

ØKOLOGISK BYFORNYELSE OG SPILDEVANDSRENSNING

NR. 24 2003

Fosforrensning ved filteranlæg

Fosforrensning ved filteranlæg

Erik Groth
Landsforeningen Danske Maskinstationer

Keld Leerskov Hansen
Carl Bro A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 BAGGRUND OG FORMÅL	16
1.1 BAGGRUND	16
1.2 FORMÅL	17
2 UNDERSØGELSESPROGRAM	18
2.1 GENERELT	18
2.2 UDVÆLGELSE AF ANLÆG	18
2.3 BESKRIVELSE AF DE UDVALGTE ANLÆG	18
2.3.1 <i>Nyt biologisk sandfilteranlæg med pumpesystem</i>	18
2.3.2 <i>Ældre biologisk sandfilter med gravitation</i>	20
2.3.3 <i>Natur-Ren[®] anlæg</i>	21
2.4 PRØVEUDTAGNING	23
2.5 ANALYSEPROGRAM	23
2.6 SPILDEVANDSBELASTNING	24
3 FOSFORRENSNING I FORSØGSANLÆGGENE	25
3.1 FÆLDNING AF FOSFOR VED BIOLOGISK SANDFILTER	25
3.1.1 <i>Fældningsudstyr</i>	25
3.1.2 <i>Valg af fældningsmiddel</i>	25
3.1.3 <i>Dosering af fældningsmiddel</i>	26
3.1.4 <i>Påvirkning af slamproduktion ved dosering af fældningsmiddel</i>	26
3.2 TILBAGEHOLDELSE AF FOSFOR I NATUR-REN [®] ANLÆG	26
3.2.1 <i>Kemisk binding af fosfor til Filtralite[®]</i>	26
4 FORSØGSANLÆGGENES DRIFT I FORSØGSPERIODEN	28
4.1 NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM	28
4.2 ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION	28
4.3 NATUR-REN [®] ANLÆG	29
5 ANALYSERESULTATER FOR SANDFILTRE	30
5.1 NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM	30
5.1.1 <i>Generelt om resultaterne</i>	30
<i>Belastning af anlægget i forsøgsperioden</i>	30
<i>Bearbejdning af resultater</i>	31
<i>Delkonklusion</i>	35
5.2 ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION	35
5.2.1 <i>Generelt om resultaterne</i>	35
5.2.2 <i>Belastning af anlæg i forsøgsperioden</i>	36
5.2.3 <i>Bearbejdning af resultater</i>	36
5.2.4 <i>Delkonklusion</i>	39

6	ANALYSERESULTATER FOR NATUR-REN [®] ANLÆG	40
6.1	FOSFORRENSNING VED NATUR-REN [®] ANLÆG	40
6.1.1	<i>Generelt om resultaterne</i>	40
6.1.2	<i>Belastning af anlæg i forsøgsperioden</i>	40
6.1.3	<i>Bearbejdning af resultater</i>	41
6.1.4	<i>Delkonklusion</i>	44
7	ANLÆGS- OG DRIFTSØKONOMI	46
7.1	FÆLDNING AF FOSFOR I BUNDFÆLDNINGSTANK	46
7.1.1	<i>Anlægsudgifter</i>	46
7.1.2	<i>Driftsudgifter</i>	46
7.2	FOSFORFJERNELSE I NATUR-REN [®] ANLÆG	47
7.2.1	<i>Anlægsudgifter</i>	47
7.2.2	<i>Driftsudgifter</i>	47
7.3	ØKONOMISK LEVETIDSVURDERING	47
8	REFERENCER	48
9	BILAG	49
	BILAG 1 - NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM – ANALYSERESULTATER	50
	BILAG 2 - ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION – ANALYSERESULTATER	53
	BILAG 3 – NATUR REN [®] ANLÆG – ANALYSERESULTATER	55

Forord

Denne rapport er et resultat af en praktisk afprøvning af 2 metoder til fjernelse af fosfor i husholdningsspildevand, som behandles i biologiske filteranlæg.

Ved den ene metode afprøves et simpelt udstyr til dosering af fosforfædningsmiddel i den bundfældningstank, som traditionelt er etableret til forrensning af spildevandet, inden det ledes til det biologiske sandfilter.

Ved den anden metode afprøves et Natur-Ren[®] anlæg, hvor mediet i det biologiske filter er Filtralite[®] type 2-4. Efterfølgende er der etableret et lukket bassin, hvor der sker en kemisk fældning/binding af fosfor. Mediet i det lukkede bassin er Filtralite-P[®], der består af brændt knust ler tilsat dolomitkalk og metalioner.

Projektet er gennemført i perioden september 2000 - september 2001 på 3 mindre landejendomme, hvor 2 af ejerne stillede et nyetableret hhv. ældre biologisk sandfilter til rådighed og den sidste etablerede et nyt Natur-Ren[®] anlæg.

Afprøvningen er desuden sket med de pågældende kommunale myndigheders accept og bevågenhed, idet der på ejendommene enten er eller forventes stillet krav om videregående rensning af spildevand.

Projektet har været præget af mindre praktiske problemer i forbindelse med lokalisering af egnede anlæg, etablering af udstyr og anlægsdele samt udtagning og analyse af analyseprogrammets mange spildevandsprøver.

Projektet er udført i et samarbejde mellem Landsforeningen Danske Maskinstationer, ingeniørfirmaet Carl Bro as, Kemira Miljø A/S og Bokn-Gruppen.

Sammenfatning og konklusioner

Projektet har gennem praktiske forsøg afprøvet 2 nye metoder til fjernelse af fosfor i husholdningsspildevand fra husstande beliggende i landzone uden for offentlig kloakopland.

Projektet er gennemført i perioden september 2000 - september 2001 på 3 landejendomme.

Formål

Det primære mål har været at undersøge, om de 2 rensemetoder kan sikre et fosforindhold på under 1,5 mg Total-P/l i det rensede spildevand.

Som delmål har det været ønsket at tilvejebringe erfaringer med et simpelt fældningsudstyr til montage i bundfældningstanke, og i den forbindelse drage erfaringer med slamdannelse og tømningfrekvens ved fældning af fosfor heri.

Det har endvidere været et delmål at drage erfaring med etablering, indkøring og drift af et Natur-Ren[®] anlæg, hvor fosfor bindes i et dykket filter, tilfyldt med det alternative filtermateriale Filtralite[®], der består af brændt knust ler, dolomitkalk og fosforbindende metalioner.

Foruden at undersøge dette filters fosforrensevne er der indsamlet erfaringer med rensemetodens påvirkning af pH i det rensede spildevand.

Endelig har det været et delmål at belyse hvilke anlægs- og driftsomkostninger, der er knyttet til de 2 rensemetoder.

Afprøvning af et simpelt fældningsudstyr

Afprøvning af det simple udstyr til fældning af fosfor er sket over 12 måneder i en nyetableret bundfældningstank med 3 kamre samt i en ældre 2-kammer bundfældningstank. Spildevandsudløbet fra begge bundfældningstanke tilledes efterfølgende et sandfilter ved pumpning hhv. gravitation.

Afprøvningen af fældningsudstyret i den nyetablerede bundfældningstank er gennemført med mindre og uvæsentlige driftsforstyrrelser

Ved afprøvning i den ældre type bundfældningstank forekom der i hele forsøgsperioden slamflugt i en sådan udstrækning, at det ikke var muligt at tilvejebringe et sikkert grundlag for en vurdering af fosforfældningens reelle effekt.

Afløbskvalitet ved fældning af fosfor i nyetableret bundfældningstank.

I forsøgsperioden er der ved tilsætning af fældningsmiddel i den nyetablerede bundfældningstank målt en afløbskvalitet i udløbet fra sandfilteret på gennemsnitlig 0,4 mg Total-P/l. Ingen af de målte værdier overskred 1,5 mg Total-P/l.

Der er endvidere konstateret en gennemsnitlig udløbkoncentration på 7,3 mg SS/l, hvilket viser en god tilbageholdelse af suspenderet stof gennem anlægget.

Afløbskvaliteten for aluminium lå gennemsnitlig på 0,16 mg/l og dermed under grænseværdien på 0,2 mg/l for aluminium i drikkevand. Der er således ikke påvist en nævneværdig forøget udvaskning af det aluminiumholdige fældningsmiddel, der er tilsat i indløbet til bundfældningstanken.

I forsøgsperioden er der konstateret en gennemsnitlig udløbkoncentration for total-N på 30,8 mg/l. I slutningen af forsøgsperioden er der analyseret for og konstateret fuld nitrifikation i det på det tidspunkt ca. 1 år gamle sandfilter.

Forsøgsanlægget har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,12 m³ husholdningsspildevand pr. døgn svarende til 1 persons vandforbrug. Den hydrauliske spildevandsbelastning har dermed været ca. 1/3 af, hvad der er normalt for en husstand.

Der er under forsøget og ved tømning af bundfældningstankens slamvolumen ikke konstateret problemer med slamtilbageholdelse hhv. observeret en forøget flyde- eller bundslammængde.

Afløbskvalitet ved fældning af fosfor i ældre bundfældningstank.

I forsøgsperioden er der ved tilsætning af fældningsmiddel til den ældre bundfældningstank målt en afløbskvalitet i dennes udløb i intervallet 2,3 – 30 mg Total-P/l med et gennemsnit på 8,2 mg Total-P/l.

Det har dermed ikke været muligt at reducere fosforindholdet til 1,5 mg Total-P/l eller derunder. Der er dog i perioder målt koncentrationer af Ortho-P på under 1,5 mg/l, hvilket indikerer, at fosfor i disse perioder er fældet effektivt.

Der er i udløbet fra bundfældningstanken konstateret, en gennemsnitlig udløbkoncentration på 179 mg SS/l hvilket indikerer en udvaskning af suspenderet stof (slamflugt).

Dette understøttes af, at afløbskvaliteten for aluminium er målt i intervallet 2,4 – 7 mg/l og dermed over grænseværdien på 0,2 mg/l for aluminium i drikkevand.

På baggrund af ovennævnte resultater er det konkluderet, at den ældre bundfældningstank ikke har en hensigtsmæssig fysisk udformning for opnåelse af en effektiv slamtilbageholdelse og fosforfældning.

På grund af tankens stor vanddybde i tankens 1. kammer er der ikke opnået en optimal opblanding af det tilsatte fældningsmiddel. Endvidere har et for lille volumen i tankens 2. kammer ikke kunnet sikre en tilstrækkelig tilbageholdelse af suspenderet stof, hvilket har givet anledning til slamflugt og udvaskning af fældningsmiddel.

Forsøgsanlægget har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,4 m³ husholdningsspildevand pr. døgn svarende til 3 personers vandforbrug. Den hydrauliske spildevandsbelastning svarer dermed til, hvad der er normalt for en husstand.

Der er ved tømning af bundfældningstanken ikke observeret en forøget flyde- eller bundslammængde.

Afprøvning af et Natur-Ren[®] anlægget

Fosforrensning i et Natur-Ren[®] anlæg er afprøvet i et nyetableret anlæg, udformet efter producentens forskrifter.

Anlæggets principielle udformning svarer til et biologisk sandfilteranlæg dog med den forskel, at størstedelen af filteret er dykket (vandfyldt) og tilfyldt med Filtralite[®] (nedknust brændt ler) i stedet for med filtersand. Herved skabes et anaerobt (iltfrit) miljø i et vandmættet filtermedie.

En mindre del af filteret er etableret oven over det ”dykkede filter” og ventileres via en kuppelbrønd (dome), så der her skabes et aerobt (iltrigt) miljø i et fugtigt filtermedie.

I filterets anaerobe zone strømmer spildevandet horisontalt gennem det dykkede filter, der er tilfyldt med Filtralite-P[®] (nedknust brændt ler med et stort indhold af metalioner og iblandet dolomitkalk), hvorved spildevandets fosforindhold enten bindes eller udfældes i denne del af filteret.

Ved afprøvningen er der konstateret udvaskning af finkornet filtermateriale (filler) og dolomitkalk, som har aflejret sig i ledningssystemet nedstrøms for filteret. Udvaskningen har medført mindre gener for prøveudtagningen samt behov for rensuling af en del af ledningssystemet.

Afløbskvalitet ved Natur-Ren[®] anlægget

Afløbskvaliteten for Total-P samt Ortho-P viser, at Natur-Ren[®] anlægget har kunnet reducere fosforindholdet i spildevandsafløbet til gennemsnitlig 0,1 mg Total P/l. Ingen af de målte værdier overskred 1,5 mg Total-P/l.

Anlægget har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,29 m³ husholdningsspildevand pr. døgn svarende til 2¼ personers vandforbrug.

Afløbskvaliteten for suspenderet stof har i den første halvdel af forsøgsperioden ligget i intervallet 19 – 500 mg/l, præget af udvaskning af svingende mængder af finkornet filtermateriale (filler) og dolomitkalk. I den sidste halvdel er der målt mere stabile koncentrationer i intervallet 3-28 mg/l, hvilket viser, at udvaskningen er stagneret.

I forsøgsperioden er der konstateret en gennemsnitlig udløbkoncentration for total-N på 42,6 mg/l. Den høje værdi er et resultat af, at der midt i forsøgsperioden skete en blokering af filterets afløb med efterfølgende vandspejlsrejsning i filterets aerobe del. Herved blev den begyndende nitrifikation i filteret skadet. Ved forsøgsperiodens udløb viser analyseresultater imidlertid tegn på, at der er genskabt en virkningsfuld nitrifikation.

Natur- Ren[®] anlægget har medført en drastisk stigning i det rensede spildevands alkalinitet samt i pH, der stiger fra ca. 7 til ca. 13. Stigningen tilskrives filtermaterialets indhold af dolomitkalk.

Anlægs- og driftsomkostninger.

Anlægsudgifterne til et nyt biologisk sandfilter med pumpesystem og fosforfældningsudstyr til rensklasse SOP andrager ca. 45.000 kr. inkl. moms men ekskl. udgifter til bundfældningstank.

Af anlægsudgifterne udgør udgifterne til fosforfældningsudstyret ca. 13.000 kr. inkl. moms.

De løbende driftsomkostninger ved anvendelse af fosforfældningsudstyret omfatter elforbrug og forbrug af fældningsmiddel, hvilket andrager en årlig udgift på ca. 150 kr. hhv. ca. 350 kr. inkl. moms.

De samlede anlægsudgifter til et komplet Natur-Ren[®] anlæg til rensklasse SOP beløber sig til ca. 61.000 kr. inkl. moms, men ekskl. bundfældningstank.

Ved etablering af et Natur-Ren[®] anlæg vil der ikke være driftsudgifter.

De 2 anlægstypers levetid skønnes at være 20 år, inden det vil være nødvendig at udskifte filtermaterialet

Afskrives anlæggenes anlægsinvestering over levetiden og indregnes løbende drift- og vedligeholdelsesudgifter, er de årlige gennemsnitsomkostninger på ca. 5.500 kr. inkl. moms for begge rensemetoder.

Konklusion og anbefalinger.

Ved en praktiske afprøvning af et simpelt fældningsudstyr i en ny bundfældningstank etableret foran et nyetableret biologisk sandfilteranlæg, er der målt en afløbskvalitet i udløbet fra sandfilteret på gennemsnitlig 0,4 mg Total-P/l. Ingen af de målte værdier overskred 1,5 mg Total-P/l.

Ved afprøvning af et nyetableret Natur-Ren[®] anlæg har det været muligt, at reducere fosforindholdet i spildevandsafløbet fra anlægget til gennemsnitlig 0,1 mg Total P/l. Ingen af de målte værdier overskred 1,5 mg Total-P/l.

Afprøvningen er gennemført på 3 filteranlæg, og giver dermed ikke statistisk sikkerhed for rensemetodernes generelle effektivitet og driftsstabilitet under varierende hydrauliske eller stofmæssige belastningsforhold.

Da rensresultaterne imidlertid ligger betydelig under det tilsigtede niveau på 1,5 mg Total-P/l er der belæg for at antage, at rensemetoderne også kan sænke fosforindholdet under dette niveau i situationer, hvor spildevandsbelastningen hydraulisk og næringsstofmæssigt er større.

Afprøvning af fældningsudstyret har givet følgende erfaringer:

- bundfældningstankens udformning, volumen og gennemstrømningsforhold er væsentlig for opnåelse af en effektivitet fosforfældning samt tilbageholdelse af suspenderet stof, og bør som minimum opfylde krav som formuleret i Miljøstyrelsens vejledning nr. 3 ”Biologiske sandfiltre op til 30 PE”,
- opblanding af fældningsmidlet i bundfældningstankens klaringszone har afgørende betydning for fældningens effektivitet,
- det simple fældningsudstyr har forestået en driftsikker dosering og opblanding af fældningsmidlet,

- fosforrensningen er effektiv kort tid efter igangsætning af fosforfældningen,
- der er konstateret buffervirkning ved fosforfældning i bundfældningstanken på et biologiske sandfilteranlæg, idet kortvarig stop i dosering af fældningsmiddel ikke medførte en markant stigning i fosforindholdet i udløbet fra anlægget i flere dage efter doseringsstoppet.

I forbindelse med fosforfældning i bundfældningstankene er der ved slamtømning ikke observeret en markant øget bundslammængde. Forsøget har dermed ikke med sikkerhed kunnet eftervise, om fældning af fosfor giver anledning til en øget slammængde.

Ved en praktiske afprøvning af et Natur-Ren[®] anlæg er der med hensyn til etablering, indkøring og 1. års drift opnået følgende erfaringer:

- anlægget kan etableres af en autoriseret kloakmester på baggrund af producentens anvisninger,
- udvaskning af finkornet filtermateriale (filler) og dolomitkalk er betydelig i de første 12 måneder efter idriftsættelsen. Dette kan resultere i generende aflejringer i det nedstrømliggende afløbssystem, såfremt der ikke etableres en brønd med sand-/slamfang på filterets afløb,
- fosforrensningen er effektiv kort tid efter, at anlægget er taget i brug,
- spildevandet afledes med en pH værdi på ca. 13.

De 2 anlægstypers anlægsudgifterne ekskl. bundfældningstank er ved forsøget beregnet til følgende:

- biologisk sandfilter med pumpesystem og fosforfældningsudstyr – 45.000 kr. inkl. moms. Heraf andrager fosforfældningsudstyret 13.000 kr. inkl. moms,
- Natur-Ren[®] anlæg – 61.000 kr. inkl. moms.

Såfremt de 2 anlægstypers anlægsinvestering afskrives over en 20 årig periode, svarende til filtermaterialernes levetid, og der medregnes drift- og vedligeholdelsesudgifter, andrager de årlige gennemsnitsudgifter ca. 5.500 kr. inkl. moms for begge rensemetoder.

Summary and Conclusions

By means of practical tests the project checked two new methods for removal of phosphorus in household wastewater from households situated in a rural zone outside the public sewage catchment area.

The project was realised in the period from September 2000 to September 2001 at three farms.

Purpose

The primary objective was to test whether a phosphorus content of less than 1.5 mg Total-P/l in the treated wastewater can be secured by the two treatment methods.

A sub-objective was to gain experience with simple precipitation equipment to be mounted in settling tanks, including experience with sludge formation and discharge frequency, precipitating phosphorus in these tanks.

Besides, a sub-objective was to gain experience with the establishment, running-in and operation of a Natur-Ren[®] plant where phosphorus is precipitated in a submerged filter filled with the alternative filtering material Filtralite[®] consisting of crushed burnt clay, dolomite lime and phosphorus-connecting metal ions.

Apart from testing the phosphorus treatment capacity of the filter experiences were gained with the effect of the treatment method on the pH value in the treated wastewater.

Finally, it was a sub-objective to elucidate the capital and operational costs involved in the two treatment methods.

Testing of Simple Precipitation Equipment

Testing of the simple equipment for precipitation of phosphorus was carried out in the course of twelve months in a new-established settling tank equipped with three chambers and in an older settling tank with 2 chambers. By means of pumping and gravitation the wastewater outlets from both settling tanks were subsequently led to a sand filter.

The testing of the precipitation equipment in the new-established settling tank was carried out with only minor and unessential operational irregularities.

Testing the older type of settling tank large quantities of bulking sludge was registered throughout the duration of the test with the result that it was impossible to obtain a reliable basis for assessment of the actual effect of the phosphorus precipitation.

Outlet Quality Precipitating Phosphorus in a New-Established Settling Tank

By adding a precipitant in the new-established settling tank an average outlet quality of 0.4 mg Total-P/l was measured in the outlet from the sand filter in the test period. None of the registered values exceeded 1.5 mg Total-P/l.

Besides, an average outlet concentration of 7.3 mg SS/l was registered indicating good retention of suspended solids through the plant.

The outlet quality of aluminium was 0.16 mg/l on average and, thus, below the limit value of 0.2 mg/l for aluminium in drinking water. Consequently, no appreciably increased washing out of the aluminous precipitant added in the inlet to the settling tank was demonstrated.

In the test period an average outlet concentration of 30.8 mg/l for Total-N was demonstrated. At the end of the test period analyses for nitrification were carried out and complete nitrification was demonstrated in the sand filter, which at that time was approx. 1 year old.

In the test period the pilot plant was loaded with an average of 0.12 m³ of household wastewater per day corresponding to the water consumption of one person. Consequently, the hydraulic wastewater load was approx. $\frac{1}{3}$ of the normal load for a household.

During the test and when emptying the sludge volume of the settling tanks no problems with sludge retention were registered. Besides, the volume of floating sludge and bottom sludge was not increased.

Outlet Quality Precipitating Phosphorus in the Older Settling Tank

By adding a precipitant to the older settling tank an outlet quality in the range from 2.3 to 30 mg Total-P/l - with an average of 8.2 mg Total-P/l - was measured in its outlet.

Thus, it was not possible to reduce the phosphorus content to 1.5 mg Total-P/l or below this value. However, in certain periods Ortho-P concentrations of less than 1.5 mg/l were measured indicating that in these periods the phosphorus was precipitated efficiently.

In the outlet from the settling tank an average outlet concentration of 179 mg SS/l was registered indicating washing out of suspended solids (bulking sludge).

This is supported by the fact that the outlet quality for aluminium was measured in the range from 2.4 to 7 mg/l and, thus, above the limit value of 0.2 mg/l for aluminium in drinking water.

Based on the above results it was concluded that the design of the older settling tank was inappropriate for efficient sludge retention and phosphorus precipitation.

Due to the large water depth in the first chamber of the tank optimum mixing of the added precipitant was not achieved. Furthermore, due to the too small volume of the second chamber of the tank sufficient retention of suspended solids could not be secured resulting in bulking sludge and washing out of the precipitant.

In the test period the pilot plant was loaded with an average of 0.4 m³ of household wastewater per day corresponding to the water consumption of

three persons. Consequently, the hydraulic wastewater load corresponds to the normal load for a household.

Emptying the settling tanks, an increased volume of floating sludge and bottom sludge could not be observed.

Testing of a Natur-Ren[®] Plant

Phosphorus treatment in a Natur-Ren[®] plant was tested in a new-established plant designed according to the manufacturer's instructions.

The fundamental design of the plant corresponds to a biological sand filter plant, though with the difference that the main part of the filter is submerged (filled with water) and filled with Filtralite[®] (crushed burnt clay with a large content of metal ions and incorporated dolomite lime) whereby the phosphorus content of the wastewater is either bonded or precipitated in this part of the filter.

Outlet Quality Using a Natur-Ren[®] Plant

The outlet qualities for Total-P and Ortho-P showed that by using the Natur-Ren[®] plant it was possible to reduce the phosphorus content in the wastewater outlet to an average of 0.1 mg Total-P/l. None of the registered values exceeded 1.5 mg Total-P/l.

In the test period the plant was loaded with an average of 0.29 m³ of household wastewater per day corresponding to the water consumption of 2¹/₄ persons.

During the first part of the test period the outlet quality for suspended solids was placed in the range of 19-500 mg/l characterized by washing out of varying quantities of fine-grained filtering material (filler) and dolomite lime. During the last half of the test period more stable concentrations were measured in the range of 3-28 mg/l demonstrating that the washing out was stagnated.

In the test period an average outlet concentration of 42.6 mg/l for Total-N was demonstrated. The reason for the high value was that in the middle of the test period the outlet of the filter blocked resulting in a rise of the water level in the aerobic part of the filter. This damaged the incipient nitrification in the filter. However, at the end of the test period the test results showed signs of regeneration of an effective nitrification.

The Natur-Ren[®] plant drastically increased the alkalinity of the treated wastewater and the pH, which rose from approx. 7 to approx. 13. The increase was attributable to the dolomite lime content of the filtering material.

Capital and Operational Costs

The capital costs of a new biological sand filter, including a pumping system and phosphorus precipitation equipment corresponding to treatment class SOP (abbreviation for "Tightened requirement for reduction of organic matter and nitrification, including reduction of phosphorus" according to guidance No. 4 on "Type Approval Scheme for Small Wastewater Treatment Plants" issued by the Danish Environmental Protection Agency in 1999),

amount to approx. DKK 45,000, incl. VAT (25%) - though exclusive of the costs relating to the settling tank.

The costs of the phosphorus precipitation equipment amount to approx. DKK 13,000 (construction costs), incl. VAT.

Using the phosphorus precipitation equipment, the current operational costs include electricity consumption and consumption of precipitants; i.e. the yearly costs amount to approx. DKK 150 for electricity and to DKK 350 for precipitants - both incl. VAT.

The total capital costs for a complete Natur-Ren[®] plant corresponding to treatment class SOP (see abbreviation above) amount to approx. DKK 61,000, incl. VAT but exclusive of the settling tank.

The establishment of a Natur-Ren[®] plant will not involve operational costs.

The service lives of the two types of plants are estimated at 20 years before the filtering material will have to be replaced.

Provided that the capital investments relating to the plants are depreciated in the course of their service lives and that the operational and maintenance costs are currently included, the yearly average costs for both treatment methods will amount to approx. DKK 5,500, incl. VAT.

Conclusion and Recommendations

Testing in practice the simple precipitation equipment in a new settling tank mounted in front of a new-established biological sand filter plant, an average outlet quality of 0.4 mg Total-P/l was measured in the outlet from the sand filter. None of the registered values exceeded 1.5 mg Total-P/l.

Testing the new-established Natur-Ren[®] plant, it was possible to reduce the phosphorus content in the wastewater outlet from the plant to an average of 0.1 mg Total-P/l. None of the registered values exceeded 1.5 mg Total-P/l.

The test included three filter plants which gives no statistical security for the general efficiency and reliability of the treatment methods under varying hydraulic and substance load conditions.

However, as the treatment results are considerably below the intended level of 1.5 mg Total-P/l, it may rightly be assumed that the treatment methods can lower the phosphorus content below this level in situations when the hydraulic load and the substance load of the wastewater are higher.

Testing the precipitation equipment, the following experiences were gained:

- The design, volume and flow conditions of the settling tank are essential for efficient phosphorus precipitation and retention of suspended solids and should as a minimum meet the requirements of guidance No. 3 on “Biological Sand Filters up to 30 PE “ issued by the Danish Environmental Protection Agency.
- The mixing of the precipitant in the clearing zone of the settling tank is decisive for the efficiency of the precipitation.
- The simple precipitation equipment has performed a reliable dosing and mixing of the precipitant.
- The phosphorus treatment is efficient shortly after the start-up of the phosphorus precipitation.

- Precipitating phosphorus in the settling tank of a biological sand filter plant, buffering was registered as a short-time dosing stop of the precipitant did not result in a distinctive increase of the phosphorus content in the outlet from the plant for several days after the dosing stop.

Emptying the settling tanks of sludge, a distinctively increased bottom sludge quantity could not be observed. Consequently, the test could not with certainty document whether precipitation of phosphorus causes an increased sludge quantity.

The following experiences with respect to establishment, running-in and 1 year of operation were gained during the practical testing of the Natur-Ren[®] plant:

- An authorised sewer contractor can establish the plant on the basis of the manufacturer's instructions.
- The washing out of fine-grained filtering material (filler) and dolomite lime is considerable during the first twelve months after commissioning. This may result in inconvenient deposits in the downstream sewer system if the establishment of a well with a sand / silt trap at the outlet of the filter is omitted.
- The phosphorus treatment is efficient shortly after the plant has been put into operation.
- The wastewater is discharged with a pH value of approx. 13.

The capital costs related to the two types of plants - excl. the settling tank - were estimated as follows:

- Biological sand filter, including a pumping system and phosphorus precipitation equipment - DKK 45,000, incl. VAT; of this the phosphorus precipitation equipment amounts to DKK 13,000, incl. VAT.
- Natur-Ren[®] plant - DKK 61,000, incl. VAT.

Provided that the capital investments relating to the plants are depreciated in a 20-year period - corresponding to service lives of the filtering materials - and that the operational and maintenance costs are included, the yearly average costs for both treatment methods will amount to approx. DKK 5,500, incl. VAT.

1 Baggrund og formål

1.1 BAGGRUND

Biologiske sandfiltre er én af de lavteknologiske rensemetoder, der traditionelt benyttes til rensning af spildevand fra spredt bebyggelse i det åbne land.

I følge ”Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 3/1999 – Biologiske sandfiltre op til 30 PE” opfylder biologiske sandfiltre rensklasse O (reduktion af organisk stof) og SO (skærpet krav til reduktion af organisk stof samt nitrifikation), men ikke rensklasse OP og SOP, der stilles krav til reduktion for fosfor (P).

Ved søoplunde stiller recipientmyndigheden ofte krav om spildevandsrensning til rensklasse SOP (skærpet krav til reduktion af organisk stof og fosfor samt nitrifikation) herunder krav om reduktion af fosfor til et niveau på 1,5 mg/l eller mindre.

Da biologiske sandfiltre ikke renser tilstrækkeligt for fosfor, kan denne lavteknologiske rens metode ikke umiddelbart anvendes på disse lokaliteter. Kan biologiske sandfiltre imidlertid suppleres med udstyr for fjernelse eller tilbageholdelse af fosfor, bliver denne lavteknologiske rens metode pludselig attraktiv for et meget stort antal landejendomme.

Fosforfjernelse kan med kendte og traditionelle teknikker udføres ved fældning under anvendelse af et fældningsmiddel eller ved tilbageholdelse gennem adsorption (kemisk binding) i et filtermedie, som indeholder sådanne kemiske egenskaber.

Med hensyn til fældning har Miljøstyrelsen i arbejdsrapport nr. 41 fra 1992 udarbejdet et skitseprojekt for fældning af fosfor i septiktanke ved dosering af flydende fældningsmiddel. Skitseprojekt har været udgangspunkt for det praktiske forsøg, som beskrives i denne rapport. I den forbindelse er der udviklet et simpelt udstyr for tilsætning og opblanding af flydende fældningsmiddel i bundfældningstanken på 2 forskellige landejendomme, hvor spildevandet efterfølgende renses i et biologisk sandfilter.

Den under forsøget benyttede fældningsmetode, doseringsudstyr, og den praktiske udførelse er udviklet i samarbejde med Kemira Miljø A/S.

Med hensyn til adsorption af fosfor er der i Norge i 1990 udviklet en metode, som har været afprøvet af Jordforsk - Senter for jordfaglig miljøforskning. Metoden har givet baggrund for udvikling af det såkaldte Natur-Ren[®] anlæg, der i sin opbygning og størrelse ligner et biologisk sandfilteranlæg, men i stedet for sand benyttes Filtralite[®], som er brændt og knust ler tilsat fosforbindende metalioner og dolomitkalk.

Natur-Ren[®] anlæg er kendetegnet ved, at en stor del af filtervoluminet er etableret som et dykket (vandfyldt/anaerobt) filter.

Projektet afprøver under danske forhold et Natur-Ren[®] anlæg med Filtralite[®] etableret efter de norske retningslinier. I den forbindelse har den danske importør af Filtralite[®] produktet, Bokn-Gruppen, medvirket ved dimensionering og anvisninger for etableringen af forsøgsanlægget.

1.2 FORMÅL

Det har været projektets overordnede mål i forbindelse med biologiske filtre at afprøve fældning og tilbageholdelse af fosfor med nyere fældningsmidler henholdsvis det alternative filtermedie Filtralite[®].

Målet var under praktiske forhold at eftervise, hvor meget fosforindholdet i husholdningsspildevand derved kan reduceres, og om en reduktion til under 1,5 mg fosfor/l i afløbet var realistisk.

Som delmål har det endvidere været ønsket:

- at tilvejebringe erfaringer med et simpelt fældningsudstyr monteret i en 3-kammer bundfældningstank af nyere type såvel som i en 2-kammer bundfældningstank af ældre type,
- at drage erfaringer med slamdannelsen og dermed bundfældningstankens tømningsinterval ved fældning af fosfor heri,
- at etablere et Natur-Ren[®] anlæg og drage praktiske erfaringer med dets etablering, indkøring og drift,
- at belyse de økonomiske forhold med hensyn til anlægs- og driftsomkostninger ved de 2 metoder.

2 Undersøgellesprogram

2.1 GENERELT

Undersøgellesprogrammet er koncentreret om en praktisk afprøvning af de 2 metoder til fjernelse af fosfor under danske forhold. Der er i den forbindelse taget udgangspunkt i tilgængelige myndighedsforskrifter, resultater og anbefalinger fra tidligere undersøgelser udført af Miljøstyrelsen samt praktisk viden og erfaring, som de i projektet deltagende parter har været i besiddelse af.

2.2 UDVÆLGELSE AF ANLÆG

Det blev tilstræbt at finde 2 egnede landejendomme med biologiske sandfiltre i drift samt en landejendom, hvor det var muligt at etablere et Natur-Ren[®] anlæg.

Følgende kriterier blev lagt til grund for udvælgelse af de biologiske sandfilteranlæg:

- anlægget skulle være etableret på en landejendom, og modtage separatkloakeret spildevand fra én gennemsnitlig husstand (2 voksne og 2 børn)
- der skulle forefindes en bundfældningstank, som overholdt gældende myndighedskrav til rumfang og indretning
- ejendommens vandforbrug til husholdning inkl. tøjvask skulle kunne måles løbende på et vandur.
- anlægget skulle så vidt mulig være opbygget i overensstemmelse med Miljøstyrelsens vejledning nr. 3, 1999

Det viste sig mod forventning svært at finde anlæg, som kunne opfylde alle ovennævnte kriterier. Det blev derfor besluttet at foretage afprøvningen på en ejendom med et ældre biologisk sandfilter i drift og på en ejendom med et helt nyetableret biologisk sandfilter med tilhørende ny bundfældningstank.

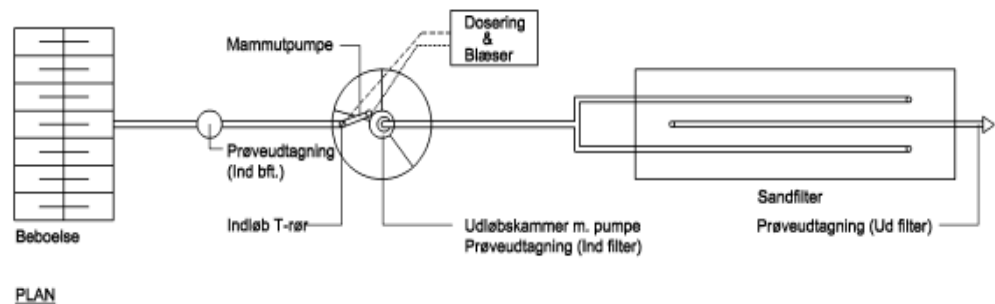
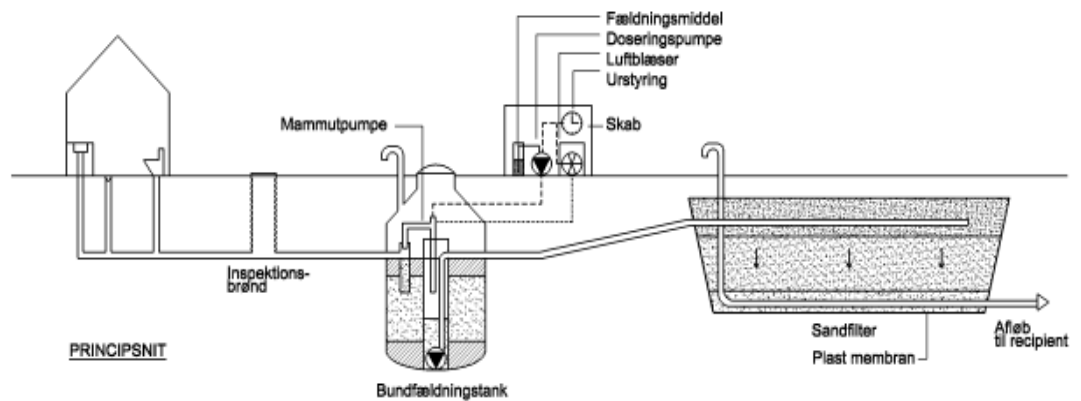
Med hensyn til etablering af et Natur-Ren[®] anlæg blev de 3 første af ovennævnte kriterier anvendt.

2.3 BESKRIVELSE AF DE UDVALGTE ANLÆG

2.3.1 Nyt biologisk sandfilteranlæg med pumpesystem

Det udvalgte anlæg er etableret i september 2000 i forbindelse med en total fornyelse af afløbssystemet på en nedlagt landbrugsejendom. Anlægget tilledes kun spildevand fra ejendommens husholdning, idet regn- og drænvand afledes via et separat rørsystem.

Anlæggets principielle udformning er illustreret på Figur 1.



FIGUR 1: NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM

Det rensede spildevand udledes i en mindre sø på ejendommen, hvorfra det nedsiver til undergrunden eller afledes til en drænledning, såfremt vandspejlet stiger til et maksimalt niveau.

Spildevandet tilledes indledningsvis en præfabrikeret 3-kammer bundfældningstank af glasfiberarmeret polyester med 2 m³ volumen, hvor flydende og bundfældelig indhold tilbageholdes. Midt i bundfældningstanken er der placeret et pumpekammer med en dykpumpe, hvormed spildevandet periodisk oppumpes (stødbelastning) på det biologiske sandfilter.

Før bundfældningstanken er der etableret en inspektionsbrønd med mulighed for udtagning af vandprøver. Det er endvidere muligt at udtage vandprøver i pumpebrønden samt på afløbsledningen fra det biologiske sandfilter. Hermed er det muligt at fastlægge renseeffekten i bundfældningstanken såvel som i det biologiske filter.

Det biologiske sandfilteret er opbygget efter de retningslinierne, som er udstukket for anlæg til 0-5 personer jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 3, 1999, "Biologiske sandfiltre op til 30 PE".

Som sikkerhed mod ind- og udsivning er der om sandfilteret etableret en 0,5 mm LDPE membran med geotekstil som ud- og indvendig beskyttelse mod perforering.

Der er anvendt vaskede nøddesten som drænlag i bunden af anlægget adskilt fra filtersandet med et tyndt geotekstil.

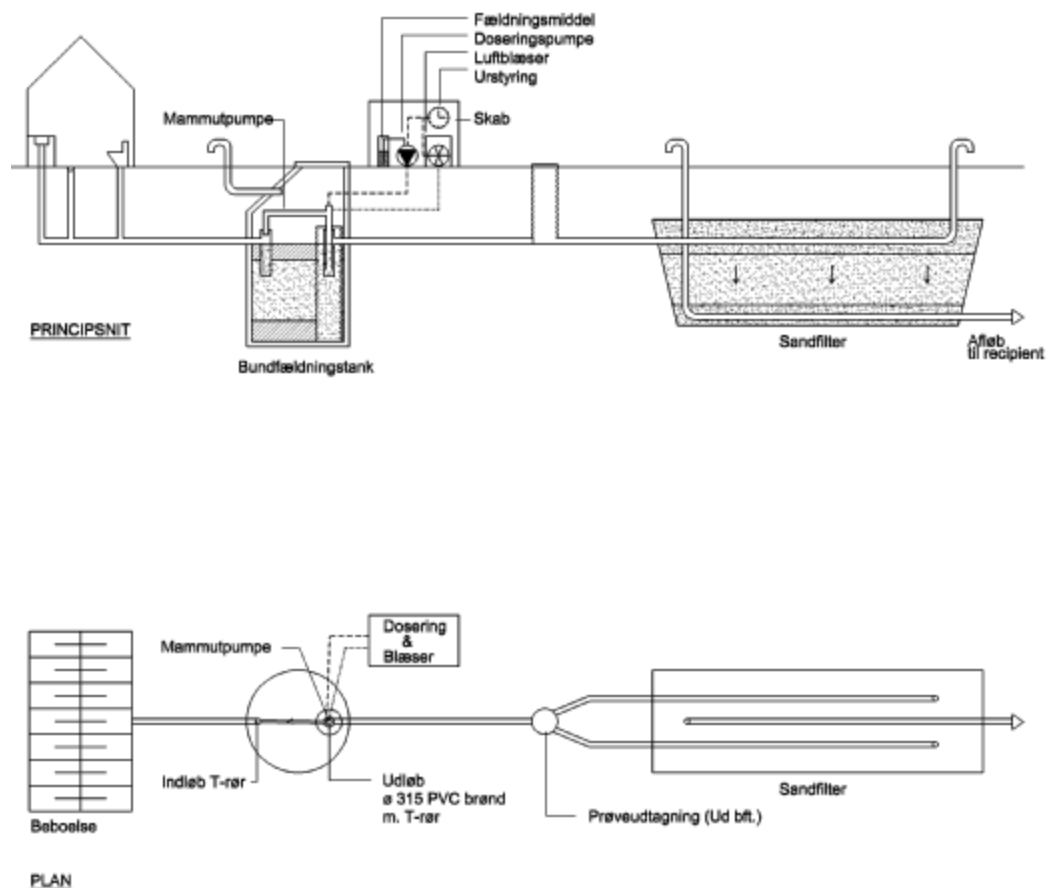
Som filtersand er der anvendt et grusmateriale med 2-4 mm kornstørrelse, et uensformighedstal $U=2,2$ og en kornkurve i øvrigt som foreskrevet i vejledningen.

Over filtersandet er der udlagt et fordelerlag af vaskede nøddesten, hvori de 2 trykfordelingsrør er placeret. Der er udlagt geotekstil over fordelerlaget inden muldjord er udlagt som frostsikring af filteret.

2.3.2 Ældre biologisk sandfilter med gravitation

Det udvalgte anlæg er anlagt i 1991 i forbindelse med fornyelse af afløbssystemet på en landejendom. Anlægget tilledes kun spildevand fra ejendommens husholdning, idet regn- og drænvand afledes via et separat rørsystem.

Anlæggets principielle udformning er illustreret på Figur 2.



FIGUR 2: ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION

Spildevandet tilledes indledningsvis en 2-kammer bundfældningstank opbygget af $\varnothing 1250$ mm betonbrøndgods, hvor andetkammeret er en brøndindsats af 315 mm korrugeret PVC rør. En konstruktion, som var udbredt på etableringstidspunktet, før præfabrikerede bundfældningstanke vandt indpas.

Bundfældningstankens 1. og 2. kammer har et volumen på $2,39 \text{ m}^3$ hhv. $0,15 \text{ m}^3$ svarende til en volumenfordeling på 94% mod 6%.

Spildevand fra bundfældningstanken tilledes det biologiske sandfilter ved gravitation via en fordelerbrønd og 2 fordelingsrør. Fordelerbrønd, -rør og sandfilter er udført efter de forskrifter og myndighedskrav, som var gældende på udførelsestidspunktet.

Der er ikke etableret membran omkring sandfilteret, hvorved hovedparten af det tilførte spildevand nedsiver fra sandfilteret. Der er dog etableret et drænafløb i bunden af sandfilteret. Drænafløbet er tilsluttet et eksisterende markdræn, og virker således som en sikring mod opstuvning i det biologiske sandfilter.

Med ovennævnte anlægsudformning er det på anlægget kun muligt at udtage prøver fra spildevandsudløbet fra bundfældningstanken. Renseeffekten i sandfilteret og en eventuel restfældning af fosfor her har det således ikke været mulig at undersøge i forbindelse med forsøget.

2.3.3 Natur-Ren[®] anlæg

Det udvalgte anlæg er anlagt i august 2000 i forbindelse med fornyelse af afløbssystemet fra beboelsen på et nedlagt gartneri. Anlægget tilledes kun spildevand fra ejendommens husholdning, idet regn- og drænvand afledes via et separat rørsystem.

Anlæggets principielle udformning er illustreret på Figur 3. Størstedelen af filteret er dykket (vandfyldt) og tilfyldt med Filtralite[®] materiale. Herved skabes et anaerobt (iltfrit) miljø i et vandmættet medie.

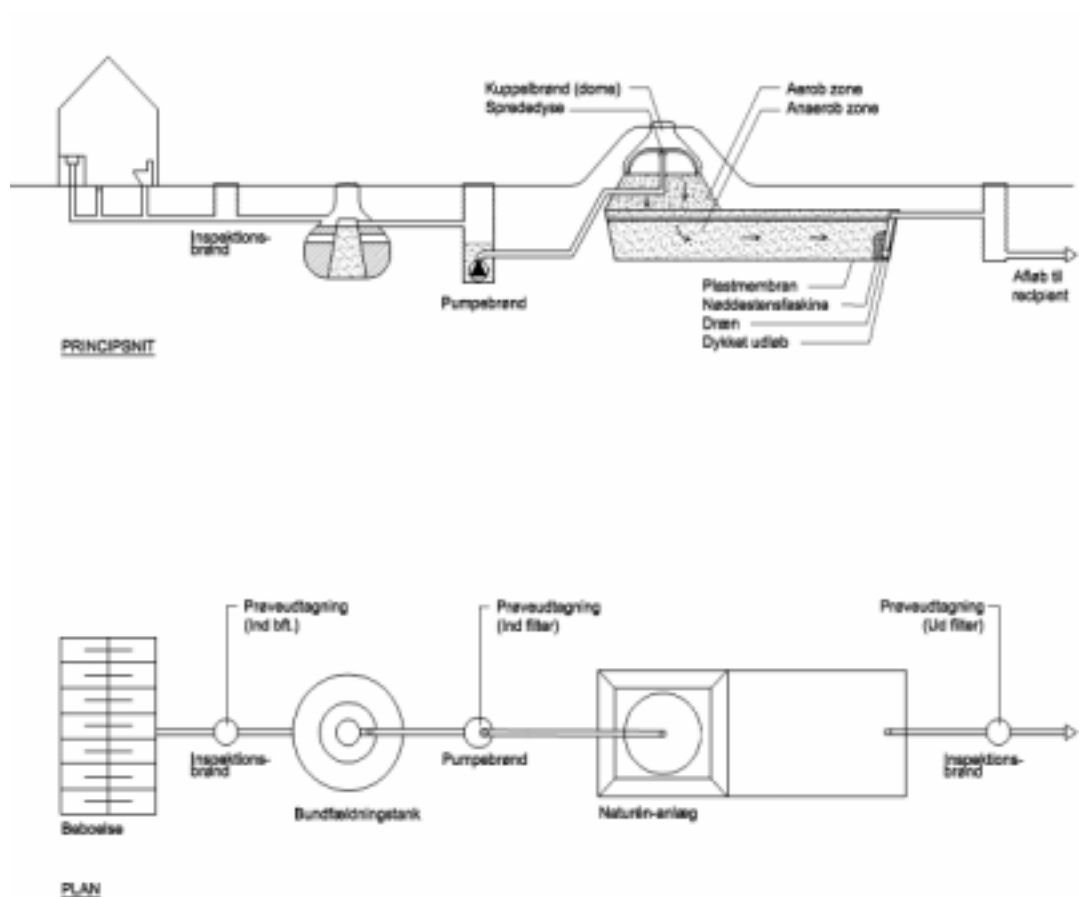
En mindre del af filteret er etableret oven over det ”dykkede filter” og ventileres via en kuppelbrønd (dome), så der her skabes et aerobt (iltrigt) miljø i et fugtigt medie.

Omkring filteret er der svøbt en tæt plastmembran, så udsivning af spildevand ikke forekommer.

I filteret anvendes følgende typer Filtralite[®]:

- Ca. 3 m^3 Filtralite[®] type 2-4 anvendes i filterets aerobe del, og består af brændte runde lerkorn med 2–4 mm's diameter og en rumvægt på 300–400 kg/m^3 .
- Ca. 25 m^3 Filtralite-P[®] type 0-4 anvendes i filterets anaerobe del. Materialet består af brændt og nedknust ler med 1–4 mm.'s diameter og en rumvægt på ca. 600 kg/m^3 , tilsat fosforbindende metalioner og dolomitkalk.

Det forrensede spildevand fra bundfældningstanken pumpes over på filteranlægget, hvor en sprededyse placeret i kuppelbrønden fordeler spildevandet ensartet over den aerobe del af filterarealet.



FIGUR 3: NATUR-REN[®] ANLÆG

Tilførslen af forurenset spildevand sker med intervaller, styret af en niveauføler og pumpeautomatik i pumpebrønden. Belastningsfrekvensen afhænger af aktiviteten i husstanden og vil være størst i morgen og aften timerne. Pumpen aktiveres typisk ca. 30 gange i døgnet ved normale belastningsforhold.

Fordeling af spildevandet ved udspredding i kuppelbrønden og intervalmæssig indpumpning øger opholdstiden i den aerobe behandlingsdel. Dette tilgodeser nitrifikation samt nedbrydning af organisk stof.

I filterets anaerobe zone strømmer spildevandet horisontalt gennem det dykkede filter, som er tilfyldt med Filtralite-P[®] type 0-4. Materialets indhold af korn med et indhold af metalioner samt dolomitkalk bevirker, at spildevandets fosforindhold bindes eller udfældes i denne del af filteret.

Med det dykkede udløbsrørs placering i filterets afløbsende fastholdes et konstant vandspejlsniveau i den anaerobe zone. Udløbsrøret er udført som et tæt plastrør, der er ført ned til bunden af den anaerobe zone. Her tilsluttes udløbsrøret et drænrør nedlagt i en nøddestensfaskine i hele filterets bredde.

Herved bortledes det rensede spildevand fra hele filterets tværsnit, hvorved der tilvejebringes en jævn horisontal gennemstrømningen i den anaerobe zone. Udløbsrøret føres vandtæt gennem plastmembranen, så spildevand ikke undslipper filteret.

Inden det rensede spildevand ledes til recipienten, passerer det en prøveudtagningsbrønd.

2.4 PRØVEUDTAGNING

Prøveudtagning er på samtlige 3 forsøgsanlæg foretaget af et DANAK akkrediteret laboratorium.

Samtlige spildevandsprøver er udtaget med automatiske prøveudtagere, som over et døgn har udtaget tidsproportionale delprøver. Disse er sammenstukket til en blandingsprøve, som er bragt til laboratorium og her analyseret for de parametre, som analyseprogrammet har foreskrevet.

Der er på alle 3 anlæg udtaget spildevandsprøver efter bundfældningstanken. Desuden er der udtaget spildevandsprøver på afløbet fra det biologiske sandfilter med pumpesystem og på afløbet fra Natur-Ren[®] anlægget.

Udtagning af repræsentative prøver på tilløbet til bundfældningstankene blev indledningsvis forsøgt men opgivet, da prøveudtagernes sugeslanger generelt blev blokeret af toiletpapir. På den baggrund er det kun lykket at udtage enkelte spildevandsprøver før bundfældningstankene.

Udtagning af spildevandsprøver i de øvrige udtagningspunkter forløb uden tilstopningsproblemer. Slamaflejringer i prøveudtagningsbrøndenes bundløb har imidlertid givet anledning til problemer, idet prøveudtageren indleder en prøveudtagning med at spule sugeslangen ren ved at returpumpe det spildevand, som henstår i sugeslangen fra sidste oppumpning. Returspulingen kan ophvirvle eventuel bundfældet slam i prøveudtagningsbrønden, hvormed der ikke udtages retvisende spildevandsprøver.

Det pågældende problem gav under forsøgsperioden anledning til, at der ved prøveudtagning blev indsat spande med et lille volumen under indløbet i prøveudtagningsbrøndene. Sugelangen blev herefter nedsænket i spanden med god afstand til bunden. Med denne konstruktion kunne tilløbet holde spanden fri for bundfald samtidig med, at der var tilstrækkelig volumen for opugning af spildevandsprøver.

2.5 ANALYSEPROGRAM

Alle analyser af de udtagne spildevandsprøver er udført af det samme laboratorium, som har forestået prøveudtagningen.

For samtlige 3 forsøgsanlæg er der udarbejdet et program for systematisk udtagning og analyse af spildevandsprøver. Prøveudtagningsfrekvensen og analyseomfanget kan aflæses på bilag 1, 2 og 3.

Programmet tager udgangspunkt i det forslag, som er opstillet i Arbejdsrapport nr. 41 fra Miljøstyrelsen. Undersøelsesperioden er dog udvidet til at omfatte ét år, svarende til den tømningscyklus der benyttes ved mange tømningsskemaer for bundfældningstanke ved private husstande.

Af økonomiske årsager har programmet for det ældre biologiske sandfilter med gravitation indeholdt et reduceret antal prøveudtagninger og analyser.

2.6 SPILDEVANDBELASTNING

På alle forsøgsanlæg har ejeren foretaget regelmæssig aflæsning af ejendommens vandur.

Hermed fastlægges husstandens omtrentlige spildevandsproduktion, idet større vandforbrug anvendt til havevanding, bilvask eller lignende ”ikke spildevandsproducerende” formål er modregnet af ejeren i forbindelse med vandurets aflæsning.

I de 3 forsøgsanlægs husholdninger anvendes endvidere almindelige fosforholdige vaskemidler.

På alle ejendomme er afløbsinstallation nyligt renoveret og sanitet udskiftet til nutidig installation. Fejltilkobling af regn og drænvand forekommer ikke og indsivning i afløbssystemet er meget begrænset.

3 Fosforrensning i forsøgsanlæggene

3.1 FÆLDNING AF FOSFOR VED BIOLOGISK SANDFILTER

3.1.1 Fældningsudstyr

Der er i forbindelse med forsøget udviklet et simpelt udstyr til dosering af fosforfældningsmiddel. Udstyret består af en mammutpumpe installeret i bundfældningstanken samt et skab placeret på terræn monteret med en luftblæser, doseringspumpe, styringsautomatik samt dunk med fosforfældningsmiddel.

Mammutpumpen er fremstillet af plastrør og monteret i bundfældningstankens udløbskammer, hvorfra den pumper en lille vandmængde retur til det punkt, hvor urensede spildevand tilledes bundfældningstankens førstekammer.

Det flydende fældningsmiddel tilsættes den returpumpede delstrøm vha. doseringspumpen. Herved opnås en god opblanding i delstrømmens iltrige vand inden sammenblanding med det urensede spildevand i indløbet til bundfældningstanken.

Fældningsmidlet doseres med en doseringspumpe styret af et tidsur, hvorved doseringen kan varieres hen over døgnet med ekstra dosering i morgen- og aftentimerne, hvor tilledningen af spildevand til bundfældningstanken erfaringsmæssig er størst, og med lavere dosering i nattetimerne.

Mammutpumpens returpumpning medfører et højt iltindhold i bundfældningstankens spildevand og dermed et højt redoxtal, hvilket skaber en effektiv fældningsproces.

Den lille luftblæser, der forsyner mammutpumpen med luft, indstilles, så der skabes en passende rolig væskestrøm, som ikke medfører generende turbulenser, der kan hæmme tilbageholdelse og bundfældningen af flyde- hhv. bundfældelig slam i bundfældningstankens 1.-kammer.

Mammutpumpen er monteret, så løftehøjden er mindst mulig, idet afgangsrøret er placeret så tæt på vandspejlet som muligt. Hvis løftehøjden gøres for stor, er der risiko for, at den indblæste luft trænger ud gennem bunden af mammutpumpen, hvilket ophvirvler bundslam. Længden af mammutpumpens neddykning er endvidere afpasset den aktuelle bundfældningstank, så bunden af pumperøret er placeret i tankens klaringszone.

3.1.2 Valg af fældningsmiddel

Som fældningsmiddel er anvendt et flydende fældningsmiddel, fabrikat KEMIRA, type PAX 14, der er et polyaluminiumsklorid (Al^{+++}), med 7,2 % Al i brugsopløsningen.

Aluminiumsproduktet er valgt, da det erfaringsmæssigt giver en bedre sikkerhed mod genopløsning af udfældet fosfor end fældningsmidler baseret på jern.

3.1.3 Dosering af fældningsmiddel

Fældningsmidlet doseres i forhold til husstandens spildevandsmængde og det deri forventede gennemsnitlige fosforindhold.

Fældning af 10 mg P/l forbruger ca. 100 ml PAX 14 opløsning/m³ spildevand. Hvis en husstand f.eks. udleder 130 m³ spildevand pr. år med et for husholdningsspildevand typisk fosforindhold, svarer det til et teoretisk årligt forbrug på 13 liter fældningsmiddel.

Det er imidlertid nødvendigt med et overskud af fældningsmiddel for at sikre en tilfredsstillende fældningsproces. Der er derfor under nærværende forsøg foretaget en ”overdosering” af fældningsmiddel, idet der er anvendt ca. 35 liter fældningsmiddel pr år til en husstand på 5 PE.

Et eventuelt overskud af fældningsmiddel ledes med ud i filtersandet og vil her medføre en yderligere fældning af eventuelle fosforrester.

Sandfilteret vil således også fungere som buffer ved pludselig spidsbelastning.

3.1.4 Slamproduktion ved dosering af fældningsmiddel

Den teoretiske slamproduktion ved kemisk fældning kan beregnes på grundlag af det anvendte fældningsmiddel. For PAX 14 er vådslamproduktionen 0,4 kg tørstof pr kg fældningsmiddel. Ved dosering af 35 l fældningsmiddel medfører dette, at slamudskillelse i bundfældningstanken teoretisk vil øges med ca. 20 kg slamtørstof.

Volumenet af den ekstra slamproduktion ved kemisk fældning kan imidlertid ikke umiddelbart beregnes, da den biologiske omsætning i kemisk fældet slam er væsentlig større end i slam, der er fældet mekanisk. Den større biologiske omsætning er blandt andet fremskyndet af den højere partikelæthed, som opnås i kemisk fældet slam, hvor de forskelligt ladede slampartikler flokkulere bedre og sedimentere slam med mindre partikelstørrelse.

Slammets flokkulering og omsætning er i øvrigt afhængigt af spildevandets øvrige egenskaber, som er bestemt af en lang række faktorer, der erfaringsmæssigt varierer betydeligt fra husstand til husstand.

Det er derfor ikke muligt at beregne, i hvilket omfang den faktiske slammængde forøges ved kemisk fældning i bundfældningstanke. På baggrund af sparsomme danske erfaringer samt erfaringer fra lignende praktiske forsøg i Norge og Sverige er der ikke observeret en nævneværdig forøgelse af slammængden ved kemisk fældning af fosfor i bundfældningstanke.

3.2 TILBAGEHOLDELSE AF FOSFOR I NATUR-REN[®] ANLÆG

3.2.1 Kemisk binding af fosfor til Filtralite[®]

Filtralite[®] produceres af Optiroc på grundlag af et sintret og derved ekspanderet lerprodukt. Materialet er kendetegnet ved en høj porøsitet, lav

densitet (300-600 kg/m³) og stor trykstyrke, og velkendt som filtermedie i mange sammenhænge.

Filtralite-P[®] produceres ved nedknusning og tilsætning af metalioner og dolomitkalk. Herved tilvejebringes korn med 1-4 mm's diameter og med et meget stort overfladeareal, da det oprindelige materiales store indre mikroporevolumen bliver blotlagt i de knuste korns overflade.

Ved produktionsprocessen fæstnes metalioner i form af oxider samt dolomitkalk på kornenes overflade, der på grund af det store porevolumen er meget betragtelig regnet i forhold til de enkelte korns ringe størrelse. Dette bevirker, at fosfor bindes til kornene eller udfældes i filtermediet. Metalionerne forbruges herved gradvis, og den bundne eller fældede fosfor ophobes tilsvarende i filteret.

Ud fra norsk dimensioneringspraksis, teoretiske beregninger og producentens hidtil opsamlede erfaringer påregnes en fældningseffekt og dermed levetid på Filtralite[®] materialet på minimum 20 år ved tilledning af normalt sammensat husholdningsspildevand fra en husstand på 5 PE.

Når filtermaterialets fosforrensningsevne er opbrugt, skal det udskiftes.

4 Forsøgsanlæggenes drift i forsøgsperioden

4.1 NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM

Fosforfældningsudstyret blev idriftsat umiddelbart efter, at det nyetablerede anlæg var taget i brug af ejeren.

Ved udtagning af spildevandsprøver i tilløbet til bundfældningstanken blev prøveudtagningen fejlbehæftet pga. tilstopning af prøveudtagerens sugeslange. Efter gentagende mislykkede prøveudtagninger blev øvrige planlagte prøveudtagninger i tilløbet opgivet.

I forsøgsperiodens forekom der mellem 29. november 2000 og 17. februar 2001 pga. store nedbørsmængder en vandrejsning i den sø, hvortil sandfilteret har afløb. Dette bevirkede, at spildevand ikke kunne afstrømme frit men stuede op over bundløbet i den prøveudtagningsbrønd, der er etableret på afløbet fra sandfilteret.

Prøveudtagning i udløb fra sandfilteret blev i det nævnte tidsrum omlagt til udløbet fra bundfældningstanken.

I perioden 27. juli – 5. august 2001 var doseringen af fældningsmiddel ikke virksom, da et lynnedslag i forsøgsanlæggets elinstallation gav anledning til havari på doseringspumpen.

I forsøgsperioden er der i bundfældningstanken ikke observeret problemer med flydeslam eller med bundfældning af slam.

Ved forsøgsperiodens afslutning blev der foretaget tømning af bundfældningstanken. Det opsugede bundslam var volumenmæssig ikke større eller mindre end, hvad der normalt forekommer ved tømning af en bundfældningstank.

4.2 ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION

Fosforfældningsudstyret blev installeret og idriftsat umiddelbart efter, at den eksisterende bundfældningstank var blevet tømt for slam. 1. prøveudtagning blev foretaget ca. 1 måned efter slamtømningen.

Der blev fra prøveudtagningens igangsætning registreret højt indhold af suspenderet stof i de udtagne spildevandsprøver, og i hele forsøgsperioden er der ved prøveudtagningen i bundfældningstankens udløb observeret slamflugt.

Fældningsudstyrets udformning og placering er ændret flere gange i forsøg på at reducere slamflugten, men uden synlig resultat.

Ved forsøgsperiodens afslutning blev der foretaget tømning af bundfældningstanken. Det opsugede bundslam var volumenmæssig ikke større eller mindre end, hvad der normalt forekommer ved tømning af en bundfældningstank.

4.3 NATUR-REN[®] ANLÆG

I perioden frem til den 17. februar 2001 var der problemer med at gennemføre repræsentative prøveudtagninger pga. udvaskning af finkornet materiale (filler) og kalk fra filtermaterialet, som afstedkom aflejringer i prøveudtagningsbrønden.

Problemet blev løst ved, at der blev sat en spand under indløbet i brønden. Heri blev prøveudtagerens sugeslange nedsænket, hvorved der under prøveudtagningen kunne opsuges spildevandsprøver med et retvisende indhold af suspenderet stof.

20. marts 2001 blev det observeret, at vintervejrliget havde medført, at afløbet fra Natur-ren[®] anlægget var blokeret af is. Blokeringen blev afhjulpet ved spuling, men optrådte igen få dage senere.

Blokeringerne medførte en så kraftig vandspejlsrejsning i anlægget, at spildevandet stuede op til oversiden af filtermaterialet i anlæggets kuppelbrønd. Anlæggets aerobe zone blev dermed oversvømmet (vandmættet) i et kort tidsrum.

I begyndelsen af august 2001 gav udvaskning af finkornet materiale og dolomitkalk igen anledning til opstuvning i prøveudtagningsbrønden. Opstuvningen generede ikke det frie afløb fra Natur-ren[®] anlægget, og blev afhjulpet ved spuling af afløbsrøret nedstrøms for anlægget.

5 Analyseresultater for sandfiltre

5.1 NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM

5.1.1 Generelt om resultaterne

Fra forsøgsperioden september 2000 – september 2001 foreligger de i bilag 1 viste resultater fra i alt 2 prøver fra indløbet til bundfældningstanken, 9 prøver fra tilløbet til sandfilteret samt 25 prøver fra sandfilterets udløb.

Belastning af anlægget i forsøgsperioden

Ejendommens vandforbrug har i forsøgsperioden været på 38,5 m³, hvilket svarer til et gennemsnitligt vandforbrug på 0,12 m³/døgn.

Sammenholdt med et gennemsnitlig vandforbrug på 131 l/person/døgn jf. ”Vandforsyningsstatistik 2000 – Danske Vandværkers Forening” svarer ejendommens vandforbrug til lidt under 1 persons gennemsnitlige vandforbrug. Husstanden har dermed haft et lavt vandforbrug, som kun svarer til 1/3 af det vandforbrug, der gennemsnitlig anvendes i en husstand med 2 voksne og 1 barn.

I forsøgsperioden er der målt følgende afløbskvalitet i udløbet fra bundfældningstanken samt i udløbet fra sandfilteret:

TABEL 1: ANALYSERESULTATER (UDLØB BUNDFÆLDNINGSTANK)

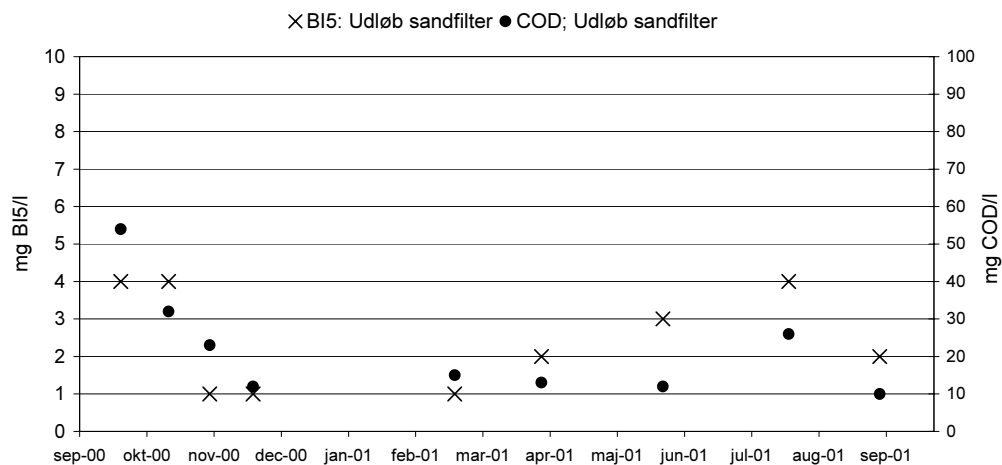
Målte værdier	Bl ₅	COD	Total N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Total P	SS
Antal målinger [stk.]	4	2	4	3	3	8	8	8
Max Værdi [mg/l]	180	95	60	52	0,57	4	6,3	120
Min Værdi [mg/l]	33	85	31	23	0,2	0,014	0,5	21
Gennemsnitsværdi [mg/l]	91	90	44	38	0,3	0,6	2,2	42

TABEL 2: UDLØBSRESULTATER (UDLØB FRA SANDFILTER)

Målte værdier	Bl ₅	COD	Total N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Total P	SS
Antal målinger [stk.]	9	9	9	2	3	25	25	25
Max Værdi [mg/l]	4	54	60	0,22	56	1,2	1,2	24
Min Værdi [mg/l]	1	10	7,9	0,03	21	0,04	0,094	3
Gennemsnitsværdi [mg/l]	2,4	22	31	0,13	37	0,3	0,4	7,3
Ønskelig værdi [mg/l]	-	-	-	-	-	-	1,5	-

I perioden fra d. 29.11.00 til d. 17.02.01 har det ikke været muligt at udtage prøver fra sandfilterets udløb på grund af tilbagestuvning fra recipienten.

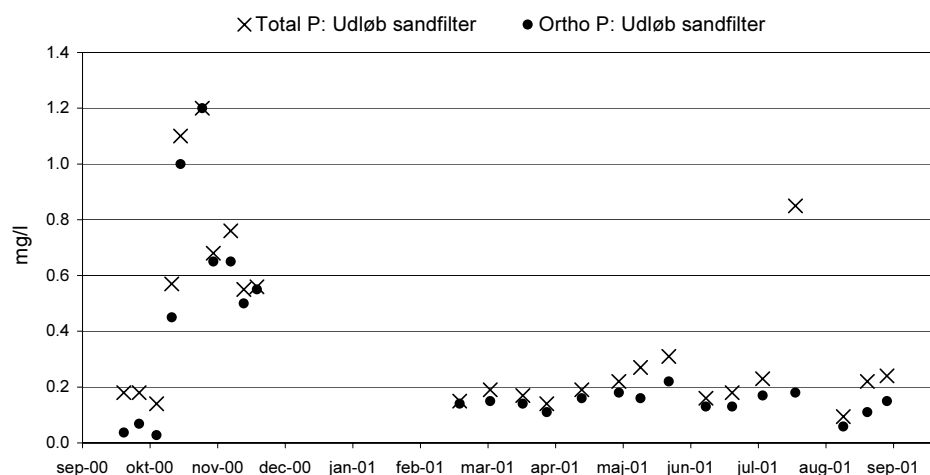
Bearbejdning af resultater



FIGUR 4: UDLØBSKONCENTRATION AF BI₅ OG COD FRA SANDFILTER.

Af figur 4 og tabel 2 ses, at anlægget har vist stabile afløbsresultater i intervallet 1-4 mg BI₅/l for organisk stof målt som BI₅. Sandfilterets gennemsnitlige rensegrad for BI₅ har i forsøgsperioden ligget på 97 %.

I henhold til ”Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 29, 1992, Biologiske sandfiltre” ligger koncentrationen af BI₅ i udløbet fra sandfiltre typisk på 5-10 mg/l. Der er hermed sket en god biologisk rensning i filteret.



FIGUR 5: UDLØBSKONCENTRATION AF TOTAL FOSFOR OG ORTHO-P FRA SANDFILTER.

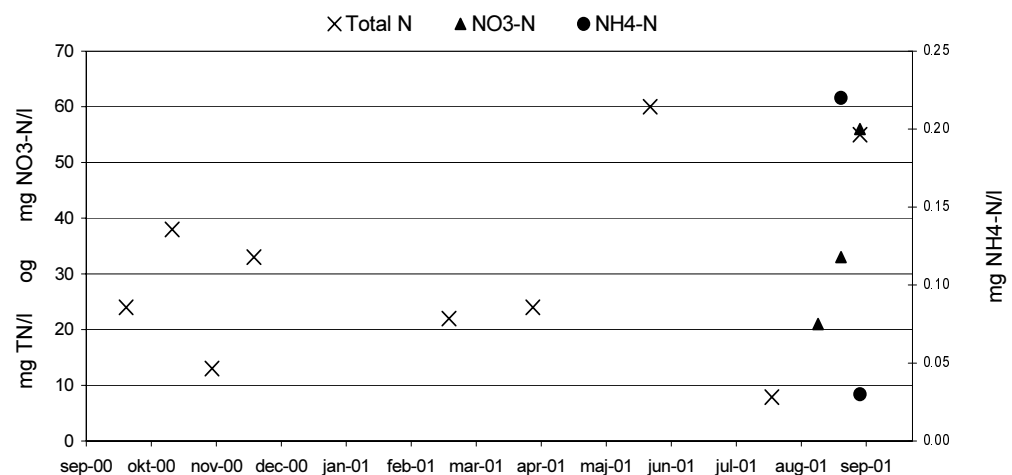
Af figur 5 og tabel 2 ses, at anlægget i forsøgsperioden har vist en god rensning for fosfor.

I starten af perioden har afløbsresultaterne for Total P og Ortho-P dog fluktueret, idet der har været problemer med at indstille doseringspumpen for dosering af den korrekte mængde fældningsmiddel.

I gennemsnit har sandfilteret vist en afløbskvalitet på 0,4 mg P/l, altså under en 1/3 af de ønskede 1,5 mg P/l. Ingen af de målte værdier overskrider 1,5 mg P/l.

Målingen d. 25.07.01 viser en stor forskel på Ortho-P og Total P, hvilket tillægges en måleusikkerhed.

Der er endvidere observeret en buffervirkning med hensyn til tilbageholdelse af fosfor i anlægget, idet manglende dosering af fædningsmiddel pga. havari på doseringspumpe i perioden 27. juli – 5. august 2001 ikke har givet anledning til signifikant stigning i fosforkoncentrationen i udløbet fra sandfilteret i prøve udtaget 16. august 2001.



FIGUR 6: UDLØBSKONCENTRATION AF TOTAL-N, NH₄-N OG NH₃-N FRA SANDFILTER.

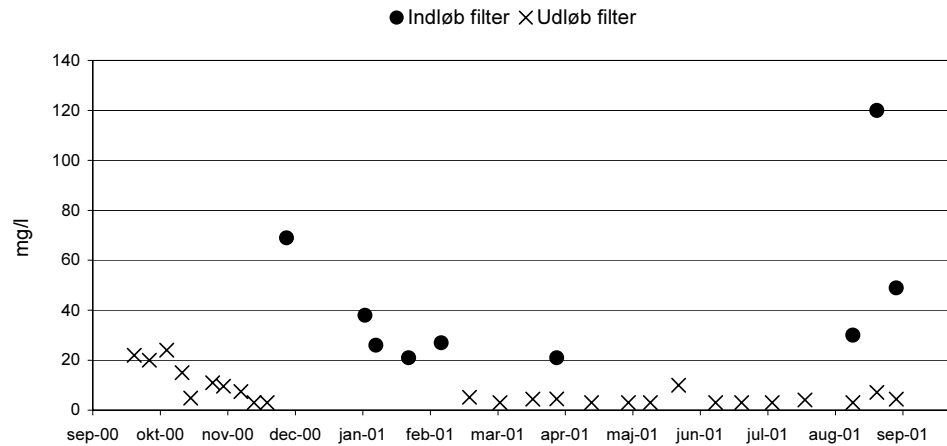
Af figur 6 og tabel 2 ses, at rensresultaterne for Total N er svingende med koncentrationer i udløbet fra sandfilteret i intervallet 8-60 mg/l, med et gennemsnit på 31 mg/l.

I henhold til ”Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 29 1992, Biologiske sandfiltre” ligger det typiske interval for koncentrationen af Total N i afløb fra sandfiltre på 15-35 mg/l.

I nærværende forsøg har rensgraden for Total N dermed svaret til, hvad der er forventelig for biologiske sandfiltre.

Af figur 6 og tabel 2 ses endvidere, at koncentrationen af NO₃-N ligger på en gennemsnitsværdi på 37 mg/l, hvilket indikerer, at der er en god nitrifikation i filteret. Målingerne for NH₄-N ligger i slutningen af forsøgsperioden på 0,03 og 0,22 mg/l, hvilket viser, at der på det tidspunkt ca. 1 år efter sandfilterets ibrugtagning forekommer fuld nitrifikation.

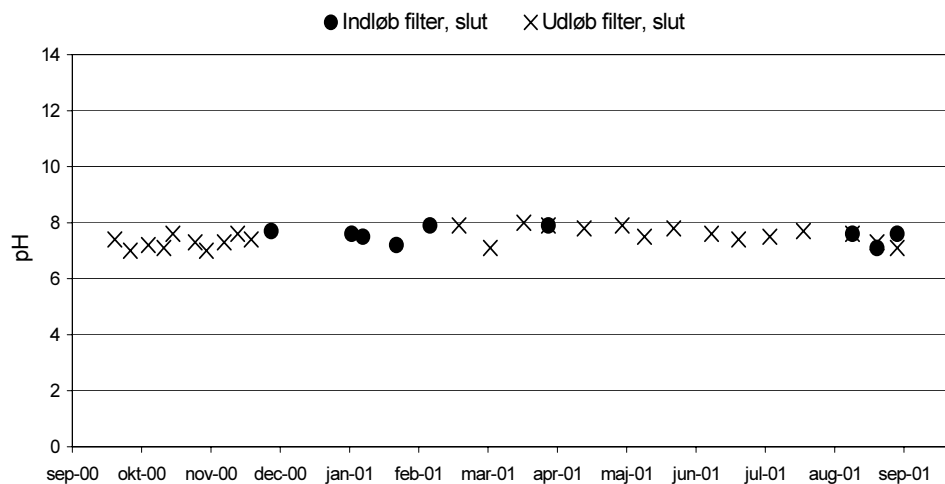
Det bør dog bemærkes, at der ikke er udført et tilstrækkelig antal sammenhørende målinger af NO₃-N og NH₄-N for tilvejebringelse af et statistisk sikkert bevis for en effektiv og konstant nitrifikation.



FIGUR 7: IND- OG UDLØBSKONCENTRATION AF SS PÅ SANDFILTER.

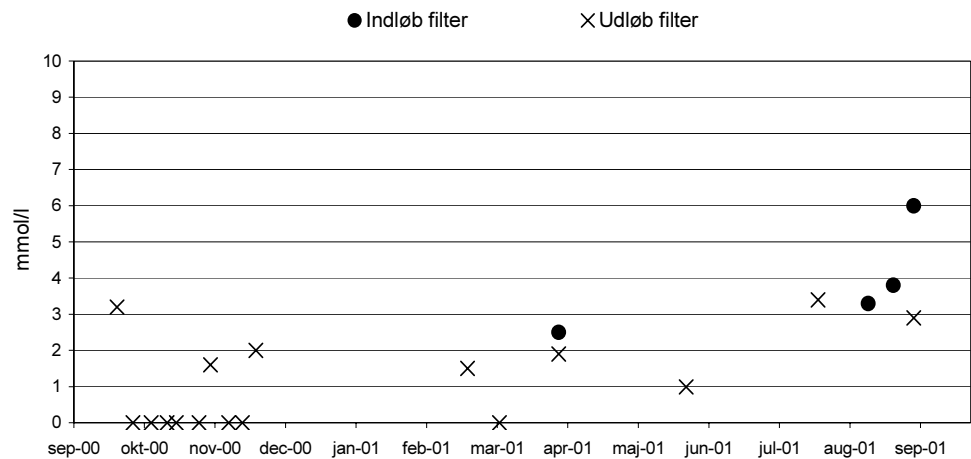
Tilbageholdelse af suspenderet stof i et sandfilter er jf. ”Håndbog i drift af renselanlæg – Den kommunale Højskole” som regel effektiv med en typisk afløbskvalitet under 10 mg SS/l.

Af figur 7 og tabel 2 fremgår, at der i forsøgsperioden har været en gennemsnitlig udløbskoncentration af SS på 7,3 mg/l, hvilket ligger i det interval man vil forvente af et velfungerende sandfilter.



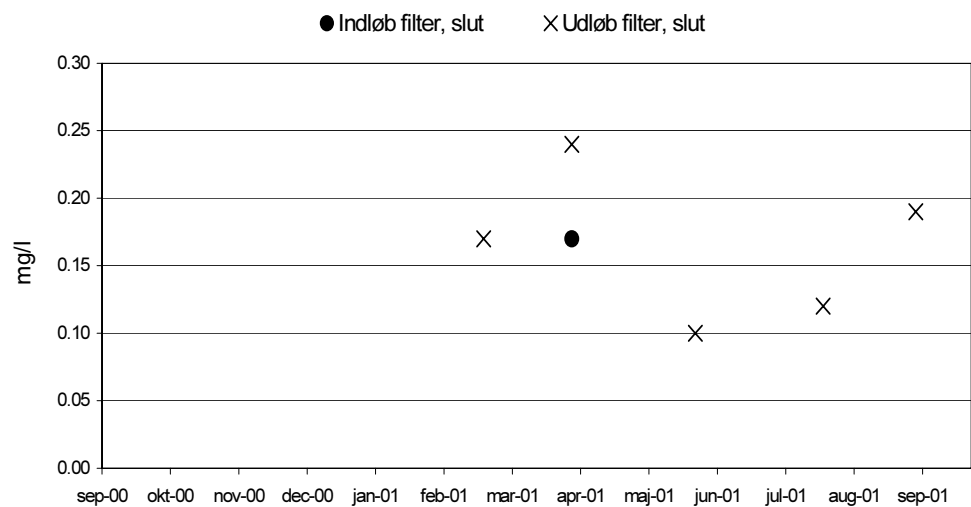
FIGUR 8: PH MÅLINGER IND OG UD AF SANDFILTER

Af figur 8 ses, at pH er stabil på 7 – 8 igennem filteret, svarende til pH værdien i almindeligt husholdningsspildevand. Der observeres således ingen pH påvirkning igennem filteret.



FIGUR 9: ALKALINITET IND OG UD AF SANDFILTER.

Af figur 9 ses ingen signifikant påvirkning af spildevandets alkalinitet igennem sandfilteret.



FIGUR 10: KONCENTRATION AF ALUMINIUM IND OG UD AF SANDFILTER.

Af figur 10 og tabel 2 ses, at koncentrationen af aluminium i gennemsnit ligger på 0,16 mg/l. Dette niveau ligger under grænseværdien for aluminium i drikkevand, der jævnfør ”Vejledning nr. 2/1984 fra Miljøstyrelsen – Kvalitetskrav til visse stoffer i drikkevandet” er 0,2 mg/l.

Der kan jævnfør vejledningen dog gives tilladelse til et forhøjet niveau af aluminium på op til 10 mg/l for drikkevand, da der ikke ud fra den nuværende viden er sundhedsskadelige effekter ved et forhøjet niveau af aluminium.

Der observeres altså ingen problemer med forhøjet aluminiumsindhold i spildevandet hidrørende fra eventuel overskydende fældningsmiddel.

Ved direkte fældning bør en ufiltreret prøve udtaget på udløbet fra bundfældningstanken ligge under 1,0 mg aluminium/l, hvilket er opfyldt ved dette forsøg.

Delkonklusion

Forsøgsanlægget har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,12 m³ husholdningsspildevand pr. døgn svarende til 1 persons gennemsnitlige vandforbrug.

Den hydrauliske spildevandsbelastning på forsøgsanlægget har dermed været lav svarende til ca. 1/3 af spildevandsbelastningen fra en gennemsnitlig husstand.

På baggrund af det udførte fældningsforsøg på det nyetablerede biologiske sandfilter med pumpesystem er der målt et gennemsnitligt fosforindholdet i afløbet på 0,4 mg Total P/l, med en maksimal værdi på 1,2 mg Total P/l.

Der er endvidere observeret en buffervirkning med hensyn til tilbageholdelse af fosfor i anlægget, idet manglende dosering af fældningsmiddel pga. havari på doseringspumpe i perioden 27. juli – 5. august 2001 ikke har givet anledning til signifikant stigning i fosforkoncentrationen.

Det har ved den udførte fældning af fosfor i bundfældningstanken været muligt konstant at holde fosforkoncentration i udløbet fra sandfilteret under 1,5 mg Total P/l, og efter korrekt indjustering af doseringspumpen endda konstant under 0,4 mg Total-P/l.

Sandfilteret har desuden vist en god biologisk omsætning af både BI₅ og COD, og kvælstof. Målingerne i forsøgsperiodens sidste måned har påvist, at der forekommer fuld nitrifikation.

Afløbskvaliteten for suspenderet stof i sandfilterets udløb er gennemsnitlig målt til 7,3 mg SS/l, hvilket indikerer, en velfungerende rensning over anlægget som helhed.

Fældning af fosfor i bundfældningstanken påvirker ikke pH- og alkalinitet forholdene i sandfilteret.

Der observeres ikke højt indhold af aluminium i afløbet fra sandfilteret, idet afløbsværdierne ligger under den vejledende grænseværdi for aluminium i drikkevand.

5.2 ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION

5.2.1 Generelt om resultaterne

Fra forsøgsperioden september 2000 – september 2001 foreligger de i bilag 2 viste resultater fra i alt 17 prøver fra udløbet fra anlæggets bundfældningstank.

5.2.2 Belastning af anlæg i forsøgsperioden

Ejendommens vandforbrug har i forsøgsperioden været på 145 m³, svarende til et gennemsnitligt vandforbrug på 0,4 m³/døgn

Sammenholdt med et gennemsnitlig vandforbrug på 131 l/person/døgn jf. ”Vandforsyningsstatistik 2000 – Danske Vandværkers Forening” svarer vandforbrug til 3 personers gennemsnitlige vandforbrug. Dette stemmer overens med, at ejendommens husstand omfatter 2 voksne og 2 børn.

I forsøgsperioden er der målt følgende afløbskvalitet i udløbet fra ejendommens bundfældningstank:

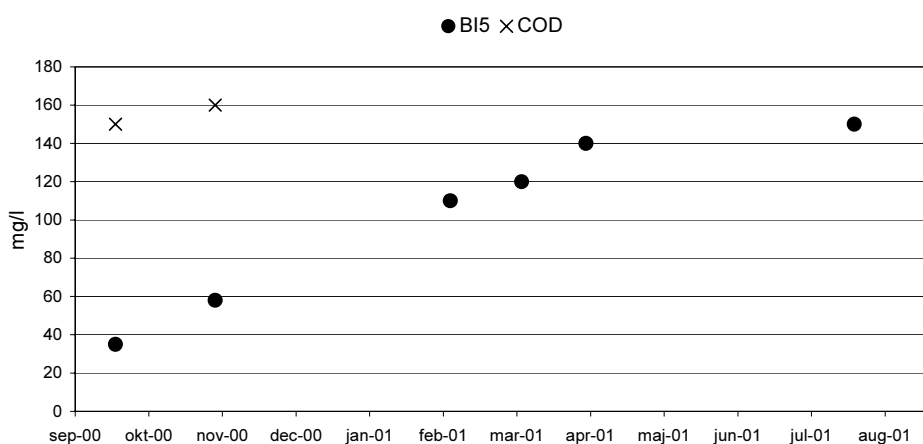
TABEL 3: ANALYSERESULTATER (UDLØB BUNDFÆLDNINGSTANK)

Målte værdier	BI ₅	COD	Total N	PO ₄ -P	Total P	SS
Antal målinger [stk.]	6	2	10	16	16	16
Max Værdi [mg/l]	150	160	110	5,4	30	770
Min Værdi [mg/l]	35	150	40	0,21	2,3	46
Gennemsnitsværdi [mg/l]	102	155	80	2,2	8,2	179

På forsøgsanlægget er der kun foretaget målinger i udløbet fra bundfældningstanken, hvorfor det kun er effekten af fosforfældningen heri, der er undersøgt.

Sandfilterets renseseffekt er ikke undersøgt, da dette er etableret uden membran, hvorved påvirkning af måleresultaterne pga. udsivning af spildevand hhv. indsvivning af grundvand ikke kan udelukkes.

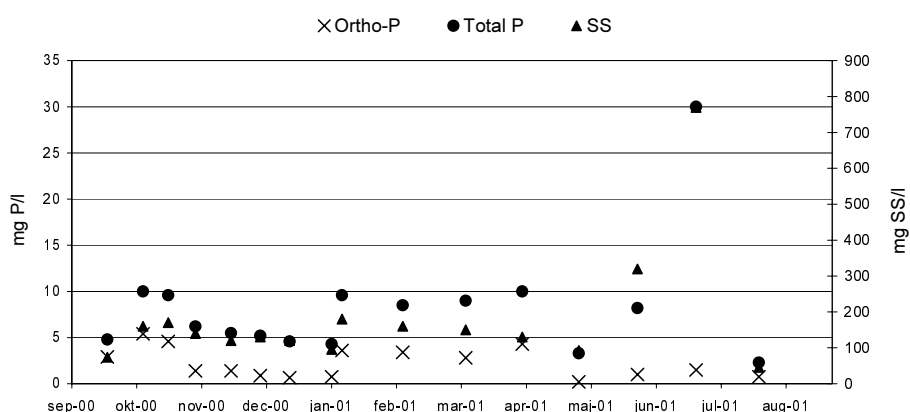
5.2.3 Bearbejdning af resultater



FIGUR 11: KONCENTRATION AF BI₅ OG COD I UDLØB FRA BUNDFÆLDNINGSTANK.

Af figur 11 og tabel 3 fremgår det, at BI₅ i udløbet fra bundfældningstanken ligger i intervallet 35 – 150 mg/l, med et gennemsnit på 102 mg/l. I henhold til ”Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 41/1999” forventes det typiske niveau

at skulle ligge i intervallet 110 – 170 mg BI₅/l. Den målte koncentrationen af BI₅ ligger hermed tæt på, hvad man vil forvente.



FIGUR 12: KONCENTRATION AF TOTAL-P, ORTHO-P OG SS I UDLØB FRA BUNDFÆLDNINGSTANK.

Af figur 12 og tabel 3 fremgår det, at koncentrationen af Total P i udløbet fra bundfældningstanken ligger i intervallet 2,3 – 30 mg P/l, med et gennemsnit på 8,2 mg P/l.

I henhold til ”Arbejdsrapport fra miljøstyrelsen, nr. 41, 1992” forventes det typiske niveau at skulle ligge i intervallet 5 – 7 mg P/l. Der er hermed målt et højere niveau af Total P i udløbet, end man vil forvente.

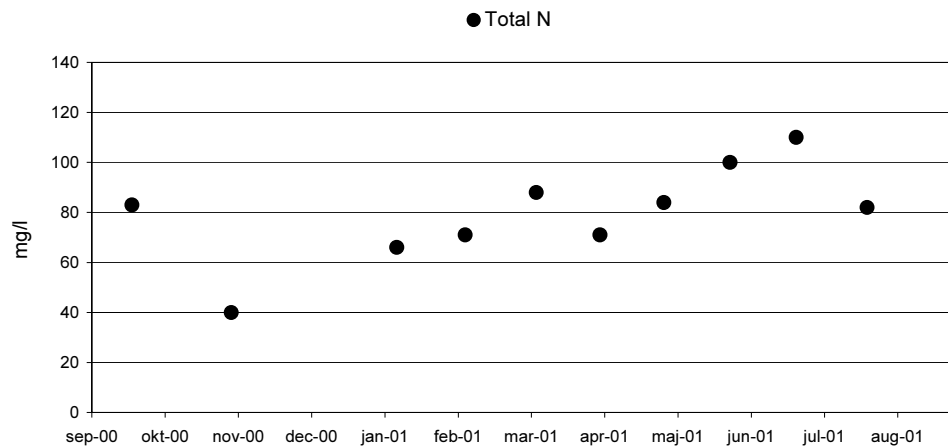
Af figur 12 og tabel 3 ses endvidere, at koncentrationen af SS ligger i intervallet 46 – 770 mg SS/l, med et gennemsnit på 179 mg/l.

I henhold til ”Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 41, 1992” forventes det typiske niveau at skulle ligge i intervallet 75 – 150 mg SS/l. Bundfældningstankens tilbageholdelse af suspenderet stof er dermed ikke så effektiv, som man kunne forvente.

Af figur 12 fremgår det endvidere, at indholdet af Total P følger indholdet af SS, hvormed en stor del af Total P vurderes at være suspenderet fosfor.

I perioder ligger indholdet af Ortho-P lavt under 1,5 mg/l, hvilket indikerer en acceptabel fosforfældning. Der er dog også perioder hvor Ortho-P ligger højt, hvilket indikerer at fældningen ikke har været fuldstændig.

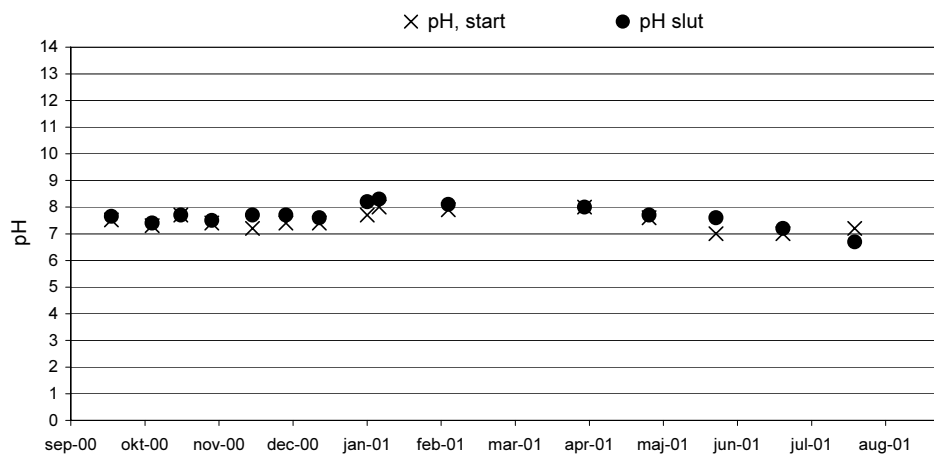
Årsagen til at fosforfældningen periodisk ikke har været optimal skyldes formentlig ikke manglende dosering af fældningsmiddel, da indholdet af aluminium i udløbet fra bundfældningstanken er højt jf. figur 15. Årsagen vurderes mere sandsynligt, at være relateret til en uhensigtsmæssig udformning af bundfældningstanken, og en utilstrækkelig opblanding af fældningsmidlet i det dybe 1. kammers spildevandsvolumen.



FIGUR 13: KONCENTRATION AF TOTAL-N I UDLØB FRA BUNDFÆLDNINGSTANKEN.

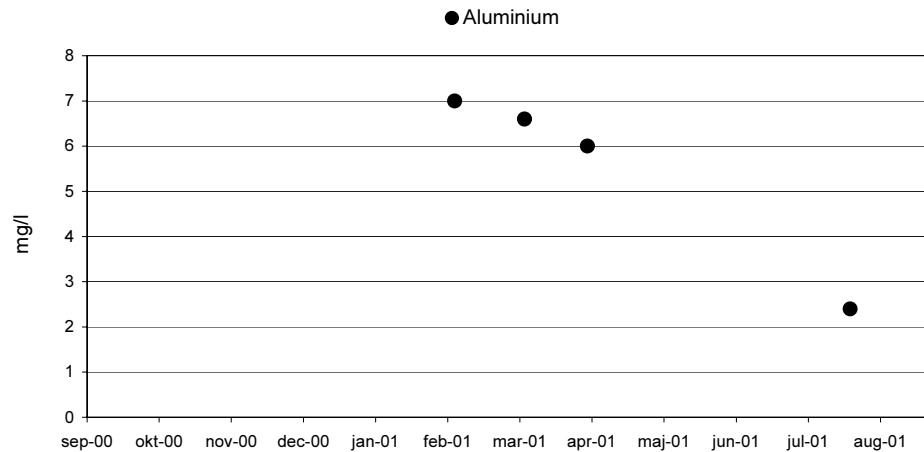
Af figur 13 og tabel 3 ses det, at koncentrationen af Total N i udløbet fra bundfældningstanken ligger i intervallet 40 – 110 mg N/l, med et gennemsnit på 80 mg N/l.

I henhold til ”Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 41, 1992” forventes det typiske niveau at skulle ligge i intervallet på 55 – 65 mg N/l. Der er hermed målt et højere niveau af Total N, end man kan forvente.



FIGUR 14: PH I UDLØB FRA BUNDFÆLDNINGSTANKEN.

Af figur 14 ses, at pH i udløbet fra bundfældningstanken er rimelig stabil på 6,5 – 8,5, hvilket svarer til pH forhold i almindeligt husholdningsspildevand.



FIGUR 15: KONCENTRATION AF ALUMINIUM I UDLØB FRA BUNDFÆLDNINGSTANKEN.

Af figur 15 ses, at indholdet af aluminium i udløbet fra bundfældningstanken højt. Dette indikerer, at fældningsmidlet ikke er opblandet optimal.

5.2.4 Delkonklusion

Forsøgsanlægget med den ældre type bundfældningstank har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,40 m³ spildevand pr. døgn, svarende til 3 personers gennemsnitlige vandforbrug.

Ved det udførte forsøg med fældning af fosfor i bundfældningstanken har det ikke været muligt at reducere fosforkoncentrationen i afløbet til 1,5 mg Total P/l eller derunder. I perioder er der dog målt lave værdier af Ortho-P, hvilket indikerer, at fosforen er blevet fældet effektivt.

At fosforfældningen ikke har været mere effektiv og konstant i hele perioden, vurderes at skulle tilskrives en uhensigtsmæssig udformningen af bundfældningstanken, der er af ældre type.

Denne er som udgangspunkt meget dyb, og 1. kammeret indeholder endvidere 94 % af tankvolumenet. Dette er ikke i overensstemmelse med ”Veiledning fra Miljøstyrelsen, nr. 3/1999”, hvor 1. kammerets volumen i 2 - kammer bundfældningstanke foreskrives at skulle udgøre 70 – 90 % af det samlede tankvolumen.

1. kammerets store vanddybde og volumen vurderes at have medført, at det anvendte fældningsudstyr ikke har kunnet tilvejebringe en optimal opblanding af fældningsmidlet, og dermed tilvejebringe en effektiv fosforfældning.

Endvidere har et for lille volumen i tankens 2. kammer ikke kunnet sikre en optimal tilbageholdelse af suspenderet stof og derpå udfældet fosfor. Hermed måles et forhøjet fosforindhold begrundet ved udskylning af suspenderet fosfor pga. slamflugt fra bundfældningstanken.

Denne slamflugt vurderes også at være begrundelsen for det forhøjede indhold af Total N og aluminium.

6 Analyseresultater for Natur-Ren[®] anlæg

6.1 FOSFORRENSNING VED NATUR-REN[®] ANLÆG

6.1.1 Generelt om resultaterne

Fra forsøgsperioden september 2000 – september 2001 foreligger de i bilag 3 viste resultater af i alt 1 prøve fra indløbet til bundfældningstanken, 4 prøver i udløbet fra bundfældningstanken svarende til tilløbet til det aerobe filter samt 31 prøver fra udløbet af Natur-Ren[®] anlægget.

6.1.2 Belastning af anlæg i forsøgsperioden

Ejendommens vandforbrug har i forsøgsperioden været på 98 m³, hvilket svarer til et gennemsnitligt vandforbrug på 0,29 m³/døgn

Sammenholdt med et gennemsnitligt vandforbrug på 131 l/person/døgn jf. ”Vandforsyningsstatistik 2000 – Danske Vandværkers Forening” svarer vandforbrug til 2 1/4 personers gennemsnitlige vandforbrug. Dette stemmer overens med, at ejendommens husstand omfatter 2 voksne og 2 børn.

I forsøgsperioden er der målt følgende afløbskvalitet i udløbet fra ejendommens bundfældningstank og Natur-Ren[®] anlæggets filter:

TABEL 4: ANALYSERESULTATER (TILLØB TIL FILTER)

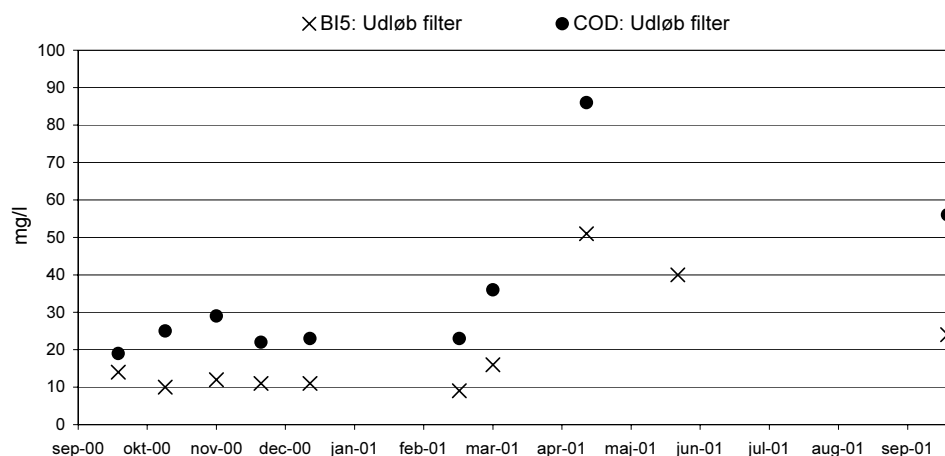
Målte værdier	BI ₅	COD	Total N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Total P	SS
Antal målinger [stk.]	4	4	4	2	1	4	4	4
Max Værdi [mg/l]	600	970	110	110	0,23	24	30	85
Min Værdi [mg/l]	340	620	39	59	0,23	10	15	46
Gennemsnitsværdi [mg/l]	435	755	68	85	0,23	19	23	63

Det bør bemærkes, at filteret er meget hårdt belastet med organisk stof, idet den gennemsnitlige værdi for BI₅ er ca. det dobbelte af, hvad der normalt måles i afløbet fra bundfældningstanke.

TABEL 5: ANALYSERESULTATER (UDLØB FRA FILTER)

Målte værdier	BI ₅	COD	Total N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Total P	SS
Antal målinger [-]	10	9	11	6	5	32	31	32
Max Værdi [mg/l]	51	86	81	59	12	0,013	1,5	500
Min Værdi [mg/l]	9	19	16	8,1	1,1	0,002	0,01	3
Gennemsnitsværdi [mg/l]	20	35	43	33	5,7	0,004	0,1	66
Ønskelig værdi [mg/l]	-	-	-	-	-	-	1,5	-

6.1.3 Bearbejdning af resultater

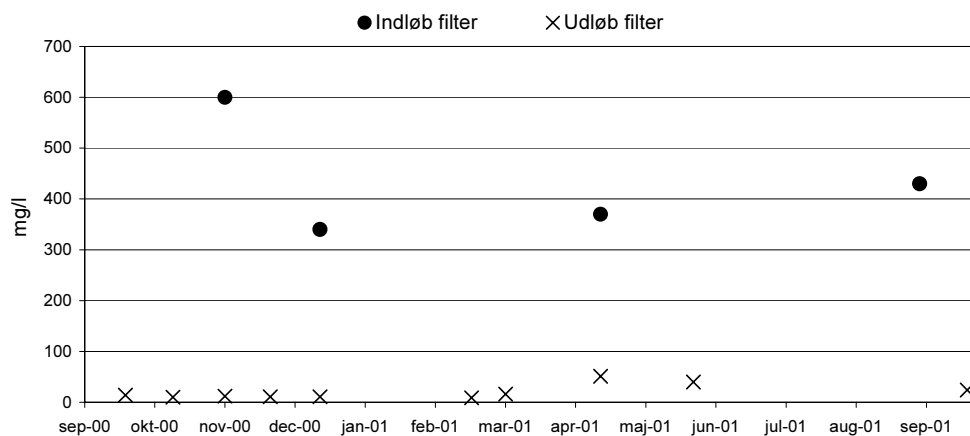


FIGUR 16: KONCENTRATION AF BI₅ OG COD I UDLØB FRA FILTER.

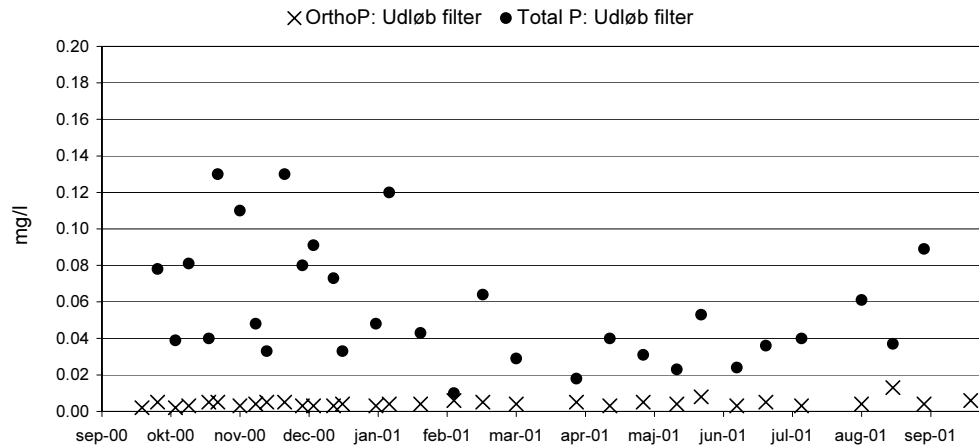
Af figur 16 og tabel 5 fremgår det, at anlægget har vist stabile afløbsresultater for organisk stof målt som BI₅ med værdier imellem 9 og 16 mg/l frem til marts 2001, hvorefter er der målt signifikant højere værdier. Opstuvning af spildevand i forbindelse med blokering af afløbsledningen den 20. marts 2002 vurderes at have skadet den mikrobielle omsætning i det aerobe filter og dermed givet anledning til de forhøjede værdier.

I henhold til ”Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 29 1992, - Biologiske sandfiltre” ligger afløbskvaliteten for biologiske sandfiltre typisk i området 5 – 10 mg BI₅/l. De målte værdier ligger således på et højere niveau, end hvad der typisk er gældende for biologiske sandfiltre.

I den forbindelse må ovennævnte opstuvning i det aerobe filter og det tilledte spildevands høje organiske indhold, som vist i figur 17, tages i betragtning.

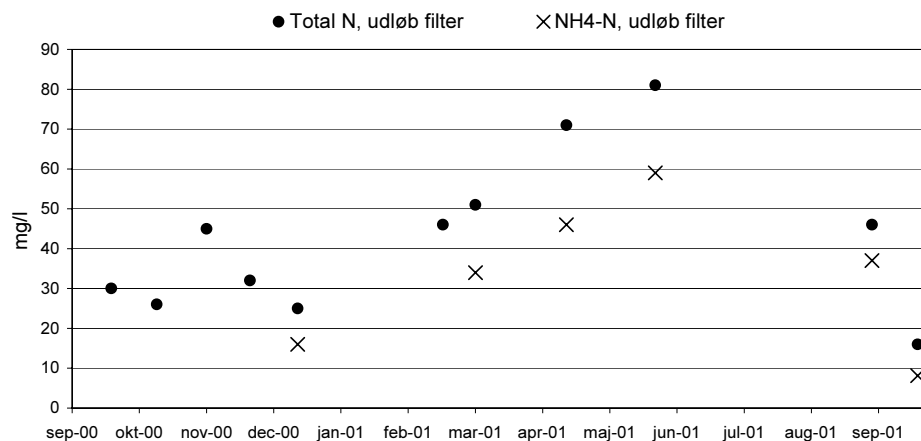


FIGUR 17: KONCENTRATION AF BI₅ I IND- OG UDLØB FRA FILTER.



FIGUR 18: KONCENTRATION AF TOTAL P OG ORTHO-P I AFLØB FRA FILTER.

Af figur 18 fremgår det, at anlægget i forsøgsperioden har vist stabile og meget lave afløbsresultater for Total P og Ortho-P. Den gennemsnitlige koncentration for Total P er således målt til 0,1 mg/l.



FIGUR 19: KONCENTRATION AF TOTAL-N OG NH₄-N I UDLØB FRA FILTER.

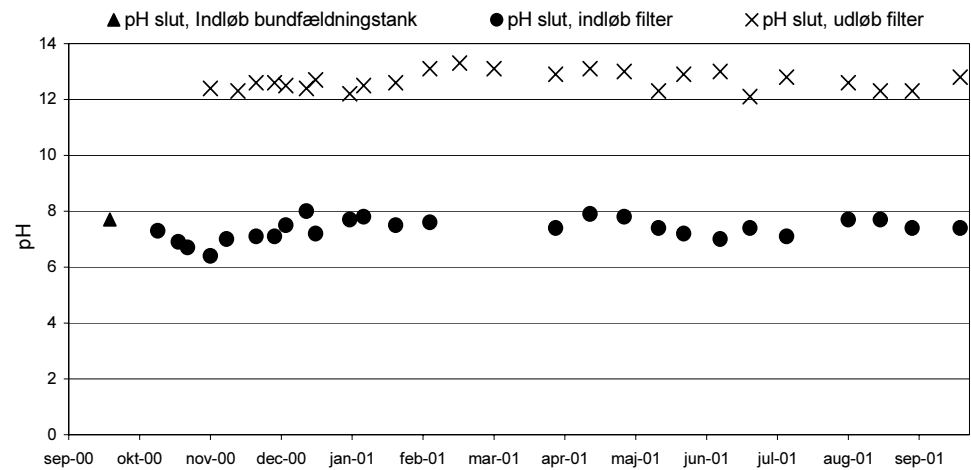
Af figur 19 ses det, at koncentrationen af Total N i udløbet fra filteret svinger imellem 16 – 81 mg/l med et gennemsnit på 43 mg/l.

I henhold til ”Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 29 1992, Biologiske sandfiltre” ligger det typiske interval for koncentrationen af Total N i afløbet fra sandfiltre på 15-35mg/l.

Afløbsresultaterne for NH₄-N er ligeledes relativt høje i intervallet 8 – 59 mg/l, hvor de typiske værdier for NH₄-N ligger i intervallet 5 – 15 mg/l i henhold til ”Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 29 1992, Biologiske sandfiltre”.

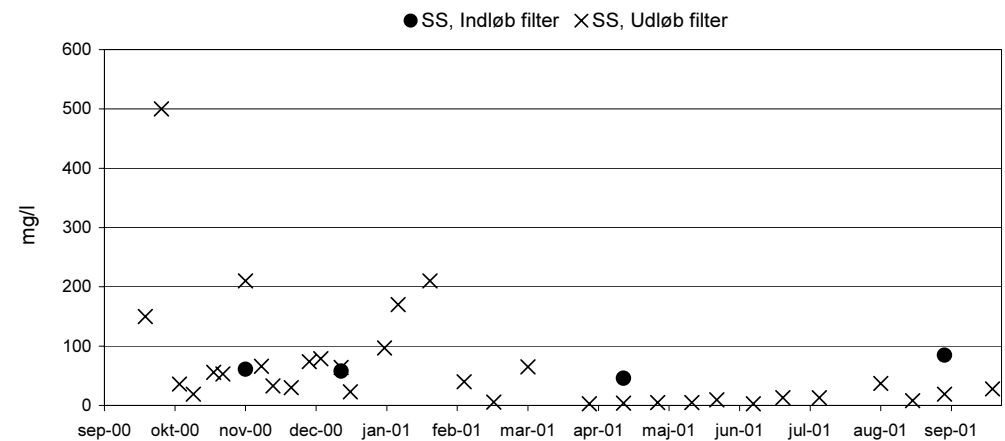
De målte udløbkoncentrationer for Total N og NH₄-N ligger således højere, hvad der er typisk for biologiske sandfiltre.

Opstuvning af spildevand i forbindelse med blokering af afløbsledningen den 20. marts 2002 vurderes at have skadet nitrifikationen i det aerobe filter og dermed givet anledning til de høje værdier.



FIGUR 20: PH I INDLØB TIL BUNDFÆLDNINGSTANK SAMT I IND- OG UDLØB FRA FILTER.

Af figur 20 ses det, at pH stiger fra ca. 7 til 13 gennem filteret, som følge af filtermaterialets indhold af dolomitkalk. Et normalt afløbskrav på pH mellem 6,5 – 8,5 til vandløb vil således ikke kunne overholdes.



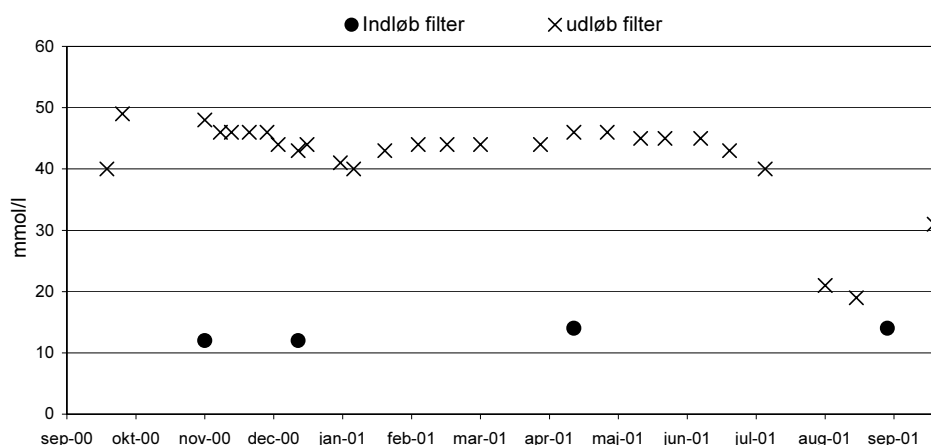
FIGUR 21: KONCENTRATION AF SS I FILTERETS IND- OG UDLØB.

Tilbageholdelsen af suspenderet stof i et sandfilter er som regel effektiv med en typisk afløbskvalitet under 10 mg/l jf. Håndbog i drift af renseanlæg.

Af figur 21 ses det, at koncentrationen af SS i perioden frem til april 2001 fluktuerer med værdier imellem 3 – 500 mg /l, med et gennemsnit på 66 mg/l.

Årsagen til disse høje værdier tilskrives udvaskning af dolomitkalk og finkornet filtermateriale. Prøveudtagningen har i perioden frem til 7. februar 2001 været påvirket af udvaskningen, idet det ikke har været muligt at undgå, at prøveudtageren opsugede en del af det udvaskede filtermateriale.

Efter ændring af udtagningsbrønden 7. februar 2001, viser resultaterne et mere stabilt og lavere niveau med værdier imellem 3 – 65 mg /l med et gennemsnit på 14 mg/l.



FIGUR 22: ALKALINITET I FILTERETS IND- OG UDLØB.

Alkaliniteten stiger fra et gennemsnit på 12,6 mmol/l i indløbet til filteret til 42 mmol/l efter filteret, hvilket hænger sammen med det kalkholdige filtermateriale.

6.1.4 Delkonklusion

Forsøgsanlægget har i forsøgsperioden gennemsnitlig været belastet med 0,29 m³ husholdningsspildevand pr. døgn svarende til 2 1/4 persons gennemsnitlige vandforbrug.

På baggrund af den udførte afprøvning af det nyetablerede Natur-Ren[®] anlægget er der over 13 måneder målt et gennemsnitligt fosforindholdet i spildevandsafløbet på 0,1 mg Total P/l., med en maksimal værdi på 1,5 mg Total P/l

Afløbsniveauet for BI₅ har vist stabile afløbsresultater i første halvdel af forsøgsperioden med værdier imellem 9 og 16 mg/l. Herefter er der målt signifikant højere værdier.

Filteret rensevne for kvælstof har været mindre, end hvad der gennemsnitlig opnås ved biologiske sandfiltre.

Årsagen til de forhøjede afløbsniveauer for BI_5 og kvælstof tilskrives opstuvning af spildevand i det aerobe filter i forbindelse med blokering af afløbsledningen den 20. marts 2002. Herved er den mikrobielle omsætning og dermed filterets nitrifikation skadet med forhøjede afløbsværdier til følge.

Afløbskvaliteten for suspenderet stof har i den første halvdel af forsøgsperioden ligget i intervallet 19 – 500 mg/l, præget af udvaskning af svingende mængder af finkornet filtermateriale (filler) og dolomitkalk, idet det ikke har været mulig at undgå, at prøveudtageren opsugede udvasket filtermaterialet under prøveudtagningen.

Efter ændring af udtagningsbrønden 7. februar 2001, viser resultaterne et mere stabilt og lavere niveau med værdier imellem 3 – 65 mg/l med et gennemsnit på 14 mg/l.

Natur- Ren[®] anlægget har medført en drastisk stigning i det rensede spildevands alkalinitet og i pH fra ca. 7 til ca. 13, hvilket tilskrives filtermaterialets indhold af dolomitkalk.

7 Anlægs- og driftsøkonomi

7.1 FÆLDNING AF FOSFOR I BUNDFÆLDNINGSTANK

7.1.1 Anlægsudgifter

De samlede anlægsudgifter til et nyt biologisk sandfilter med pumpesystem og fosforfældningsudstyr til rensklasse SOP beløber sig til ca. 45.000 kr. inkl. moms, men ekskl. udgifter til bundfældningstank.

En sådan omkostning vil være aktuel ved ejendomme, hvor der forefindes en egnet bundfældningstank, hvori der kan installeres fosforfældningsudstyr, og hvor der efterfølgende etableres et nyt biologisk sandfilter.

Af ovennævnte samlede anlægsudgifter andrager udgiften til fosforfældningsudstyret ca. 13.000 kr. inkl. moms. Udgifter medgår til:

- anskaffelse af mammutpumpe og skab med blæser, doseringspumpe og styringsautomatik,
- etablering af mammutpumpe i bundfældningstank inkl. fremføring af luft- og kemikaliedoseringslange fra skab,
- fremføring af 230 V elforsyning til skab.

Udgifter til elforsyning af fældningsudstyrets blæser og doseringspumpe vil afhænge af forholdene på den enkelte ejendom. Såfremt fældningsudstyret etableres i en bundfældningstank kombineret med et biologisk sandfilter med pumpesystem, kan fældningsudstyret elforsynes fra pumpesystemets elinstallation.

På forsøgsanlæggene er fældningsudstyret fremstillet til lejligheden. Ved serieproducerede anlæg vil installationen kunne optimeres, hvormed udgiften til fældningsudstyret forventes at kunne reduceres yderligere.

7.1.2 Driftsudgifter

De løbende driftsomkostninger ved fosforfældning med det afprøvede udstyr omfatter elforbrug og forbrug af fældningsmiddel.

Elforbruget til drift af luftblæser og doseringspumpe er beregnet til ca. 100 kWh/ år, hvilket svarer til en udgift på ca. 150 kr. pr. år inkl. moms og afgifter ved en elpris på 1,50 kr./kWh.

Forbrug af det ved forsøget anvendte fældningsmidlet PAX 14 andrager ca. 35 l/år ved spildevandstilledning hidrørende fra 5 PE., svarende til en udgift på ca. 350 kr./år inkl. moms.

Der er i ovennævnte driftsomkostninger ikke indregnet omkostninger forbundet med nødvendigt løbende tilsyn med doseringen, påfyldning af fældningsmiddel m.v., idet anlæggets ejer forudsættes at forestå dette uden

omkostninger. Der er desuden ikke indregnet udgifter til periodisk tømning af bundfældningstanken, som typisk vil være omfattet af en tømningsordning.

7.2 FOSFORFJERNELSE I NATUR-REN[®] ANLÆG

7.2.1 Anlægsudgifter

De samlede anlægsudgifter til et komplet Natur-Ren[®] anlæg til rensklasse SOP beløber sig til ca. 61.000 kr. inkl. moms, men ekskl. bundfældningstank. Anlægsudgiften vil være aktuel ved ejendomme, hvor der forefindes en egnet bundfældningstank, der kan suppleres med et nyt Natur-Ren[®] anlæg.

7.2.2 Driftsudgifter

Ved etablering af et Natur-Ren[®] anlæg vil der ikke være driftsudgifter.

7.3 ØKONOMISK LEVETIDSVURDERING

En afskrivningstid på 20 år skønnes at svare til de 2 anlægstypers levetid, inden der skal udskiftes filtermateriale.

Den årlige bruttoydelse ved en finansiering på 20 år og den aktuelle markedsrente bliver ca. 9,5 % af anlægsudgiften i ydelse pr. år.

Et biologisk sandfilter med fosforfældningsudstyr andrager en anlægsinvestering på ca. 45.000 kr. inkl. moms. Finansieret over 20 år bliver den årlige ydelse ca. 4.275 kr. inkl. moms. Hertil skal lægges en driftsomkostning til el og fældningsmiddel på ca. 500 kr. inkl. moms samt vedligeholdelsesomkostninger vedrørende luftblæser og doseringspumpe på samme beløb, hvormed de årlige gennemsnitsomkostninger andrager ca. 5.300 kr. inkl. moms.

Et Natur-Ren[®] anlæg andrager en anlægsinvestering på ca. 61.000 kr. inkl. moms. Finansieret over 20 år bliver den årlige ydelse ca. 5.800 kr. inkl. moms, hvilket svarer til de årlige gennemsnitsomkostninger, da anlægget ikke har driftsudgifter.

De årlige gennemsnitsudgifter er med de valgte forudsætninger af samme størrelsesorden for de 2 rensemetoder.

Et traditionelt biologisk sandfilter uden fosforfældningsudstyr til rensklasse SO koster i anlægsinvestering ca. 32.000 kr. inkl. moms. Finansieret over 20 år bliver den årlige ydelse ca. 3.000 kr. inkl. moms. Merprisen for fosforrensningen bliver dermed ca. 2.300 kr. inkl. moms pr. år med de valgte forudsætninger.

I alle førnævnte anlægsinvesteringer er der ikke medtaget omkostninger til etablering af ny bundfældningstank. Denne investering vil andrage ca. 13.000 kr. inkl. moms ved begge rensemetoder. Udgift til pumpebrønd med pumpe er indregnet i anlægsudgiften for begge rensemetoder, da den anses som en integreret del af den lokale spildevandsrensning.

Som angivet skønnes filtermaterialet ved begge anlægstyper at have en levetid på 20 år, inden det skal udskiftes. Ved udskiftning er anlægsinvesteringen skønnet at være af samme størrelsesorden, som ved den oprindelige etablering af filteret.

8 Referencer

Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 3. 1999, Biologiske sandfiltre op til 30 PE

Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen, Biologiske sandfiltre, rapport nr. 29, 1992, Anders Lynggaard-Jensen, Janne Nielsen, Vandkvalitetsinstituttet ATV, Arne Bernt Hasling, COWIconsult AS

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 41/1992, Fosforfjernelse ved enkeltejendomme, Karl Richard Jørgensen, Ole Dalsgaard og Ulrik Schack, COWIconsult, Rådgivende Ingeniører A/S

Håndbog i drift af renseanlæg – Den kommunale Højskole – ISBN 87-7316-784-3

Søyleforsøg med filtermaterialet Filtralite P[®], Jordforsk – Senter for jordfaglig miljøforskning, Rapport 3/2000 (Lukket rapport)

Forsøk med Leca 1998, projekt Filtralite[®], DP2.1: Vekstforsøk med Leca fra Tveter, fosforbindingsevne målt med risleforsøg og elektronmikroskopiske undersøkelser, Institut for jord- og vannfag, Norges Landbrukshøgskole. Rapport 2/99 (l. nr. 74)

Vandforsyningsstatistik 2000 – Danske Vandværkers Forening

9 Bilag

BILAG 1 BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM – ANALYSERESULTATER

BILAG 2 BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION – ANALYSERESULTATER

BILAG 3 NATUR-REN[®] ANLÆG – ANALYSERESULTATER

BILAG 1 - NYT BIOLOGISK SANDFILTER MED PUMPESYSTEM – ANALYSERESULTATER

NYT BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED PUMPESYSTEM

Analyseresultater

Skema 1 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		20.09.00	27.09.00	05.10.00	12.10.00	16.10.00	26.10.00	31.10.00		08.11.00	14.11.00	20.11.00
Udtagningssted:		Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ind	Ud	Ud	Ud	Ud
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter	bft.	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	C	13	14	13	11	12	11			13	8	10
Vandtemp, slut	C	13	14	12	11	12	10	13	11	13	8	9
pH, start	-	7,5	6,8	7	7,3	7,5	7,2			7,5	7,4	7,6
pH, slut	-	7,4	7	7,2	7,1	7,6	7,3	7,3	7	7,3	7,6	7,4
pH, laboratorium	-	7,7			7,3			7,9	7,5			7,7
BI ₅ , mod	mg/l	4			4			67	1			1
COD, tot	mg/l							160				
COD, mod	mg/l	54			32				23			12
Phosphor, tot - P	mg/l	0,18	0,18	0,14	0,57	1,1	1,2	2,9	0,68	0,76	0,55	0,56
Ortho - P, filt.	mg/l	0,037	0,068	0,028	0,45	1	1,2	2	0,65	0,65	0,5	0,55
Tot - N	mg/l	24			38			17	13			33
Ammonium-N	mg/l											
Nitrat-N, filt.	mg/l											
SS	mg/l	22	20	24	15	4,8	11	62	9,6	7,5	3	3
Alkalinitet	mmol/l	3,2						2,3	1,6			2
Aluminium	mg/l											
Slamtørstof	mg/kg TS											
Slam tot - P	mg/kg VV											

Note: bft. = bundfældningstank

NYT BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED PUMPESYSTEM

Analyseresultater

Skema 2 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		04.01.01	09.01.01	24.01.01	08.02.01	21.02.01	07.03.01	22.03.01	02.04.01		18.04.01
Udtagningssted:		Ind	Ind	Ind	Ind	Ud	Ud	Ud	Ind	Ud	Ud
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	C	9,5	9	6,5	7,3	4,8	4	4	9,7	6,1	5,3
Vandtemp, slut	C	9	8	6,4	7	4,5	4	4,1	7,7	5	5,7
pH, start	-	7,2	7,6	7,4	7,5	7,7		8,1	7,7	7,6	7,8
pH, slut	-	7,6	7,5	7,2	7,9	7,9	7,1	8	7,9	7,9	7,8
pH, laboratorium	-			7,3	7,6	7,5	7,5	7,5	7,5	7,4	7,4
BI ₅ , mod	mg/l					1			41	2	
COD, tot	mg/l										
COD, mod	mg/l					15			95	13	
Phosphor, tot - P	mg/l	1,1	0,7	1,1	0,53	0,15	0,19	0,17	1,1	0,14	0,19
Ortho - P, filt.	mg/l	0,023	0,015	0,045	0,014	0,14	0,15	0,14	0,046	0,11	0,16
Tot - N	mg/l					22			31	24	
Ammonium-N	mg/l										
Nitrat-N, filt.	mg/l										
SS	mg/l	38	26	21	27	5,2	3	4,4	21	4,5	3
Alkalinitet	mmol/l					1,5			2,5	1,9	
Aluminium	mg/l					0,17			0,17	0,24	
Slamtørstof	mg/kg TS								27500		
Slam tot - P	mg/kg VV								22000		

NYT BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED PUMPESYSTEM

Analyseresultater

Skema 3 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		02.05.01	15.05.01	28.05.01	14.06.01	26.06.01	10.07.01	25.07.01	
Udtagningssted:		Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ind	Ud
Parameter:	Enhed:	bft.	filter	filter	filter	filter	filter	bft.	filter
Vandtemp, start	°C	7,5	10,6	11	11	12	15,5	18,5	15
Vandtemp, slut	°C	7,5	10,2	11	11,6	12,5	15,2	18	15
pH, start	-	7,9	7,6	7,7	7,4	7,2	7,4	7,7	7,5
pH, slut	-	7,9	7,5	7,8	7,6	7,4	7,5	7,8	7,7
pH, laboratorium	-	7,4	7,4	7,2	7,4	7,4	7,4	6,7	7,9
Bl ₅ , mod	mg/l			3				240	4
COD, tot	mg/l							540	
COD, mod	mg/l			12					26
Phosphor, tot – P	mg/l	0,22	0,27	0,31	0,16	0,18	0,23	10	0,85
Ortho - P, filt.	mg/l	0,18	0,16	0,22	0,13	0,13	0,17	8	0,18
Tot - N	mg/l			60				75	7,9
Ammonium-N	mg/l								
Nitrat-N, filt.	mg/l								
SS	mg/l	3	3	10	3	3	3	250	4,1
Alkalinitet	mmol/l			0,99				3,6	3,4
Aluminium	mg/l			0,1					0,12
Slamtørstof	mg/kg TS								
Slam tot – P	mg/kg VV								

Note: bft. = bundfældningstank

NYT BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED PUMPESYSTEM

Analyseresultater

Skema 4 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		16.08.01		27.08.01		05.09.01					
Udtagningssted:		Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud				
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter				
Vandtemp, start	°C	18,9	18,9	14,7	13,2	16	15				
Vandtemp, slut	°C	18,2	18,2	16,9	16,1	16	15				
pH, start	-	7,5	7,5	6,9	6,9	7,5	7				
pH, slut	-	7,6	7,6	7,1	7,3	7,6	7,1				
pH, laboratorium	-	7,6	7,8	7,3	7,6	7,6	7,6				
Bl ₅ , mod	mg/l	33		180		110	2				
COD, tot	mg/l			360		230					
COD, mod	mg/l	85					10				
Phosphor, tot – P	mg/l	1,8	0,09	4,6	0,22	6,3	0,24				
Ortho - P, filt.	mg/l	0,5	0,06	0,098	0,11	4,0	0,15				
Tot - N	mg/l	33		52		60	55				
Ammonium-N	mg/l	23		40	0,22	52	0,03				
Nitrat-N, filt.	mg/l	0,2	21	0,2	33	0,57	55				
SS	mg/l	30	3	120	7,1	49	4,4				
Alkalinitet	mmol/l	3,3		3,8		6	2,9				
Aluminium	mg/l										
Slamtørstof	mg/kg TS										
Slam tot - P	mg/kg VV										

BILAG 2 - ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTER MED GRAVITATION – ANALYSERESULTATER

ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED GRAVITATION

Analyseresultater

Skema 1 af 2

Tidspunkt (dd.mm.år):		18.09.00	05.10.00	17.10.00	30.10.00	16.11.00	30.11.00	14.12.00	03.01.01	08.01.01	06.02.01
Udtagningssted:		Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud
Parameter:	Enhed:	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.
Vandtemp, start	°C	12,8	13	12	10	9,5	9	8	6	5	4,8
Vandtemp, slut	°C	12,5	12	12	10	9,5	9	8	6	5	4,6
pH, start	-	7,52	7,3	7,7	7,4	7,2	7,4	7,4	7,7	8	7,9
pH, slut	-	7,66	7,4	7,7	7,5	7,7	7,7	7,6	8,2	8,3	8,1
pH, laboratorium	-	7,8	7,8	7,8	7,9	7,8	7,8	7,7	8	7,4	8
BI ₅ , mod	mg/l	35			58						110
COD, tot	mg/l										250
COD, mod	mg/l	150			160						
Tot - P	mg/l	4,8	10	9,6	6,2	5,5	5,2	4,6	4,3	9,6	8,5
Ortho - P	mg/l	2,9	5,4	4,6	1,4	1,4	0,89	0,65	0,75	3,6	3,4
Tot - N	mg/l	83			40					66	71
SS	mg/l	74	160	170	140	120	130	120	96	180	160
Alkalinitet	mmol/l	9,1			6,4						9,4
Aluminium	mg/l										7
Slamtørstof	mg/kg TS										
Slam tot - P	mg/kg VV										

Note: bft. = bundfældningstank

ÆLDRE BIOLOGISK SANDFILTERANLÆG MED GRAVITATION

Analyseresultater

Skema 2 af 2

Tidspunkt (dd.mm.år):		08.03.01	04.04.01	01.05.01	29.05.01	26.06.01	26.07.01	23.08.01			
Udtagningssted:		Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud	Ud			
Parameter:	Enhed:	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.	bft.			
Vandtemp, start	°C	4	5,5	7	11	12,5	13,5				
Vandtemp, slut	°C	4	5,5	7	11	13	13,5				
pH, start	-		8	7,6	7	7	7,2				
pH, slut	-		8	7,7	7,6	7,2	6,7				
pH, laboratorium	-	7,8	7,8	7,5	7,7	7,5	7,2				
BI ₅ , mod	mg/l	120	140				150				
COD, tot	mg/l	310	250				290				
COD, mod	mg/l										
Tot - P	mg/l	9	10	3,3	8,2	30	2,3				
Ortho - P	mg/l	2,8	4,3	0,21	1	1,5	0,75				
Tot - N	mg/l	88	71	84	100	110	82				
SS	mg/l	150	130	93	320	770	46				
Alkalinitet	mmol/l	11	9,4				9,2				
Aluminium	mg/l	6,6	6				2,4				
Slamtørstof	mg/kg TS		44000					36000			
Slam tot - P	mg/kg VV		16000					36500			

Note: bft. = bundfældningstank

BILAG 3 – NATUR REN[®] ANLÆG – ANALYSERESULTATER

NATUR-REN® ANLÆG

Analyseresultater

Skema 1 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		19.09.00		26.09.00	04.10.00	10.10.00		19.10.00		23.10.00		02.11.00	
Udtagningssted:		Ind	Ud	Ud	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud
Parameter:	Enhed:	bft.	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	°C			11	16				15			13,5	11
Vandtemp, slut	°C		13	11	15		14		14		14	13	11,7
pH, start	-							7,1				6,5	12,4
pH, slut	-	7,7				7,3		6,9		6,7		6,4	12,4
pH, laboratorium	-	7,9	12	12			13					6,9	13
BI ₅ , mod	mg/l	620	14				10					600	12
COD, tot	mg/l	1900										970	
COD, mod	mg/l		19				25						29
Phosphor, tot - P	mg/l	31	16	1,5	0,078		0,039		0,081		0,04	23	0,13
Ortho - P, filt.	mg/l	21	0,002	0,005	0,002		0,003		0,005		0,005	23	0,003
Tot - N	mg/l	130	30				26					67	45
Ammonium-N	mg/l												
Nitrat-N, filt.	mg/l												
SS	mg/l	810	150	500	36		19		56		53	61	210
Alkalinitet	mmol/l	11	40	49								12	48
Aluminium	mg/l												
Slamtørstof	mg/kg TS												
Slam tot - P	mg/kg VV												

Note: bft. = bundfældningstank

NATUR-REN® ANLÆG

Analyseresultater

Skema 2 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		09.11.00		14.11.00	22.11.00		30.11.00		05.12.00		14.12.00		18.12.00		02.01.01	
Udtagningssted:		Ind	Ud	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	°C		13	12	12	9,5	13	10		9	11	10	11,5	8	9	8
Vandtemp, slut	°C		13	10	12,5	9,5	12	9		10	11	9,5	11	8	9	8,5
pH, start	-	7		12,5	7	12,6	7	12,5	7,4	12,4	7,5	12,5	7,2	12,7	7,6	11,8
pH, slut	-	7		12,3	7,1	12,6	7,1	12,6	7,5	12,5	8	12,4	7,2	12,7	7,7	12,2
pH, laboratorium	-					13					7,6	13				
BI ₅ , mod	mg/l					11					340	11				
COD, tot	mg/l										620					
COD, mod	mg/l					22						23				
Phosphor, tot - P	mg/l		0,11	0,048		0,033		0,13		0,08	15	0,091		0,073		0,033
Ortho - P, filt.	mg/l		0,004	0,005		0,005		0,003		0,003	10	0,003		0,004		0,003
Tot - N	mg/l					32					56	25				
Ammonium-N	mg/l										59	16				
Nitrat-N, filt.	mg/l															
SS	mg/l		66	33		30		74		79	58	64		23		97
Alkalinitet	mmol/l		46	46		46		46		44	12	43		44		41
Aluminium	mg/l															
Slamtørstof	mg/kg TS															
Slam tot - P	mg/kg VV															

NATUR-REN® ANLÆG

Analyseresultater

Skema 3 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		08.01.01		22.01.01		06.02.01		19.02.01		06.03.01	02.04.01		17.04.01		02.05.01	
Udtagningssted:		Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	°C	5	6	8,5	5,1	8,5	4,7	7,3	4,5	3	8,5	5,5	8,7	5,6	10,5	8,4
Vandtemp, slut	°C	5	6	9	6,4	8,3	4,9		4,6	3,7	8,5	5,5	8,5	6	10,3	7,9
pH, start	-	7,8	12,5	7,5	12,7	7,5	12,9	7,5	13,1	13	7,3	12,6	7,9	13,1	7,8	13
pH, slut	-	7,8	12,5	7,5	12,6	7,6	13,1		13,3	13,1	7,4	12,9	7,9	13,1	7,8	13
pH, laboratorium	-				12		13		13	13		12	7,7	13		13
BI ₅ , mod	mg/l								9	16			370	51		
COD, tot	mg/l												690			
COD, mod	mg/l								23	36				86		
Phosphor, tot - P	mg/l		0,048		0,12		0,043		0,01	0,064		0,029	23	0,018		0,04
Ortho - P, filt.	mg/l		0,004		0,004		0,006		0,005	0,004		0,005	20	0,003		0,005
Tot - N	mg/l								46	51			39	71		
Ammonium-N	mg/l									34				46		
Nitrat-N, filt.	mg/l									6,3				6,6		
SS	mg/l		170		210		40		5,6	65		3	46	3,8		5,1
Alkalinitet	mmol/l		40		43		44		44	44		44	14	46		46
Aluminium	mg/l															
Slamtørstof	mg/kg TS															
Slam tot - P	mg/kg VV															

NATUR-REN® ANLÆG

Analyseresultater

Skema 4 af 4

Tidspunkt (dd.mm.år):		17.05.01		28.05.01		13.06.01		26.06.01		12.07.01		22.08.01		05.09.01		26.09.01	
Udtagningssted:		Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud
Parameter:	Enhed:	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter	filter
Vandtemp, start	°C	13	10	13,1	13	12,7	12,7	13	12	16,3	15,7	14	17,5	15,5	15,5	12,1	13,3
Vandtemp, slut	°C	13	10	12,7	11,4	13,1	12,2	13	13	16,1	14,9	16	15,5	15	15,5	14,8	13,8
pH, start	-	7,2	12,8	7,3	12,9	7,1	13	7,3	11,8	7,3	12,9	7,5	11,5	7,4	12,3	7,2	12,8
pH, slut	-	7,4	12,3	7,2	12,9	7	13	7,4	12,1	7,1	12,8	7,7	12,3	7,4	12,3	7,4	12,8
pH, laboratorium	-		13		13		12		12		12		12	7,6	12		12
BI ₅ , mod	mg/l				40									430			24
COD, tot	mg/l				170									740			
COD, mod	mg/l																56
Phosphor, tot - P	mg/l		0,031		0,023		0,053		0,024		0,036		0,061	30	0,037		0,089
Ortho - P, filt.	mg/l		0,004		0,008		0,003		0,005		0,003		0,013	24	0,004		0,006
Tot - N	mg/l				81									110	46		16
Ammonium-N	mg/l				59									110	37		8,1
Nitrat-N, filt.	mg/l				12									0,23	2,7		1,1
SS	mg/l		4,8		9,4		3		13		13		8,1	85	19		28
Alkalinitet	mmol/l		45		45		45		43		40		19	14			31
Aluminium	mg/l																
Slamtørstof	mg/kg TS																
Slam tot - P	mg/kg VV																