av avløpsvannet med påfølgende analyser for raskt å kunne spore eventuelle feil med anleggene.

Referanser

Adam K. (2006). Light weight aggregates and shellsand. Filter materials for phosphorus sorption in small-scale wastewater treatment systems. Ph.D. Thesis, Ås, Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi.

Føllesdal M. (2005). 'Wastewater treatment in Filter Beds: Common Report from all Pilot Plants'. Tech. rep., Oslo, maxit Group AB. NI Project 02056.

Hellström D. & Jonasson L. (2005). 'Wastewater treatment in Filter Beds: -

- Evaluation of two onsite treatment plants in Sweden.' Tech. rep., Maxit Group AB and Nordic Innovation Centre.
- Hensel G. R. (2010). 'Filterbedanlegg på Bogstad gård, Oslo kommune: Service og årsrapport 2009'. Tech. rep., Ås, Bioforsk.
- Jenssen P. D. & Krogstad T. (2003). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates., chap. Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate (LWA), pp. 259–271. WIT Press.
- Jenssen P. D., Mæhlum T., Krogstad T. & Vråle L. (2005). 'High performance constructed wetlands for cold climates'. *Journal of Environmental Science and Health Part A-toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering* 40(6-7): 1343–1353.
- Kvarnström M. E., Morel C. A. L. & Krogstad T. (2004). 'Plant-availability of phosphorus in filter substrates derived from small-scale wastewater treatment systems'. *Ecological Engineering* 22(1): 1–15.
- Köhler J. C. (2002). Arbeidsbeskrivelse for bygging av NAVA Bed, Gunnerenga i Ringerringe kommune. NAVA Naturbasert avløpsteknologi as.
- Köhler J. C. (2003). Arbeidsbeskrivelse for bygging av våtmarksanlegg for to boliger på Hvitsten gård i Hobøl kommune. Ås, Jordforsk.
- Mæhlum, T. & N.E. Pedersen. (1999). Våtmarksfilter - en ny generasjon renseanlegg. *Vann* 34 (1b), 210-218.
- NAVA (2000). NAVA Bed: Driftsinstruks og driftsjournal: Bogstad gård. NAVA Naturbasert avløpsteknologi as.
- NKF& NORVAR (2001), Våtmarksfilter: Utførelse, behandlingsanlegg, avløp: VA/ Miljø-blad nr. 49. NKF og NORVAR, Hamar, Norway
- NSF (1979). 'Vannundersøkelse. Måling av pH'. Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- NSF (1984). 'Vannundersøkelse. Bestemmelse av totalfosfor etter oppløsning med peroksidisulfat'. Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- NSF (1993a). 'Vannundersøkelse. Bestemmelse av nitrogeninnhold etter oksidasjon med peroksidisulfat'. Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- NSF (1993b). 'Vannundersøkelse. Måling av konduktiviteten'. Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- NSF (1997). 'Vannundersøkelse. Retningslinjer for bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC) og løst organisk Karbon (DOC)'. Norges Standardiseringsforbund (NSF).
- Skjønsberg K. H (2010). Rensing av avløpsvann i konstruert filterbedanlegg –

med hovedfokus på fosfor. Masteroppgave. Ås, Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for plante- og miljøvitenskap.

Vilpas R., Valve M. & Rätty S. (2005). 'Report from the pilot plants in Finland'. Tech. rep., Nordic Innovation Centre.