

Tillæg 1 til Basisrapport

Dobbeltporøs Filtrering – Yderligere resultater fra 2007

Pilotafrøvning - Rensning af vejvand i Ørestad
Hændelse 1-25, januar – juli 2007, ekstra analyser

Marina Bergen Jensen
Skov & Landskab, KU-LIFE,
Rolighedsvej 23, 2958 Frederiksberg C

Kvalitetssikring:

Per Bjerager, KU-LIFE, Skov & Landskab
Helle Bjerg Sørensen, Københavns Kommune
Jeanet Stagsted, Københavns Energi
Linda Bredahl, Rambøll Danmark
Frank Hallig, Rambøll Danmark

Styregruppe:

Kirsten Ledgaard, By & Havn
Sonia Sørensen, Københavns Energi
Kjell Nilsson, KU-LIFE, Skov & Landskab
Frank Hallig, Rambøll Danmark
Linda Bredahl, Rambøll Danmark
Marina Bergen Jensen, KU-LIFE, Skov & Landskab

Maj 2009

Tilhørende excel-ark: Data Tillægsrapport DPF.xls

Indholdsfortegnelse

| | |
|---|----|
| Indholdsfortegnelse | 2 |
| Forord..... | 3 |
| Sammendrag | 4 |
| 1. Massebalancer for suspenderet stof, zink, kobber, krom, bly og fosfor | 7 |
| 2. Indhold af organisk materiale i suspenderet stof (glødetab) | 11 |
| 3. Levetidsbetragtninger for DPF-anlæg i Ørestad..... | 14 |
| 4. Fordeling af zink, kobber, krom, bly og fosfor på opløst og partikulær form | 20 |
| 5. Ind- og udløbskoncentrationer for yderligere elementer..... | 29 |
| 6. Tilbageholdelse af miljøfremmede organiske forbindelser..... | 41 |
| 7. Størrelsesfordeling af partikulært materiale (SS) | 51 |
| 8. Korrelationer mellem turbiditet, elektrisk ledningsevne og suspenderet stof, og mellem suspenderet stof og Zn, Cu, Cr, Pb og P i vejvand..... | 62 |
| Litteratur..... | 70 |

Forord

Nærværende rapport er et tillæg til Basisrapporten for afprøvning af dobbeltporøs filtrering. Basisrapporten, der kan hentes på www.sl.ku.dk, beskriver teorien bag dobbeltporøs filtrering (DPF), pilotanlæggets opbygning og prøvetagning, og bringer resultater for hydraulisk funktion og tilbageholdelsen af suspenderet stof, zink, kobber, krom, bly og fosfor, der er de parametre Københavns Kommune har opstillet krav for. I nærværende tillægsrapport bringes yderligere resultater og tolkninger.

Alle data og beregninger fremgår af det tilhørende excel-ark: DPF tillæg 15.1-26.7 2007.xls.

Sammendrag

Akkumuleret SS, Zn, Cu, Cr, Pb og P efter ½ år

Akkumuleret masse i perioden 15. 01.2007 - 26.07.2007 er estimeret for DPF-6-Lag og DPF-18-Lag ud fra Basisrapportens data for de gennemsnitlige ind- og udløbskoncentrationer i de 25 registrerede hændelser samt de tilhørende flowmålinger. DPF-6-Lag har behandlet 1761 m³ vand og tilbageholdt 198 kg suspenderet stof, 121 g zink, 22 g kobber, 13 g krom, 13g bly og 230 g fosfor. DPF-18-Lag har behandlet 1363 m³ vand og tilbageholdt 166 kg suspenderet stof, 117 g zink, 21 g kobber, 11 g krom, 12 g bly og 189 g fosfor. Den større volumen behandlet i DPF-6-Lag er udtryk for at den hydrauliske kapacitet i DPF-18-Lag falder i gennem perioden. Det bemærkes at til trods for den lavere mængde vand behandlet er de tilbageholdt tungmetalmængder omtrent identiske, hvilket kan forklares med at DPF-18-Lag mere effektivt fjerner de allermindste partikler, der må bære end relativt større andel af tungmetallerne, end DPF-6-Lag. Under forudsætning af at problemet med faldende hydraulisk kapacitet i DPF-18-Lag kan løses i fremtidige anlæg vil tilbageholdelsen af tungmetaller være 10-20 % større i DPF-18-Lag sammenlignet med DPF-6-Lag ved samme belastning. Tilbageholdelsen af suspenderet stof og fosfor vil være 6-8 % større i DPF-18-Lag end DPF-6-Lag.

Andel af organisk stof i SS (glødetab)

Andelen af organisk stof i indløbsvandet er ved glødetabsanalyse målt til 18,7 % af det totale suspenderede stofindhold. I hændelser med lavt indhold af suspenderet stof synes den organiske andel at være mindre. Den tilsvarende analyse af organisk stof i udløbsvand fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag returnerer usikre resultater, fordi det totale stofindhold typisk kun er nogle få mg/L. Der synes dog at være en tendens til at den organiske andel af suspenderet stof er stigende i udløbsvandet.

Levetidsbetragtninger

Levetiden af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag er estimeret ud fra akkumulerede mængder af suspenderet stof og antagelser om hvilken densitet sedimentet pakker med. Hulrumsvolumenet i ubrugt kalkmætter i DPF-6-Lag er beregnet til 5,5 m³ og i DPF-18-Lag til 16,6 m³. Antages det, at det tilbageholdte sediment pakker med en densitet på 360 kg/m³ vil 75 % af alle hulrum i DPF -6-Lag være fyldt med sediment efter ca. 4 år og i DPF-18-Lag vil det tilsvarende tal være ca. 11 år. Pakker det tilbageholdte sediment med en densitet på 690 kg/m³, hvilket er observeret for regnvandsbassiner, vil 75 % af hulrumskapaciteten i DPF-6-Lag være opbrugt efter ca. 7 år og efter ca. 20 år i DPF-18-Lag. Det har ingen markant effekt på levetidsestimatet at inkludere nedbrydning af den organiske fraktion i sedimentet.

Fordeling af Zn, Cu, Cr, Pb og P på opløst og partikulær form

Hovedparten af zink, kobber, krom og bly findes associeret med suspenderet stof allerede i indløbsvandet, svarende til at indløbsvandets koncentration af stof på opløst form (<0,45 µm) er lave. Det er derfor vanskeligt at vurdere filtrenes evne til at tilbageholde de opløste former. For metallerne er ind- og udløbskoncentrationer for de opløste former alle meget lave og omtrent ens. I gennemsnit indeholder indløbsvandet således 14,2 µg opløst Zn/L, mens udløbsvandet fra DPF-6-Lag indeholder 16,4

µg/L og fra DPF-18-Lag 10,1 µg/L. De tilsvarende tal for kobber er 7,6 µg opløst Cu/L i indløbsvand, mod 9,4 µg/L i udløbsvand fra DPF-6-Lag og 8,7 µg/L fra DPF-18-Lag. Opløst krom ligger i indløbsvandet på 8,2 µg/L, og i DPF-6-Lag udløb på 8,9 µg/L og DPF-18-Lag på 8,7 µg/L. Opløst bly ligger på 0,1 µg/L i indløbsvand, og på 0,1 og 0 µg/L i de to udløb. For fosfor er situationen anderledes idet en betydelig andel, nemlig knap 1/3-del af totalindholdet, findes på opløst form ved ankomst til anlægget. I gennemsnit indeholder indløbsvandet 47,8 µg P/L, mens udløbsvandet fra DPF-6-Lag indeholder 29,8 µg/L og fra DPF-18-Lag 31,1 µg/L, svarende til en reduktion i den opløste P-fraktion på ca. 30 %.

Indhold og tilbageholdelse af yderligere elementer

ICP-MS analyserne af andre elementer end Zn, Cu, Cr, Pb og P viser at koncentrationen af Ca, Mg, Sr og B er større i udløb end i indløb, især for DPF-18-Lag, svarende til at disse stoffer frigives fra kalken, hvilket er fundet sandsynligt. At der er tale om frigivelse understreges af, at stofferne, i modsætning til de øvrige elementer, stort set udelukkende findes på opløst form. Frigivelsesraten for Ca vil føre til udvaskning af al kalk fra DPF-6-Lag i løbet af 88 år og fra DPF-18-Lag efter 156 år. Jern, Al og Mn findes i store mængder i indløbsvandet, primært på partikulær form, og tilbageholdes effektivt. I den udstrækning de forekommer på oxid-form vil de bringe nye sorptionspladser ind i filteret. Ingen af de potentielt miljø- og sundhedsskadelige yderligere elementer, dvs. Sc, V, Co, Mo, La, Th, U, Ni, As, Cd, Ba, og Sb er fundet i høje koncentrationer, og der ses tilbageholdelse for samtlige. Platingrubbens elementer, Pd, Rh og Pt, optræder i uhyre lave koncentrationer, og er for Rh under detektionsgrænsen. Værdien af platingruppen som mål for vejvands trafikbelastningsgrad er tvivlsom. Stofferne Be, Se, Eu, Yb og Th findes i forsvindende mængder.

Miljøfremmede stoffer

Der er foretaget kampagnevis analyse på manuelt udtagne prøver af miljøfremmede stoffer inden for gruppen af pesticider (i alt 38 inklusive enkelte nedbrydningsprodukter) og PAH'er (16 US-EPA) samt af phthalatet DEPH, organotin-forbindelserne mono- og dibutyltin, og den klorerede forbindelse kloroform. Pesticidet glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA er som de eneste pesticidforbindelser fundet i betydeligt omfang. Glyphosat reduceres markant under passage af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, mens dette ikke er tilfældet for nedbrydningsproduktet AMPA, hvor der ved den ene af to undersøgelser ligefrem ses en stigning i koncentrationen, hvilket indikerer mikrobiel omsætning af glyphosat. De fleste af de øvrige pesticider, der er analyseret for, kan ikke detekteres. For de få stoffer der er detekteret, er indløbskoncentrationerne lave, mens udløbskoncentrationerne er endnu lavere, eller uændrede. I to af i alt tre undersøgelser af PAH'er ses betydelige koncentrationer i indløbsvandet. Der ses i alle tilfælde markante reduktioner under passage af filtrene. Således reduceres Sum PAH med omkring 80 % i DPF-6-Lag og med 97-100 % i DPF-18-Lag, der i alle tilfælde kan overholde VRD-kvalitetsstandarderne. DPF-6-Lag har problemer med at overholde VRD-kvalitetsstandarderne for benz(b+j+k)fluoranthren, benzo(a)pyren og især benzo(g,h,i)perylene, der ser ud til at udgøre et særskilt problem. Den enlige undersøgelse af DEPH indikerer at dette stof kan optræde i vejvand i koncentrationer over VRD-kvalitetsstandarderne og at både DPF-6-Lag og DPF-18-Lag kan reducere koncentrationen til det krævede niveau. De to undersøgte organotin-

forbindelser blev også konstateret i indløbsvandet, og der sås en markant reduktion under passage af filtrene. Kloroform kunne ikke påvises i indløbsvandet i betydelig koncentration, men sås at stige i koncentration fra indløb til udløb, hvilket indikerer produktion af kloroform i filtrene.

Partikelstørrelsesfordeling af SS

Ved to tilfælde af dagsregn er der udtaget prøver af indløbsvand og af vand i højporøse strømningsslag i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i stigende afstand fra indløbet til analyse for partikelstørrelsesfordeling ved laser-diffraktion. Indløbsvandet, der som bekendt har passeret sandfang før ankomst til anlægget, indeholdt ca. 300 mg suspenderet stof/L ved den ene hændelse, og ca. 90 mg/L ved den anden hændelse. I begge tilfælde bestod 90 % af det suspenderede stof af partikler med diameter under ca. 30 μm , og 50 % var under 5-8 μm . Under passage af filteret forskydes partikelstørrelsesfordelingen mod mindre diametre, svarende til at de største partikler fjernes først. Ved at sammenholde fjernelsen af suspenderet stof med partikelstørrelsesfordelingen kan det konkluderes at begge DPF-anlæg fjerner partikler ned til under 2 μm i diameter.

Korrelation mellem turbiditet, EC, Zn, Cu, Cr, Pb og P

På baggrund af felt-analyser af turbiditet og elektrisk ledningsevne i ind- og udløbsvand i de 25 hændelser er der fundet god korrelation mellem turbiditet og suspenderet stof-indhold ($R^2 = 0,85$), men ingen korrelation mellem elektrisk ledningsevne og suspenderet stofindhold. Turbiditeten ses endvidere at være tydeligt korreleret med Pb ($R^2 = 0,89$), Cu ($R^2 = 0,77$), P ($R^2 = 0,73$) og Zn ($R^2 = 0,69$), men ikke med Cr ($R^2 = 0,12$). Turbiditetsmålinger vurderes derfor at være velegnede til at estimere indholdet af disse stoffer i vejvand, men man skal være opmærksom på at indholdet af Cr er dårligt korreleret.

1. Massebalancer for suspenderet stof, zink, kobber, krom, bly og fosfor

Baggrund

Vejvand indeholder store mængder suspenderet stof (SS) og kritiske niveauer af Zn, Cu, Cr, Pb og P. Som dokumenteret i Basisrapporten sker der en effektiv fjernelse af SS, Zn, Pb og P i både DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, og en betydelig reduktion af kobber og krom. For at få et overblik over hvor store forureningsmængder filteret akkumulerer over tid opstilles massebalancen for hver enkelt komponent:

$$\text{Forurening akkumuleret} = \text{Forurening ind} - \text{Forurening ud.}$$

Formål

At opstille massebalancer for af SS, Zn, Cu, Cr, Pb og P i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i perioden 15.1.2007 – 26.7.2007 og at sammenligne akkumulering af forurening på årsbasis, dels under den aktuelle udformning af filtrene, dels under antagelse om at problemet med faldende hydraulisk kapacitet i DPF-18-Lag kan løses i fremtidige anlæg..

Metode

Massebalancer beregnes ud fra akkumuleret flow (V) gennem henholdsvis DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i ovennævnte periode, samt de i Basisrapporten beregnede gennemsnitskoncentrationer for indløb og DPF-6-Lag og DPF-18-Lag udløb baseret på 25 hændelser (Basisrapportens Tabel 1):

$$\text{Stofakk} = \text{Stofind} - \text{Stofud},$$

hvor

$$\text{Stofakk} = \text{akkumuleret masse i filter}$$

$$\text{Stofind} = \text{akkumuleret masse ind} = V * C_{\text{ind}}$$

$$\text{Stofud} = \text{akkumuleret masse ud} = V * C_{\text{ud}}$$

$$V = \text{akkumuleret flow gennem filter}$$

$$C_{\text{ind}} = \text{stof koncentration ind}$$

$$C_{\text{ud}} = \text{stof koncentration ud}$$

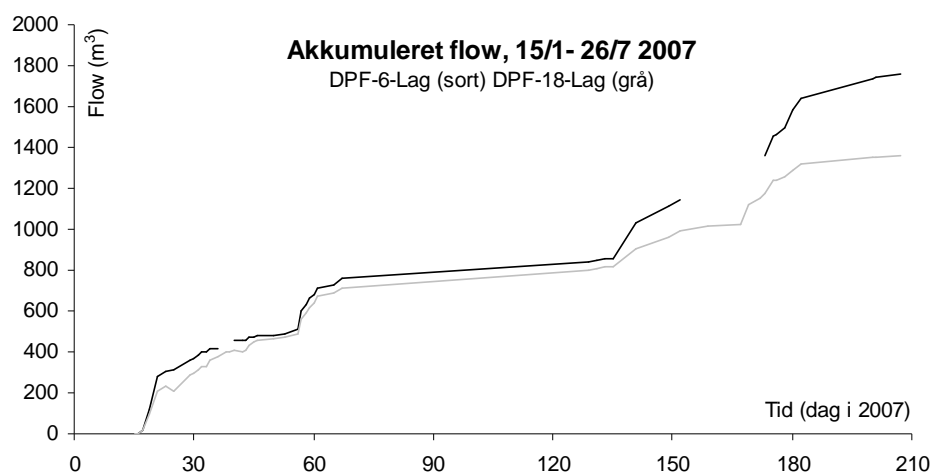
Beregning af det akkumulerede flow gennem filtrene er baseret på manuelle aflæsninger af flowmålerne på udløbssiden. I måleperioden er flowmåleren i DPF-6-Lag udløb udskiftet og nulstillet 3 gange. Dermed er der 3 delperioder uden flowdata for DPF-6-Lag. For disse perioder er flow gennem DPF-6-Lag estimeret ud fra flow gennem DPF-18-Lag, korrigeret efter forholdet mellem flow gennem de to filtre i den forudgående delperiode.

Resultat og diskussion

Det akkumulerede flow gennem DPF-6-Lag og DPF-18-Lag fremgår af figur 1.1. I måleperioden er det samlede flow gennem DPF-6-Lag 1761 m³ og for DPF-18-Lag 1363 m³, dvs. at i alt godt 3000 m³ vejevand har passeret anlægget på godt et halvt år. Dette volumen er i god overensstemmelse med den mængde, der må forventes ud fra normal årsnedbør, opland og dimensionering (se afsnit 3).

Figur 1.1 viser, at de akkumulerede flow for DPF-6-lag og DPF-18-Lag følges ad de første ca. 130 dage, hvorefter flow gennem DPF-18-Lag akkumulerer langsommere. Dette indikerer begyndende problemer med tilstopning af DPF-18-Lag, jf. Basisrapportens diskussion om hydraulisk kapacitet (Basisrapport, s. 25).

Basisrapportens koncentrationer af stof i ind- og udløb, der bruges til beregning af massebalancer, er samlet i Tabel 1.1. De resulterende massebalancer for DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i perioden 15. januar til 16. juli 2007 fremgår af Tabel 1.2.



Figur 1.1: Akkumuleret flow i perioden 15/1 – 26/7 2007 gennem DPF-6-Lag og DPF-18-Lag. Der ses to huller i kurven for DPF-6-Lag, som skyldes to ud af tre nedbrud af flowmåler. Det tredje nedbrud er sidst i perioden og fremgår derfor ikke af figuren. Flow i perioderne med nedbrud er estimeret ud fra flow i DPF-18-Lag

Tabel 1.1: Input data til beregning af massebalancer for perioden 15.1.2007 – 26.7.2007. Gennemsnitlige koncentrationer af stof for 25 hændelser (fra Basisrapportens Tabel 1)

| | | INPUT-DATA | | |
|-------------|----------------|------------|-----------|------------|
| | | Indløb | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
| SS | mg/L | 123,2 | 10,5 | 1,4 |
| Zink | µg/L | 98,2 | 29,5 | 12,5 |
| Kobber | µg/L | 24,7 | 12,2 | 9,6 |
| Krom | µg/L | 18,4 | 10,9 | 10,0 |
| Bly | µg/L | 8,6 | 1,0 | 0,2 |
| Fosfor | µg/L | 177,6 | 47,4 | 39,0 |
| Vandvolumen | m ³ | - | 1761 | 1363 |

Tabel 1.2 Massebalancer SS, Zn, Cu, Cr, Pb og P for DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for perioden 15.1.2007 – 26.7.2007.

| | | Ind | DPF-6-Lag Ud | Akk. |
|--------|----|-------|---------------|-------|
| SS | kg | 216,9 | 18,5 | 198,4 |
| Zink | g | 172,9 | 51,9 | 121,0 |
| Kobber | g | 43,5 | 21,5 | 22,1 |
| Krom | g | 32,3 | 19,2 | 13,1 |
| Bly | g | 15,2 | 1,8 | 13,4 |
| Fosfor | g | 312,9 | 83,4 | 229,5 |
| | | Ind | DPF-18-Lag Ud | Akk. |
| SS | kg | 167,9 | 1,9 | 166,0 |
| Zink | g | 133,8 | 17,0 | 116,8 |
| Kobber | g | 33,7 | 13,1 | 20,6 |
| Krom | g | 25,0 | 13,6 | 11,4 |
| Bly | g | 11,8 | 0,3 | 11,5 |
| Fosfor | g | 242,1 | 53,2 | 188,9 |

Det større flow gennem DPF-6-Lag medfører i kombination med stor tilbageholdelse, at der i perioden er akkumuleret ca. 20 % mere suspenderet stof i DPF-6-Lag (198 kg) end i DPF-18-Lag (166 kg). Et tilsvarende mønster ses for de øvrige komponenter, men for tungmetallerne er forskellen knap så markant. Dette antyder, at finfraktionen af suspenderet stof, der fjernes mere effektivt i DPF-18-Lag end i DPF-6-Lag, bærer en relativt større andel af tungmetallerne end de grovere partikler.

De estimerede massebalancers præcision afhænger af i hvilken grad de 25 analyserede hændelser, er repræsentative for det behandlede vand. Selv om 25 er et betydeligt antal, er hovedparten af de ca. 3000 m³ behandlet vejevand ikke analyseret. Et mere præcist estimat for SS kan sandsynligvis opnås ved at tage udgangspunkt i analyser af on-line målinger af turbiditeten af indløbsvandet. Dette forudsætter, at der kan opstilles en pålidelig omregningsfaktor mellem turbiditet og SS-indhold (se afsnit 8), og at de tilhørende on-line flowregistreringer ikke er behæftet med for mange udfald. Dette undersøges ikke i nærværende rapport.

Konklusion

I den aktuelle udformning af pilotanlægget i Ørestad akkumulerer DPF-6-Lag mere forurening end DPF-18-Lag. Det skyldes DPF-6-Lags solide stoffjernelse i kombination med vedvarende høj hydraulisk ledningsevne. DPF-18-Lag har en bedre stoffjernelse, men på grund af faldende hydraulisk ledningsevne behandles mindre vand og akkumuleringen bliver dermed mindre. De beregnede akkumuleringer for det første halvår af suspenderet stof er for DPF-6-Lag 198,4 kg SS, mens det for DPF-18-Lag er 166 kg. En tilsvarende forskel ses for fosfor, hvor DPF-6-Lag akkumulerer 229,5 g mod 188,9 g i DPF-18-Lag. For tungmetallerne er forskellene langt mindre markante, hvilket tilskrives at uforholdsmæssigt meget tungmetal er associeret med finfraktionen af det suspendede stof, der fjernes markant mere effektivt i DPF-18-Lag (se afsnit 7). Fremskrives akkumuleringerne under forudsætning af, at fremtidige DPF-18-Lag opbygninger (DPF-anlæg med 4 mm strømningslag) kan konstrueres, så problemet med tilstopning og faldende hydraulisk ledningsevne undgås, vil tilbageholdelsen af tungmetallerne være 10-20 % større i DPF-18-Lag end i DPF-6-Lag.

2. Indhold af organisk materiale i suspenderet stof (glødetab)

Baggrund

Andelen af organisk stof i det tilbageholdte sediment er interessant, dels fordi denne andel potentielt kan nedbrydes og forsvinde ud af anlægget som CO₂, hvorved filterets levetid forlænges, dels fordi en andel organisk materiale i det tilbageholdte sediment formodes at fremme sorptionen af opløste organiske forureninger, f.eks. PAH'er. Det er også interessant at se om andelen af organisk stof er identisk ved ind- og udløb. Man kunne forestille sig at der er en sammenhæng mellem partikelstørrelse og organisk andel, f.eks. at de mindste partikler har det højeste indhold af organisk materiale, mens store partikler i højere grad er mineralsk materiale. Denne analyse vanskeliggøres dog rent metodisk af de meget lave indhold af suspenderet stof i udløbsvandet, og deraf følgende usikker bestemmelse af den organiske andel, der bestemmes som sedimentets glødetab.

Indholdet af organisk stof i vejvand kan dels stamme fra aflejret jordmateriale, der typisk indeholder 0,5 – 3 % organisk stof (humus), dels fra nedfaldne blade og andet plantemateriale i vejens opland. En mindre andel kan udgøres af slid på materialer baseret på mineralsk olie, f.eks. dæk, bitumen og bremseklodser, samt tab af olie.

Formål

At bestemme niveauet af organisk materiale i indløb og udløb fra DPF-6-lag og DPF-18-Lag. Desuden er formålet at vurdere om andelen er konstant fra indløb til udløb, samt at vurdere andelens korrelation med totalindhold af suspenderet stof.

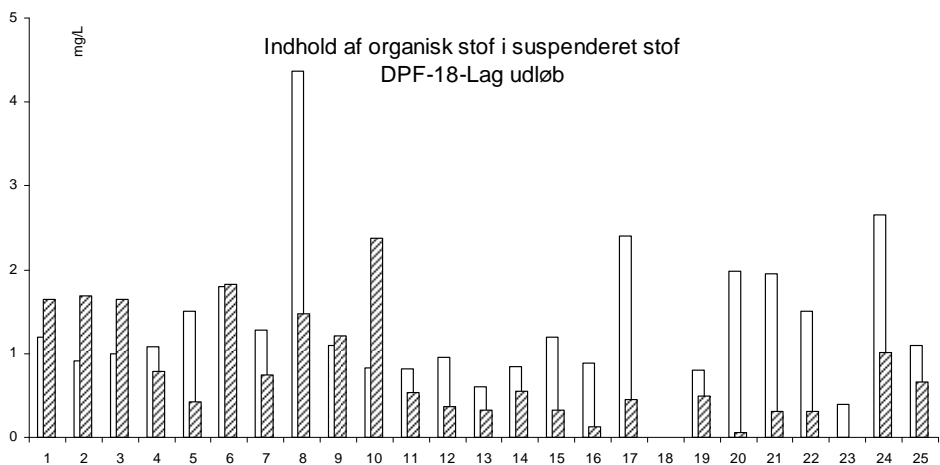
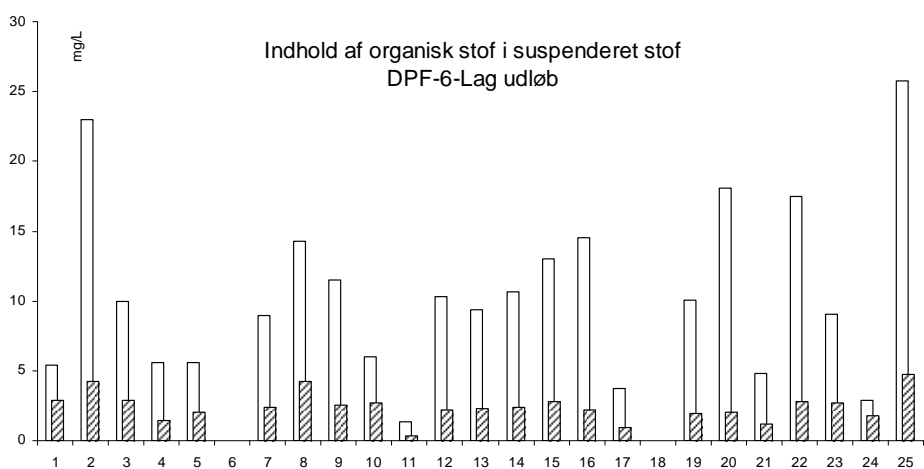
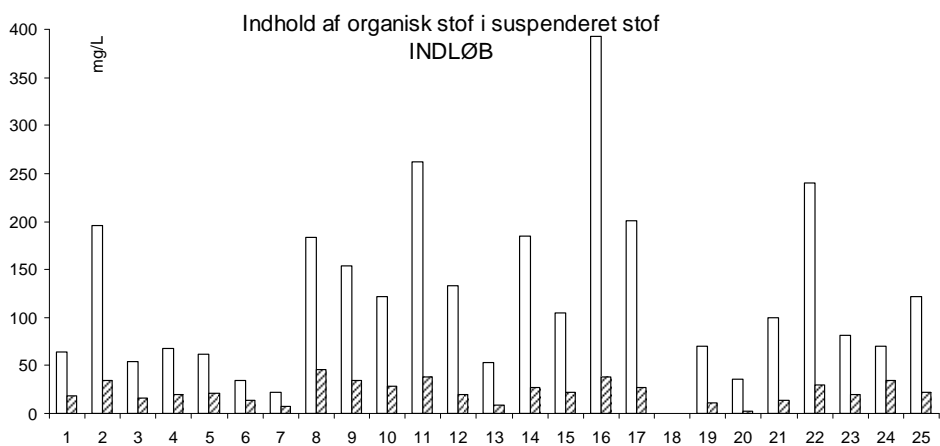
Metode

Størrelsen af den organiske fraktion i suspenderet stof bestemmes efter Dansk Standard DS 207:1985, eftersom der ikke findes en europæisk standard. Analysen udføres i forlængelse af bestemmelsen af suspenderet stof, idet det tørrede sediment forglødes i muffelovn ved 550 °C i 1 time, hvorefter askeresten vejes, og glødetabet (= indholdet af organisk stof) beregnes som vægtforskellen mellem tørt sediment og askerest.

Som det fremgår af de efterfølgende grafer findes der ikke data for suspenderet stof, og dermed ikke glødetabsdata for hændelse 18, og for DPF-6-Lag i hændelse 6. Se Basisrapport for uddybning omkring manglende data.

Resultater og diskussion

Indholdet af organisk suspenderet stof i bulkprøver fra de op til 24 analyserede hændelser er i figur 2.1 vist sammen med totalindholdet af suspenderet stof. Glødetabsbestemmelserne for DPF-6-Lag og især for DPF-18-Lag er som nævnt meget usikre, da totalindholdet af suspenderet stof er forsvindende i udløbsvandet. Dette er også forklaringen på, at nogle af glødetabstallene for DPF-18-Lag er større end totalmængden af suspenderet stof.



Figur 2.1: Andelen af organisk stof (skraveret søjle) i suspenderet stof (hvid søjle) i bulkprøver fra hver enkelt hændelse i indløb, DPF-6-Lag udløb og DPF-18-Lag udløb. Det organiske stof i udløbsprøverne (DPF-6-Lag og DPF-18-Lag) er kun retningsgivende, da det lave totalindhold gør bestemmelsen usikker.

Tabel 2.1 Gennemsnitligt indhold af og suspenderet stof (SS) organisk stof (OS) i de op til 24 hændelser. Organisk stof i DPF-18-Lag er bestemt under stor usikkerhed, og er derfor kun retningsgivende (vist i parentes). Den gennemsnitlige andel af organisk stof er vist i % med tilhørende standardafvigelse.

| | SS | | OS | | OS i % af SS | |
|------------|-----------|---------------|-----------|---------------|--------------|------------|
| | gns. mg/L | std.afv. mg/L | gns. mg/L | std.afv. mg/L | % | std.afv. % |
| INDLØB | 123,2 | 88,3 | 23,1 | 11,0 | 18,7 | 10,0 |
| DPF-6-Lag | 10,5 | 6,2 | 2,4 | 1,0 | 23 | 11,9 |
| DPF-18-Lag | 1,4 | 0,8 | 0,8* | (0,7) | 56* | (84) |

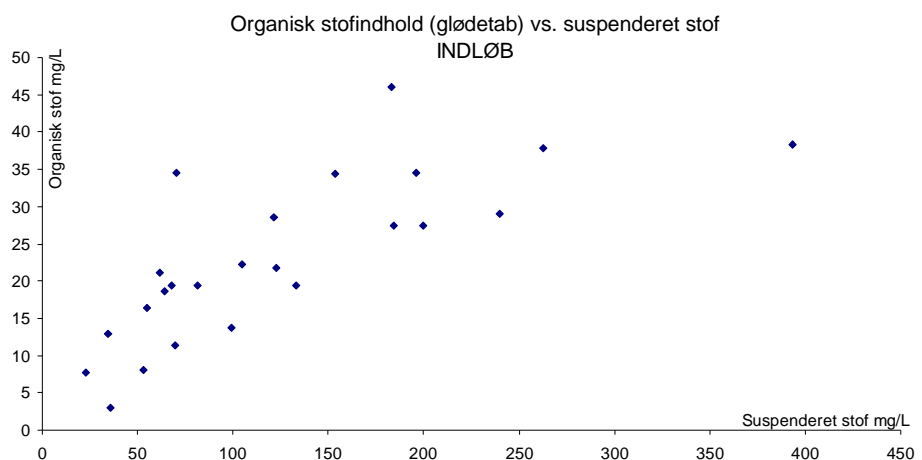
*Bestemmelsen usikker pga. små prøvemængder

Det gennemsnitlige indhold af organisk stof og suspenderet stof er vist samlet i Tabel 2.1. Det fremgår, at ca. 1/5-del af det suspenderede stofindhold i indløbsvandet er organisk materiale. Denne andel ses at være nogenlunde konstant (standardafvigelse på 10 %-point) uafhængigt af det totale indhold af suspenderet stof i indløbsprøverne, der varierer stærkt. Dog viser figur 2.2, at sammenhængen ikke nødvendigvis er lineær, idet organisk stof ser ud til at udgøre en lavere andel af det suspenderede stof ved såvel de laveste som de højeste koncentrationer af suspenderet stof.

Under passage af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag reduceres andelen af organisk stof stort set parallelt med det totale indhold af suspenderet stof, hvilket indikerer at hovedparten af det organiske materiale er forbundet med de mineralske partikler og sedimenterer sammen med dette (Figur 2.1). Den lille stigning i andelen af organisk stof fra 18,7 % i indløbet til 23 % i udløbet fra DPF-6-Lag (og til 56 % i DPF-18-Lag) er ikke signifikant, men kan dog antyde at organisk stof er overrepræsenteret i de fineste fraktioner af det suspenderede stof.

Konklusion

Det konkluderes, at organisk stof i gennemsnit udgør 18,3 % af det suspenderede stof i de 24 analyserede indløbsprøver (standardafvigelse 10 %-point, dvs. 95 % af prøverne har organisk stofandel på 8,3 – 28,3%).



Figur 2.2: Organisk stofindhold plottet mod suspenderet stof indhold. Data stammer fra de 24 indløbsprøver.

3. Levetidsbetragtninger for DPF-anlæg i Ørestad

Baggrund

Filtrenes levetid er en væsentlig faktor for vurdering af omkostninger forbundet med rensning af vand ved hjælp af DPF-teknologien.

Filteret er ”dødt”, når det ikke længere kan rense tilstrækkeligt effektivt overfor en eller flere forureningskomponenter. I forbindelse med vejvandsrensning forventes suspenderet stof, at være den forureningskomponent, der med størst sandsynlighed afgør filterets levetid. Det er vanskeligt at forestille sig at tungmetaller eller miljøfremmede organiske forbindelser kan udgøre den begrænsende faktor. Primært fordi hovedparten af disse stoffer er associeret med suspenderet stof (jf. afsnit 4) og dermed fjernes sammen med dette, sekundært fordi det akkumulerede suspenderede stof i sig selv tilfører sorptionspladser i tillæg til kalkens med affinitet for tungmetaller (Jensen et al., 2007). I Ørestad, der på prøvetagningstidspunktet var en byggeplads, formodes indholdet af suspenderet stof at overskride gennemsnittet for trafikerede områder, der ifølge Göbel et al. (2007) ligger på 150 – 163 mg/L. Disse data er dog ikke direkte sammenlignelige med data for indløbsvandet til DPF-filteret, idet dette vand allerede har passeret en forrensning i form af sandfanget ved pumpestationen.

I det følgende estimeres filtrenes levetid med suspenderet stof som begrænsende faktor. Et dobbeltporøst filter mister evnen til at tilbageholde suspenderet stof, når alle hulrum i de lavporøse lag, dvs. kalkmåtterne, er fyldt op med sedimenteret suspenderet stof. I praksis vil regenerering skulle foretages før hulrumskapaciteten når nul, idet sedimentering af suspenderet stof forløber ujævnt med størst sedimentering tættest på indløbet (se afsnit 7). I takt med at de lavporøse lag fyldes op vil indholdet af suspenderet stof således blive transporteret stadig tættere udløbet før sedimentation kan forekomme. Regenerering skønnes derfor at skulle ske, når hulrumskapaciteten er under 25 % (udnyttelsesgrad $\alpha = 0,75$).

I betragtning af at levetiden forventes at være adskillige år, er det relevant at vurdere muligheden for mikrobiel nedbrydning af sediment, da dette vil forlænge filterets levetid. Nedbrydningspotentialet vil være bestemt af andelen af organisk materiale i sedimentet, og materialets nedbrydelighed. Eftersom en del af det organiske materiale, f.eks. gummipartikler, vil være svært nedbrydeligt foretages levetidsberegninger under antagelse af henholdsvis 0 % og 50 % nedbrydning (nedbrydningskoefficient, γ , = 0 eller 0,5).

Som det fremgår af afsnit 5 udvaskes calcium fra filteret. Dette tilskrives opløsning af kalken. Betydningen heraf for filterets levetid vurderes afslutningsvis i nærværende afsnit.

Formål

At estimere levetiden af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag ud fra en vurdering af hvor hurtigt filtrene fyldes op med sedimenteret stof. Estimerne beregnes med og uden antagelse om mikrobiel nedbrydning af organisk fraktion, og for såvel et højt som et lavt tørstofindhold i sedimentet. Desuden beregnes filterets levetid ud fra observeret udvaskning af Ca.

Metode

Som ved beregningen af massebalancer (se afsnit 1) benyttes gennemsnitlig koncentration af suspenderet stof i ind- og udløbsvand baseret på de 25 hændelser til beregning af den årlige sedimentakkumulering (Basisrapport). Frem for at benytte observeret akkumuleret flow benyttes det normerede flow, der for DPF-6-Lags vedkommende er i god overensstemmelse med det observerede flow (jf. afsnit 1). Dette ud fra en betragtning om at problemer med tilstopning af DPF-18-Lag på indløbssiden kan løses i evt. fremtidige fuldskalaanlæg, og at levetiden for DPF-18-Lag derfor ville overvurderes hvis den estimeres ud fra observeret flow.

Levetiden T målt i år beregnes ud fra kalkens teoretiske sedimentlagerkapacitet, sat i forhold til den årlige sedimentakkumulering:

$$T = \frac{V_h \cdot C_{ts} \cdot \alpha}{(SS_{ind} - SS_{ud}) \cdot Q_n \cdot (1 - \beta \cdot \gamma)}$$

hvor

T = levetid (år)

V_h = Hulrumsvolumen i lavporøse lag (m^3)

C_{ts} = Rumvægt af sediment (kg/m^3)

SS_{ind} = Gennemsnitlig koncentration af SS i indløb (kg/m^3)

SS_{ud} = Gennemsnitlig koncentration af SS i udløb (kg/m^3)

Q_n = Normeret årsflow gennem filter ($m^3/år$)

α = Koefficient for udnyttelse af hulrumsvolumen (sættes til 0,75)

β = Andel af organisk stof i SS i indløb

γ = Koefficient for nedbrydning af organisk fraktion (sættes til 0 eller 0,5)

Hulrumsvolumen i lavporøse lag i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag (V_h)

Hulrumsvolumen, (V_h), i lavporøse lag i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag beregnes ud fra dimensioneringen af de to filtre samt producentoplysninger om den anvendte kalks hulrumskoefficient (porøsitet) (http://www.faxekalk.dk/pdf/Vandbehandlingskalk_januar_2006.pdf).

Beregningerne fremgår af nedenstående Tabel 3.1.. Det ses, at hulrumsvolumenet i DPF-6-Lag er godt $5 m^3$ og i DPF-18-Lag knap $17 m^3$.

Tabel 3.1: Beregning af hulrumsvolumen i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag.

| | | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
|---|-------|-----------|------------|
| Antal lavporøse lag, n | | 6 | 18 |
| Længde, l | m | 49,6 | 49,6 |
| Laghøjde, h | m | 0,01 | 0,01 |
| Lagbredde, b | m | 3,4 | 3,4 |
| Filtervolumen, $V_f = n * l * h * b$ | m^3 | 10,2 | 30,7 |
| Kalkens hulrumskoefficient ¹⁾ , ϕ | | 0,54 | 0,54 |
| Hulrumsvolumen, $V_h = V_f * \phi$ | m^3 | 5,5 | 16,6 |

1) Baseret på producentoplysninger om at kalken pakker med 1250 kg/m^3 , og har en massefylde på 2700 kg/m^3 , svarende til en porøsitet på 54 %.

Normeret flow gennem DPF-6-Lag og DPF-18-Lag (Q_n)

Det reducerede areal tilkøbt pilotanlægget er 1,3 ha (0,65 reduceret ha pr. filter). Den forventede nedbør er 580 mm/år, hvoraf 95 % forventes at passere pilotanlægget. Det giver samme normeret flow gennem DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, nemlig $3582 \text{ m}^3/\text{år}$.

Rumvægt af aflejret sediment, C_s

For at få et mål for tørstofindholdet i sedimentet er der dels foretaget vægtfyldebestemmelse i eget laboratorium på sediment udskrabt fra pilotanlægget, dels indhentet litteraturværdier.

En skefuld sediment udskrabt fra kalkmåtterne på indløbssiden til DPF-18-Lag blev i laboratoriet opslemmet i en portion vand (ca. 40 ml). Opslemningen overførtes kvantitativt til et 50 ml måleglas og efterladt til sedimentation indtil der ikke længere sås yderligere sætning og vandet over sedimentet var klart. Det tog i praksis 1 uge. Herefter aflæstes sedimentvolumenet og måleglassets indhold overførtes kvantitativt til en skål til tørstofbestemmelse. Tørstofindholdet blev bestemt ved vejning efter tørring ved 105 °C i 2 døgn. Der arbejdedes med tre gentagelser. Som det fremgår af Tabel 3.2 beregnes sedimentets rumvægt med denne metode til ca. 360 kg/m^3 .

Hvorvidt sediment udskrabt på indløbssiden lejr sig i et måleglas med et tørstofindhold, der er repræsentativt for al sedimentlejrningen i filteret er usikkert. Analyser af partikelstørrelsesfordelingen af suspenderet stof på langs af filteret under to regnhændelser (se afsnit 7) viser at de største partikler sedimenterer først. Det er muligt at de finere partikler, der sedimenterer tættere på udløbet, pakker tættere og dermed danner et sediment med større rumvægt. En anden faktor, der kan have betydning for sedimentets rumvægt, er de gentagne afdræninger, der forekommer efter hver regnhændelse, og som må formodes at få sedimentet til at lejre sig tættere.

Tabel 3.2: Bestemmelse af tørstofindhold i sediment udskrabt fra indløbsvandet til DPF-18-Lag.

| | Sedimentvolumen, Vs efter 1 uges henstand ml | Tørstof , TS g | Rumvægt, Cts = TS/Vs kg/m ³ |
|-----------------|---|--------------------------|---|
| Sedimentprøve 1 | 29,5 | 10,53 | 357 |
| Sedimentprøve 2 | 27,0 | 10,0 | 370 |
| Sedimentprøve 3 | 27,5 | 9,87 | 359 |
| Gennemsnit | - | - | 362 |

Ifølge Spildevandskomitéen (IDA, Spildevandskomitéen, 2006) er der for 59 regnvandsbassiner i Helsingør Kommune fundet et gennemsnitligt tørstofindhold på 269 kg/m³ vandmættet sediment. Variationen er imidlertid betydelig, idet den spænder fra 65 kg/m³ til 690 kg/m³.

I betragtning af den betydelige usikkerhed omkring tørstofindholdet i det aflejrede sediment foretages levetidsberegninger ud fra to værdier, nemlig 360 kg tørstof/m³ sediment som sandsynlig minimumsværdi og 690 kg tørstof/m³ som sandsynlig maksimum værdi.

Andel af organisk stof i sediment (β)

Andelen af organisk stof i sedimentet antages at være identisk med organisk andel i suspenderet stof i indløbsvandet, der fås fra glødetabsanalyserne som beskrevet i afsnit 2. Af Tabel 2.1 fremgår, at indløbsvandet har et gennemsnitligt indhold af organisk stof på 18,7 %, svarende til en koefficient på 0,187. Da udløbsvandet fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag synes at have en lidt højere organisk andel end indløbsvand, giver den valgte koefficient en lille overvurdering af andelen af tilbageholdt organisk stof i sedimentet.

Mikrobiel nedbrydelighed af organisk stof i sediment (γ)

Der er ikke indhentet litteraturværdier herfor. Levetiden beregnes derfor med en antagelse om enten ingen nedbrydning eller en nedbrydelighed på 50 % i løbet af filterets levetid, svarende til koefficienter (γ) på 0 og 0,5.

Tab af kalk fra filterne

Som beskrevet i afsnit 5 ses kalk, at udvaskes fra filteret. Med udgangspunkt i de gennemsnitlige koncentrationer af Ca i indløb og udløb fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag (Tabel 5.2) kan den årlige tabsrate beregnes og sættes i forhold til den totale masse af kalk i filterne. ICP-MS data for Ca er 10 til 100 gange større end den anvendte standarddrække, og data er derfor kun retningsgivende. Det årlige tab beregnes ud fra normflow.

Resultater

Input til estimering af levetiden er opsummeret i Tabel 3.3. Estimeringen af levetid i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag under antagelse om 75 % udnyttelse af hulrumskapacitet i lavporøse lag, med eller uden mikrobiel nedbrydning af andelen af organisk materiale i sedimentet, og med højt eller lavt tørstofindhold i sedimentet fremgår af Tabel 3.4.

Kalkens opløsningsrate med tilhørende beregninger fremgår af tabel 3.5

Tabel 3.3: Input til beregning af estimeret levetid af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag.

| | | INPUT-DATA | |
|---|--------------------|------------|------------|
| | | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
| SSind | kg/m ³ | 0,123 | 0,123 |
| Ssud | kg/m ³ | 0,0105 | 0,0014 |
| Hulrumsvolumen (Vh) | m ³ | 5,5 | 16,6 |
| Koefficient for udnyttelse af Vh (α) | - | 0,75 | 0,75 |
| Koefficient for organisk andel (β) | - | 0,187 | 0,187 |
| Koefficient for org. nedbrydning (γ) | - | 0,5 | 0,5 |
| Normeret flow (Qn) | m ³ /år | 3582 | 3582 |
| Sediment-rumvægt minimum (Cts) | kg/m ³ | 360 | 360 |
| Sediment-rumvægt maximum (Ctc) | kg/m ³ | 690 | 690 |

Tabel 3.4: Estimeret levetid for DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i Ørestad, ved 75 % udnyttelse af hulrumsvolumen, to sedimenttætheder, og med og uden mikrobiel nedbrydning.

| Levetid i år | | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
|--|-------------------------------|-----------|------------|
| Min. tørstof (360 kg/m ³) | uden nedbrydn., $\gamma = 0$ | 3,7 | 10,3 |
| | med nedbrydn., $\gamma = 0,5$ | 4,1 | 11,3 |
| Max. tørstof (690 kg/m ³) | uden nedbrydn., $\gamma = 0$ | 7,1 | 19,7 |
| | med nedbrydn., $\gamma = 0,5$ | 7,8 | 21,7 |

Tabel 3.5: Udvaskning af kalk fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag

| | | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
|--|--------------------|-----------|------------|
| Udvaskning af Ca (ud – ind, Tabel 5.2) | mg/L | 15,7 | 26,7 |
| Udvaskning af kalk (CaCO ₃) | mg/L | 39,4 | 66,6 |
| Norm flow gennem filter | m ³ /år | 3582 | 3582 |
| Årligt tab af kalk | kg/år | 141 | 239 |
| Kalkvolumen i filter (Tabel 3.1) | m ³ | 10,2 | 30,7 |
| Kalkmasse (1250 kg/m ³ , renhed 97 %) | kg | 12413 | 37239 |
| Tid til fuld opløsning af al kalk | år | 88 | 156 |

Diskussion

Estimaterne for levetid varierer fra 3,7 til 21,7 år. Som forventet er levetiden for DPF-18-Lag i alle kombinationer ca. tre gange så stor som for DPF-6-Lag, hvilket afspejler det ca. tre gange så store kalkvolumen i DPF-18-Lag. Det ses, at antagelserne om 50 % nedbrydning af organisk andel af akkumuleret sediment kun forlænger levetiden med højst 10 %. Den altafgørende faktor er den tæthed hvormed sedimentet pakkes, dvs. sedimentets rumvægt, der igen afhænger af tørstofindholdet. Denne tæthed

kendes som nævnt under metoder ikke for DPF-filteret, og de anvendte værdier er baseret på estimater. Det skal endnu engang understreges at de anførte levetider for DPF-18-Lag i den aktuelle udformning i Ørestad kun er sandsynlige hvis problemet med begyndende tilstopning kan løses.

Den estimerede tabsrate for kalk antyder, at ved maksimal levetid for DPF-6-Lag vil under 10 % af kalken være udvasket, mens det tilsvarende tal for DPF-18-Lag er ca. 14 %. Dette tab vurderes at være uden betydning.

Konklusion

Levetidsestimaterne for DPF-6-Lag spænder fra 3,7 år til 7,8 år, og for DPF-18-Lag fra 10,3 år til 21,7 år. Denne forskel mellem DPF-6-Lag og DPF-18-Lag afspejler forskellene i indbygget kalkvolumen. Forskelle i estimater inden for de to opbygninger skyldes primært antagelser om højt eller lavt tørstofindhold i sedimentet, og sekundært antagelser om nedbrydning af organisk andel. Tabet af kalk ved udvaskning er beskedent.

4. Fordeling af zink, kobber, krom, bly og fosfor på opløst og partikulær form

Baggrund

Basisrapporten dokumenterer totalindhold af stofferne kobber (Cu), zink (Zn), kobber (Cu) og krom (Cr) og fosfor (P) i ind- og udløb for 25 hændelser. For hver hændelse er andelen af stof på opløst form imidlertid også analyseret. Disse data vises og diskuteres her.

Totalindholdet af elementer i vejvand er fordelt på forskellige faser. Noget er associeret med forskellige fraktioner af det suspenderede stof, andet kan findes på opløst form, dvs. som frie eller kompleksbundne ioner eller molekyler. I praksis benyttes filtrering, typisk gennem et 0,45 µm filterpapir, til at få et mål for elementernes fordeling på såkaldt opløst form, dvs. elementandelen, der passerer med prøven gennem et 0,45 µm filterpapir, og på partikulær form, dvs. elementandelen der tilbageholdes på filterpapiret.

Det fineste suspenderede stof kan være meget småt, og forekomme som nano-partikler (fra 1 nm til 1 µm i diameter) eller makromolekyler. Under udviklingen af DPF-konceptet har denne viden udgjort en vigtig forudsætning, og DPF er i overensstemmelse hermed optimeret til såvel fjernelse af finpartikulært suspenderet stof som sorption af opløste reaktive forbindelser.

Vejvands forureningsindhold stammer dels fra den forudgående tørvejrperiode (tør depositionen fra atmosfære samt slidprocesser), dels fra afvaskning under selve nedbørshændelsen. Når vejvandet skyller af fra vejbanen vil der indstille sig nye kemiske ligevægte mellem de stoffer der mødes i vandfasen. Partikulært materiale vil underkastes en opslemningsproces, letopløselige forbindelser kan gå fra fast form til opløst form, eller udfælde, og ioner, molekyler og komplekser i vandfasen vil reagere efter affinitet med hinanden og med det suspenderede stof, resulterende i sorptions- og desorptionsprocesser. Graden af ligevægt vil afhænge af processernes reaktionstider og den tid (kontakttiden) der går fra vandet strømmer af og til det når frem til analysetidspunktet. I Ørestad inkluderer kontakttiden vandets opholdstid på kørebanen, i ledninger frem til pumpestation, i sandfang, i ledning til DPF-anlæg og i ISCO-fraktionsopsamlerne.

Formål

At beskrive fordelingen af Zn, Cu, Cr, Pb og P på partikulær og opløst form i de 25 hændelser behandlet i Basisrapporten. Derudover er formålet at vurdere betydningen af sorptionsprocesser for filterets funktion.

Metode

Som beskrevet i Basisrapporten under prøvetagning af ind- og udløbsvand blev der for hver hændelse fremstillet en filtreret bulkprøve, der efterfølgende blev analyseret ved ICP-MS analyse ved direkte injektion. Der anvendtes filterpapir med nominal porestørrelse på 0,45 µm. Stof, der kan passere denne porestørrelse, betegnes dermed som opløst:

Totalindhold = opløst indhold ($< 0,45 \mu\text{m}$) + indhold associeret med partikulært materiale ($> 0,45 \mu\text{m}$).

Resultater og diskussion

Fordelingen af Zn, Cu, Cr, Pb og P på partikulær og opløst form i indløbsvand vises grafisk for hver af de 25 hændelser i Figur 4.1 – 4.5. De tilsvarende fordelinger for udløbsvand fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag er vist nederst i samme figur, med fastholdelse af y-akse skalaforhold.

I Tabel 4.1 er gennemsnitsværdier for fordeling på partikulær og opløst form vist for alle stoffer samlet, og andelen af opløst stof i procent af totalindholdet er anført.

Figur 4.6 er et boksploot, der viser opløst stof i forhold til totalindholdet i indløb og udløbene fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for alle fem elementer. Forholdet varierer en del blandt de 25 hændelser, hvilket afspejles i boksploottene, der markerer medianværdi, laveste og højeste samt 25 og 75 % fraktil-værdier.

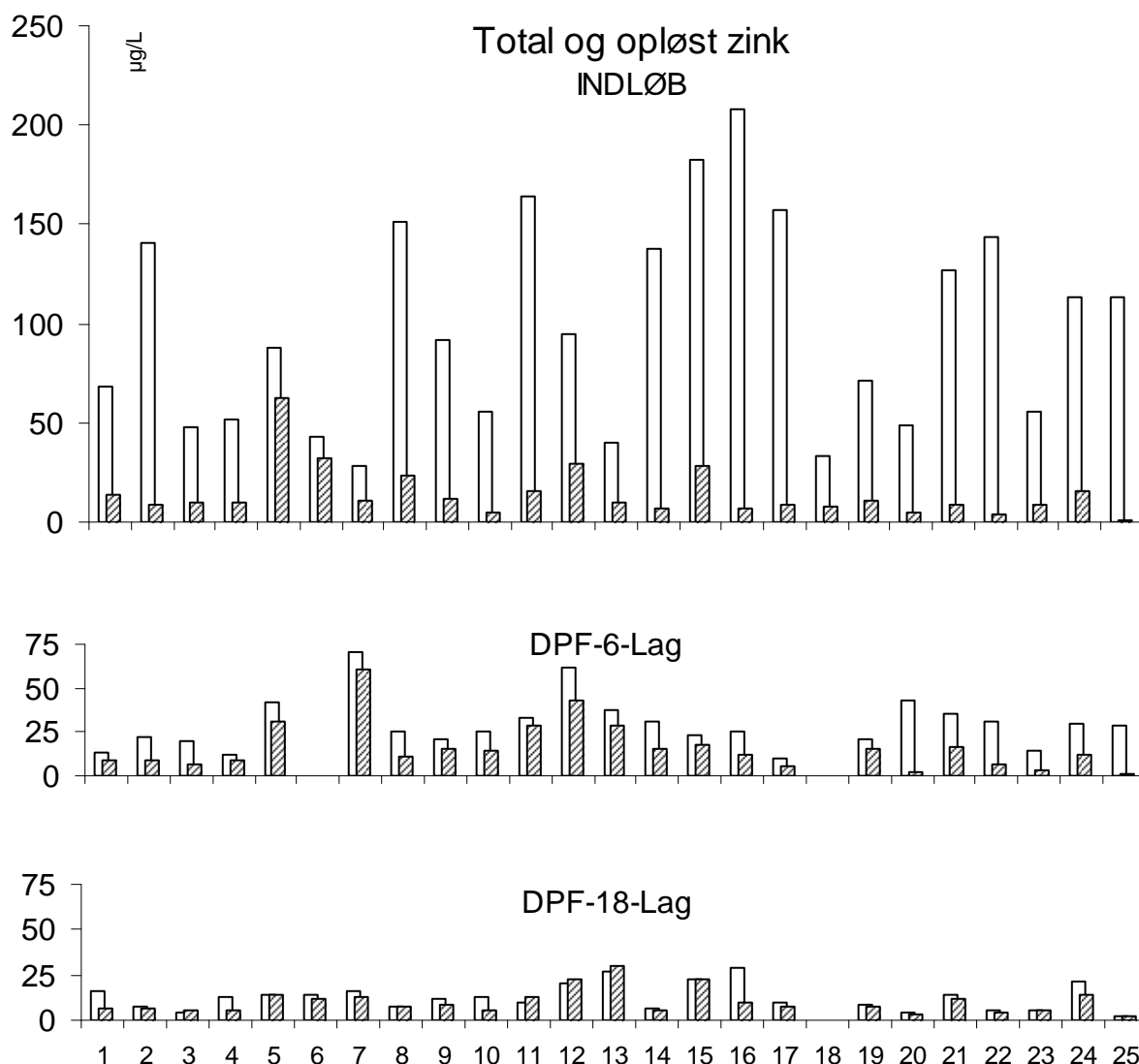
Generelt ses elementerne hovedsagligt at forekomme på partikulær form, dvs. associeret med det suspenderede stof, allerede når vejvandet ankommer til DPF-filtrene. Om det skyldes at elementerne stammer fra partikulære forureningskilder, eller om de opløste forbindelser associeres med det suspenderede stof efter selve afstrømningshændelsen, f.eks. i den tid der går fra en prøve er udtaget med ISCO-fraktionsopsamlere og til filtreringen foretages kan ikke afgøres med det forhåndenværende materiale.

I og med at de opløste koncentrationer er lave allerede i udgangspunktet er det vanskeligt at vurdere i hvilken grad DPF-filtrene er i stand til at fjerne opløste forureninger, dersom de reelt forefindes på opløst form ved ankomsten. Der er udført enkelte forsøg med kunstig tilsætning af tungmetaller til klart (partikelfrit) vand under recirkulering i filtrene, der kan indikere filtrenes evne til at reducere metalkoncentrationer fra højere niveauer (Data bringes i tillægsrapport II om Coatningsforsøg).

Fjernelsesgraden for de enkelte elementer kommer dermed i stor grad til følge fjernelsen af det suspenderede stof.

Zink, Zn

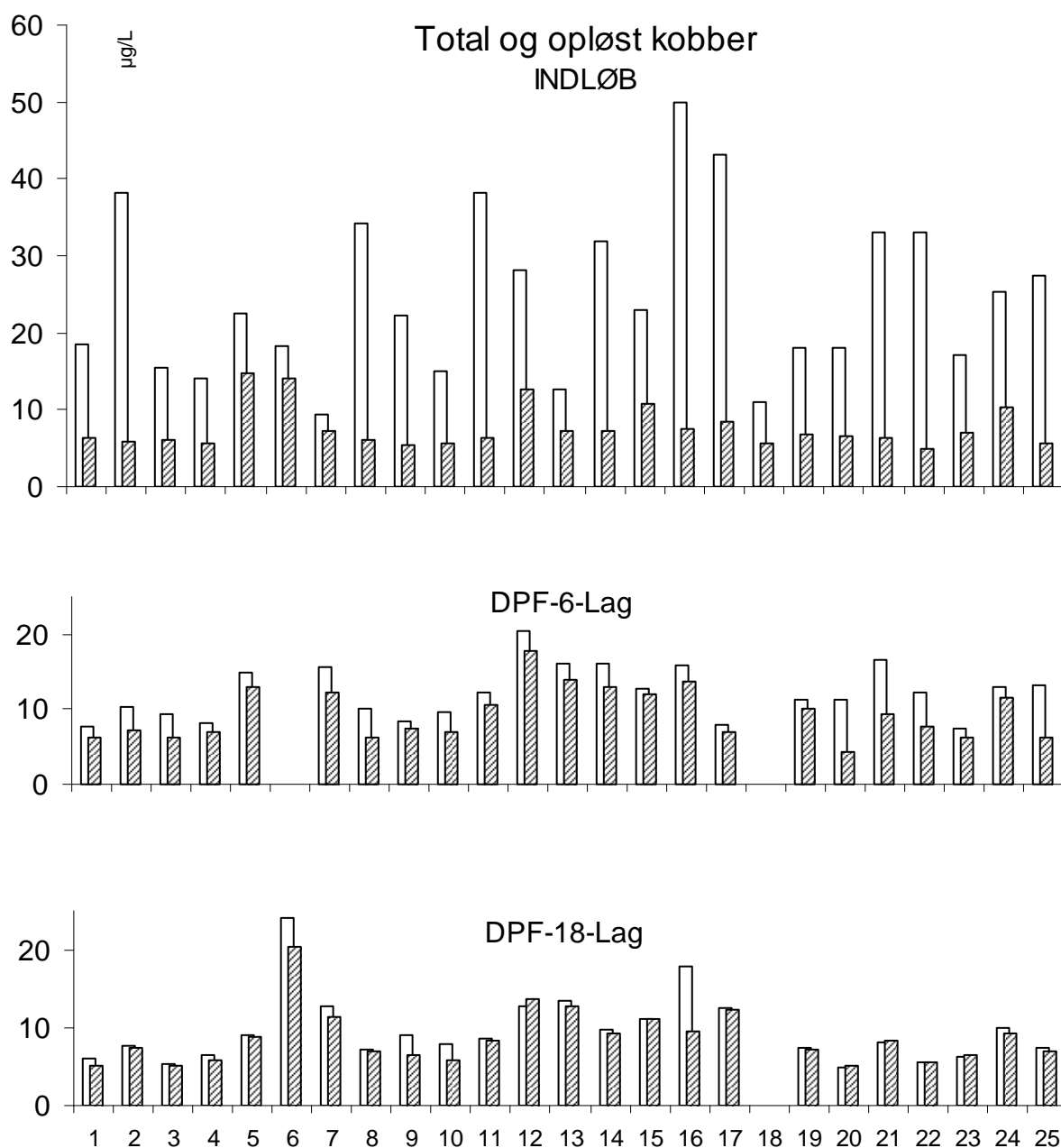
Figur 4.1 illustrerer at indholdet af opløst Zn generelt kun udgør en mindre andel af totalindholdet. Som det fremgår af boksplottet i Figur 4.6 udgør opløst Zn i et enkelt tilfælde op til 75 % af det totale indhold, men halvdelen af hændelserne ligger mellem 7 % og 21 %. I udløbene er indholdet af opløst Zn stort set uændret i forhold til indløbet, dog ses et lidt højere opløst indhold i DPF-6-Lag sammenlignet med DPF-18-Lag (Tabel 4.1). Begge anlæg fjerner partikulært zink i stort omfang, men synes ikke at være i stand til at bringe andelen af opløst Zn markant ned, hvilket antyder at niveauet ligger omkring ligevægtskoncentrationen mellem opløst og adsorberet Zn for de tilstedeværende sorbenter (kalk + sediment).



Figur 4.1: Totalindhold (hvid søjle) og indhold af opløst zink (skraveret søjle) i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for de 25 hændelser.

Kobber, Cu

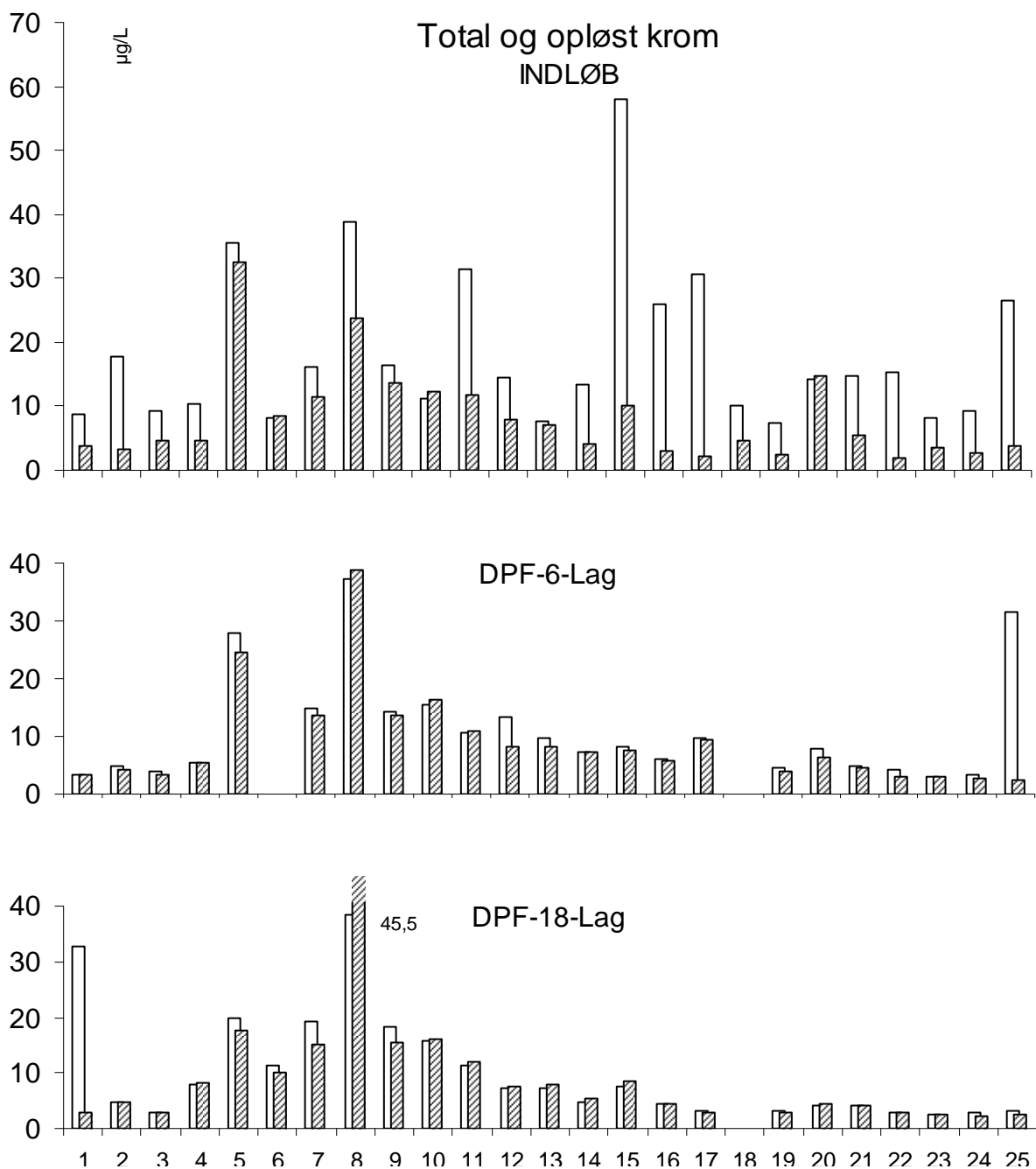
Figur 4.2 viser, at også indholdet af Cu hovedsagligt forekommer associeret med det suspenderede stof, dog med en større andel på opløst form end i tilfældet med Zn. Bokplottet i Figur 4.6 viser at opløst Cu udgør mellem 15 og 77 % af det totale indhold, og halvdelen af hændelserne ligger mellem 20 og 45 % opløst kobber. Der forekommer tilsyneladende ingen fjernelse af det opløste kobber under passage af filtrene. Tværtimod synes der at ske en svag stigning (Tabel 4.1). Som for Zn må det konkluderes at Cu-fjernelsen er knyttet til fjernelsen af det suspenderede stof, og at indløbskoncentrationerne tilsyneladende befinder sig omkring ligevægtskoncentrationerne for opløst Cu og de tilstedeværende sorbenter.



Figur 4.2: Totalindhold (hvid søjle) og indhold af opløst zink (skraveret søjle) i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for de 25 hændelser.

Krom, Cr

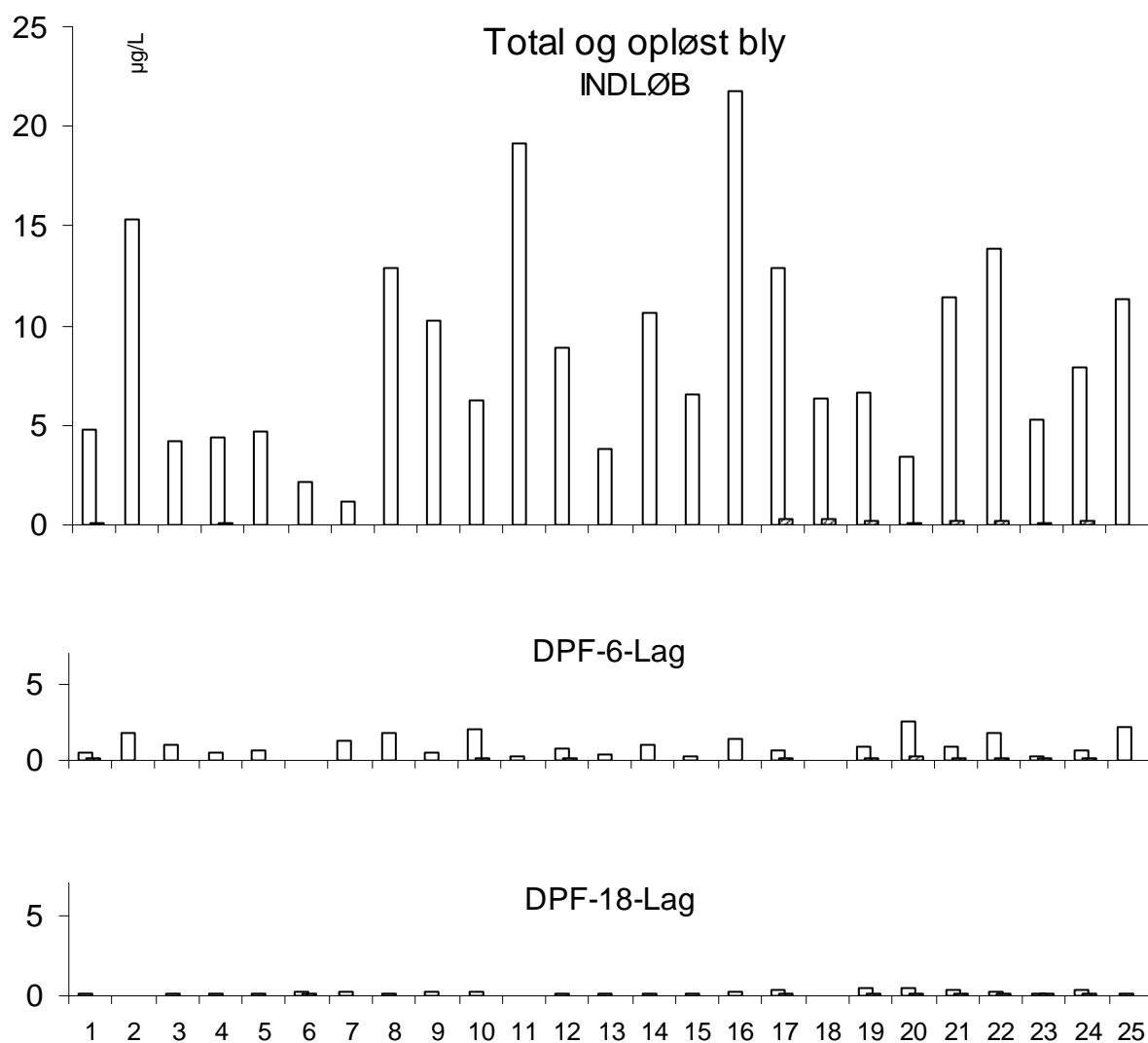
Figur 4.3 viser at Cr findes i betydelig grad på opløst form. Som det fremgår af boksplottet, Figur 4.6, udgør krom mellem 8 og 109 % af det totale indhold, og halvdelen af hændelserne ligger mellem 29 og 72 % opløst krom. Reelt kan opløst krom maksimalt udgøre 100 % af det totale indhold, så en værdi på 109 % afspejler måleusikkerhed. I udløbet ses generelt lidt højere indhold af opløst krom end i indløbet (Tabel 4.1). Som for Cu og Zn må det konstateres at Cr-fjernelsen alene er knyttet til fjernelsen af det suspenderede stof, og at indløbskoncentrationerne befinder sig omkring ligevægtskoncentrationerne for opløst Cr og de tilstedeværende sorbenter. Hertil kommer at en andel af det opløste Cr forventes at være på anionform, der vides at have dårlig affinitet over for kalk.



Figur 4.3: Totalindhold (hvid søjle) og indhold af opløst krom (skraveret søjle) i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for de 25 hændelser.

Bly, Pb

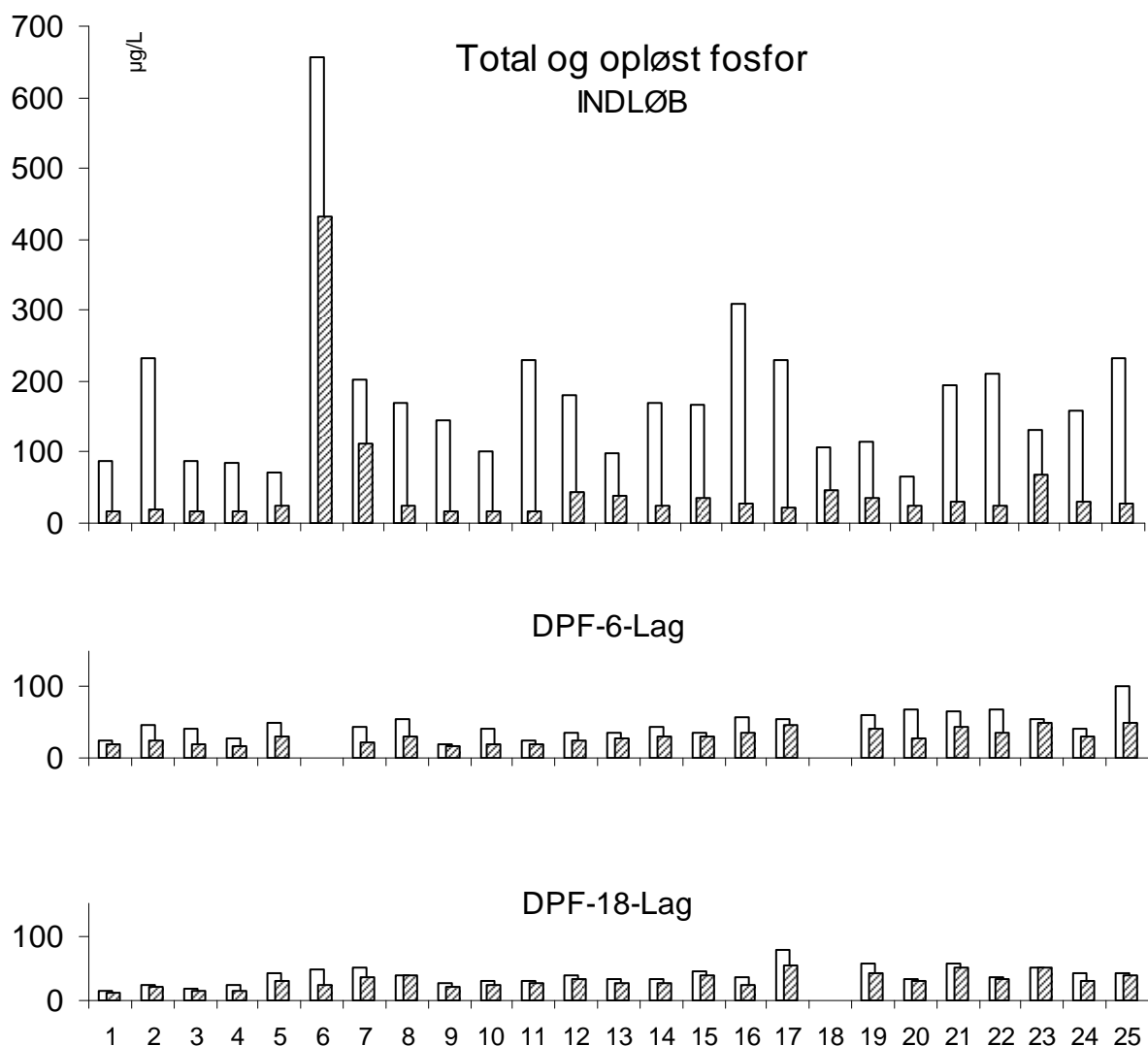
Af Figur 4.4 ses, at indløbsvandet stort set ikke indeholder opløst bly. Boksploppet Figur 4.6 angiver at opløst bly udgør fra -0,6 og 4 % af det totale indhold, og halvdelen af hændelserne ligger mellem 0 og 2 % opløst bly. Den negative måleværdi afspejler måleusikkerheden. På udløbssiden er andelen af opløst bly tilsvarende forsvindende, og der kan ikke konstateres nogen yderligere ændring, hvilket bekræftes af gennemsnitstallene i Tabel 4.1.



Figur 4.4: Totalindhold (hvid søjle) og indhold af opløst bly (skraveret søjle) i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for de 25 hændelser.

Fosfor, P

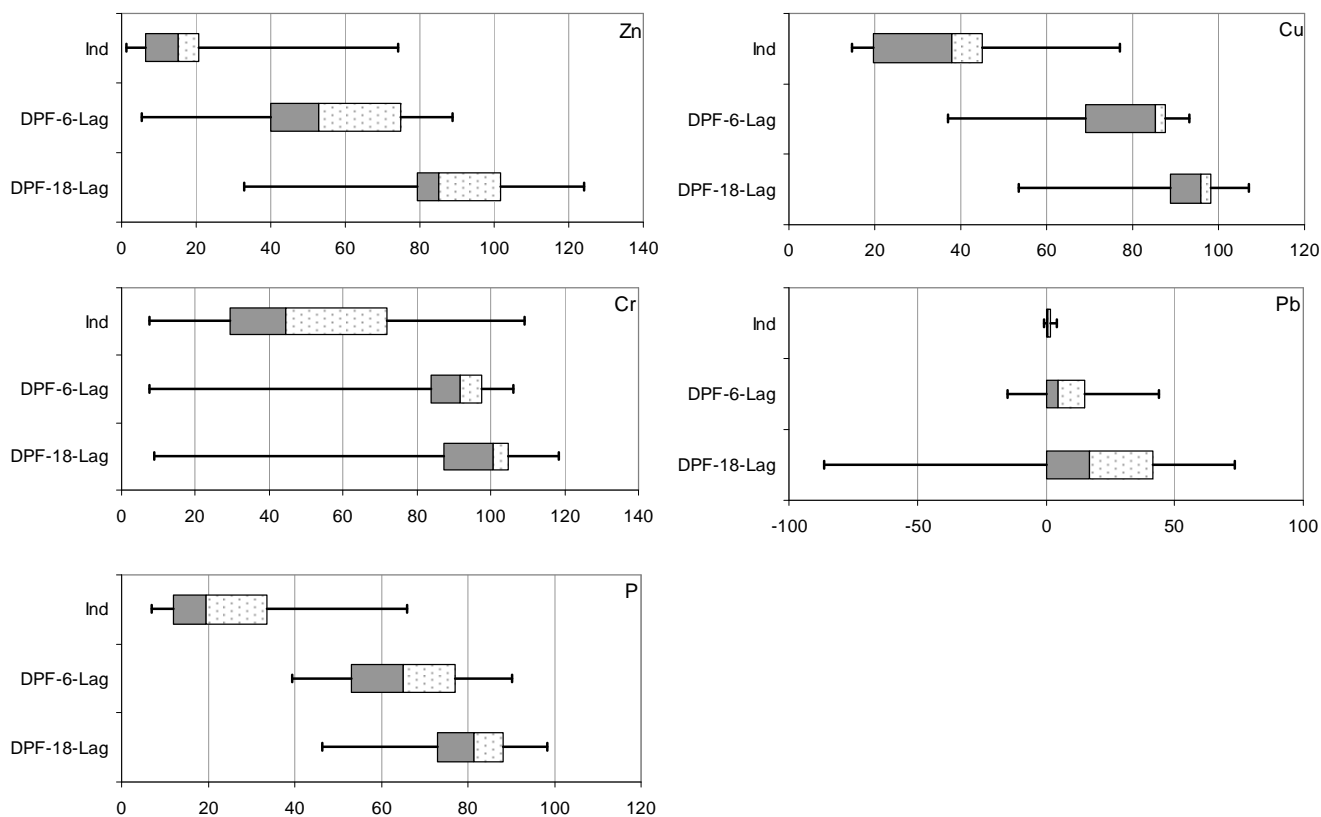
Figur 4.5 viser, at opløst P udgør stærkt varierende andele af det totale indhold. Af boksplottet i Figur 4.6 ses opløst P at udgøre mellem 7 og 66 % af det totale indhold i indløbsvandet, og at halvdelen af hændelserne ligger mellem 12 og 33 %. Dermed placerer P sig gennemsnitligt imellem Zn på den ene side og Cu og Cr på den anden side. I udløbene ses et lidt lavere indhold af opløst fosfor end i indløbet hvilket antyder en affinitet over for opløst kalk ved det aktuelle koncentrationsniveau (Tabel 4.1). Som for de fire andre elementer må det dog konstateres at den gode fjernelsesgrad altovervejende er knyttet til fjernelser af suspenderet stof.



Figur 4.5: Totalindhold (hvid søjle) og indhold af opløst fosfor (skraveret søjle) i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag for de 25 hændelser.

Table 4.1: Gennemsnitlig koncentration af total og opløst Zn, Cu, Cr, Pb og P i indløb samt udløb fra DPF-6-Lag og DPF-18-Lag. For indløbsværdier anføres desuden gennemsnit af forholdet mellem opløst og total i de enkelte hændelser. For udløbsværdier anføres den gennemsnitlige fjernelsesprocent. Negative værdier antyder at indholdet af opløst stof stiger under passage af filteret.

| | | | Zink | Kobber | Krom | Bly | Fosfor |
|-------------------|-----------------|------|-------|--------|------|------|--------|
| Indløb | total | mg/L | 98,2 | 24,7 | 18,4 | 8,6 | 177,6 |
| | opløst | mg/L | 14,2 | 7,6 | 8,2 | 0,1 | 47,8 |
| | opløst/total | % | 18,8 | 36,5 | 50,2 | 1,0 | 24,5 |
| DPF-6-Lag | total | mg/L | 29,5 | 12,2 | 10,9 | 1,0 | 47,4 |
| | opløst | mg/L | 16,4 | 9,4 | 8,9 | 0,1 | 29,8 |
| | fjernelse total | % | 70,0 | 50,6 | 40,5 | 88,1 | 73,3 |
| | fjernelse opl. | % | -15,4 | -23,2 | -9,2 | 17,1 | 37,7 |
| DPF-18-Lag | total | mg/L | 12,5 | 9,6 | 10,0 | 0,2 | 39,0 |
| | opløst | mg/L | 10,1 | 8,7 | 8,7 | 0,0 | 31,1 |
| | fjernelse total | % | 87,3 | 61,1 | 45,7 | 97,7 | 78,0 |
| | fjernelse opl. | % | 29,1 | -14,0 | -6,1 | 45,1 | 35,0 |



Figur 4.6: Boksplot af opløst element i procent af totalindhold i indløb, DPF-6-Lag og DPF-18-Lag. De lodrette start- og slutbarer er min. og max. observationer blandt alle 25 hændelser. Lodrette barer i små bokse viser % opløst stof for hhv. 25 % fraktilen, 50 % fraktilen (midterstregen mellem grå og prikket) og 75 % fraktilen.

Konklusion

Hovedparten af Zn, Cu, Cr, Pb og P i det analyserede indløbsvand findes associeret med suspenderet stof. For Zn, Cu, Cr og P er der observeret stor variation i andelen af stof på opløst form. Indløbsvandet indeholder næsten intet opløst bly, og heraf bliver 17 % tilbageholdt i DPF-6-Lag og 45 % i DPF-18-Lag. Opløst fosfor udgør gennemsnitligt 48 % af totalt indhold, og 35 – 38 % heraf tilbageholdes i filtrene. For opløst Zn, Cu og Cr, der i den nævnte rækkefølge udgør stigende andele af totalindholdet, ses en tendens til stigende koncentrationer efter passage af DPF-6-Lag, hvilket antyder at der foregår desorption. For DPF-18-Lag ses tilbageholdelse af opløst Zn, og mindre frigivelser af Cu og Cr.

På grund af de generelt lave koncentrationer af opløst Zn, Cu, Cr, Pb og P kan det på baggrund af de forhåndenværende data ikke konkluderes hvorvidt DPF-6-Lag og DPF-18-Lag er i stand til at reducere indholdet af opløst stof ved evt. højere start koncentrationer.

5. Ind- og udløbskoncentrationer for yderligere elementer

Ca, Mg, B, Sr, Fe, Al, Mn, Sc, V, Co, Mo, La, Th, U, Ni, As, Cd, Ba, Sb, Rh, Pd, Pt, Be, Se, Ag, Eu, Ho, Yb, Tm

Baggrund

Udover Zn, Cu, Cr, Pb og P, der er beskrevet i Basisrapporten og som Københavns Kommune har foreslået grænseværdier for, indeholder afstrømmende vejvand en række andre elementer, hvoraf flere er interessante miljømæssigt eller på anden vis. ICP-MS analyserne af de 25 hændelser fra perioden 15.1 til 26.7 2007 har inkluderet analyse af totalindhold af en stor del af disse, og data præsenteres i det følgende. For at gøre fremstillingen mere overskuelig er elementerne inddelt i grupper, jf. Tabel 5.1.

De observerede udløbskoncentrationer diskuteres i forhold til fastsatte grænseværdier for udledning til ferskvand (kvalitetskravet til det vand der forlader rensningsanlægget), og for stoffer, hvor disse ikke findes, er der taget udgangspunkt i grænseværdier for drikkevand. For stoffer, der findes i højere koncentrationer i udløbsvand end i indløbsvand, er der sammenlignet med elementanalyse af den anvendte kalk.

Formål

At beskrive totalkoncentrationen af Ca, Mg, B, Sr, Fe, Al, Mn, Sc, V, Co, Mo, La, Th, U, Ni, As, Cd, Ba, Sb, Rh, Pd, Pt, Be, Se, Ag, Eu, Ho Yb og Tm i vejvand i hver af 25 regnhændelser, som det modtages i indløbskammeret og efter passage af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, samt at sætte koncentrationerne i relief, dels miljømæssigt, dels i forhold til filterets funktion. Desuden er formålet for hvert stof at beskrive den gennemsnitlige fordeling på opløst og partikulær form over de 25 hændelser.

Metode

Elementerne er analyseret på ICP-MS efter samme metode som beskrevet for Zn, Cu, Cr, Pb og P i Basisrapporten (s. 13). Totalkoncentrationer afbildes grafisk for hver stof, med tre søjler (indløb, DPF-6-Lag udløb, DPF-18-Lag udløb) for hver af de 25 hændelser, mens opløste koncentrationer bringes på tabelform som gennemsnit af alle 25 hændelser. Udover producent datablad for den anvendte kalk refereres til en ICP-MS elementanalyse foretaget af specialestuderende Karin Cederkvist på en totaloplukket kalkprøve.

Tabel 5.1: Gruppering af stoffer

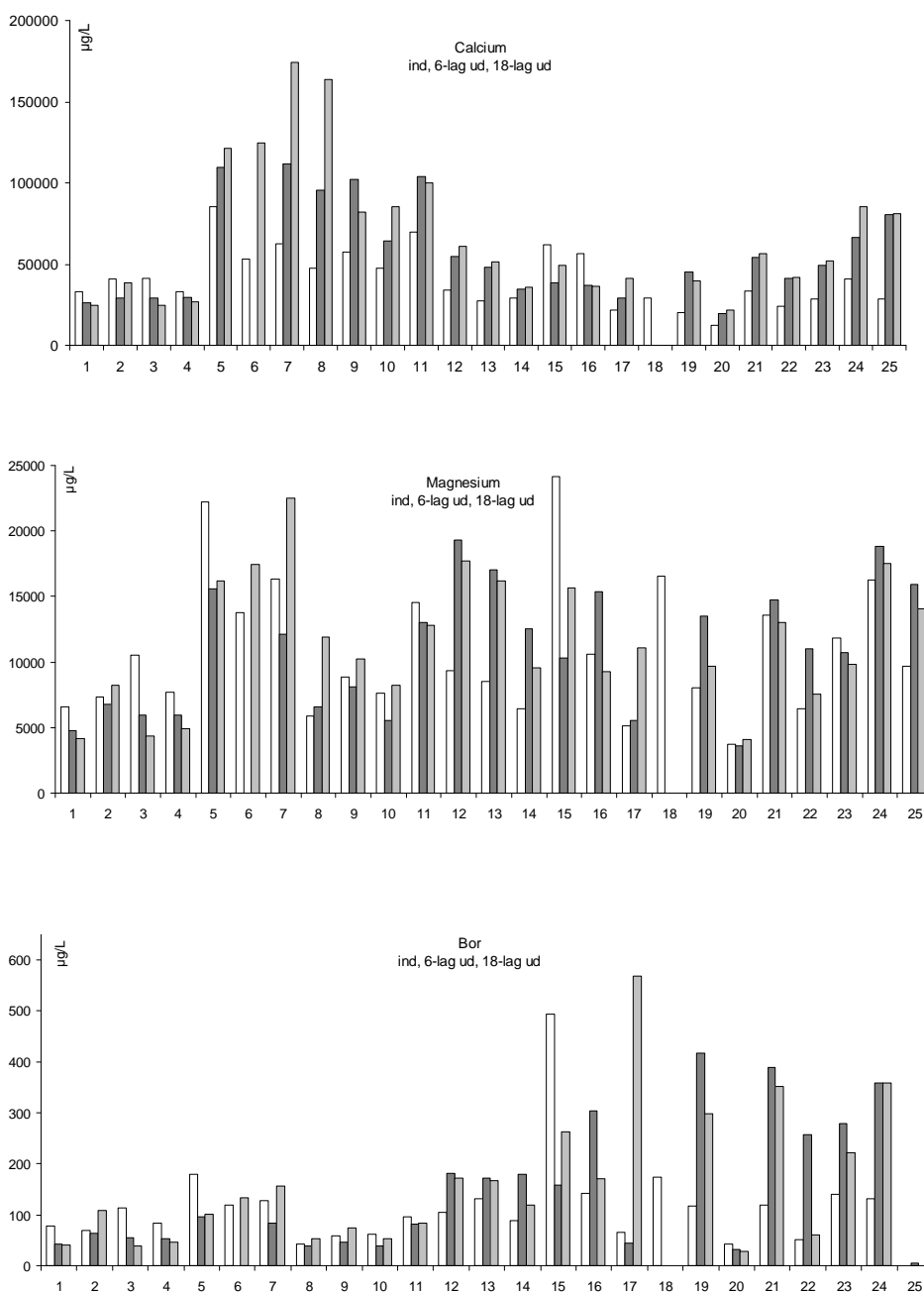
| Stofgruppe | Beskrivelse |
|----------------------------|--|
| Ca, Mg, B, Sr | Frigives fra filter |
| Fe, Al, Mn | Metaller i høje koncentrationer |
| Sc, V, Co, Mo La, Th, U | Tungmetaller i lave koncentrationer |
| Ni, As, Cd, Ba, Sb | Miljøfarlige eller sundhedsskadelige elementer |
| Rh, Pd, Pt | Platingruppen (sporstof for trafikpåvirket vand) |
| Be, Se, Ag, Eu, Ho, Yb, Tm | Koncentrationer under detektionsgrænsen |

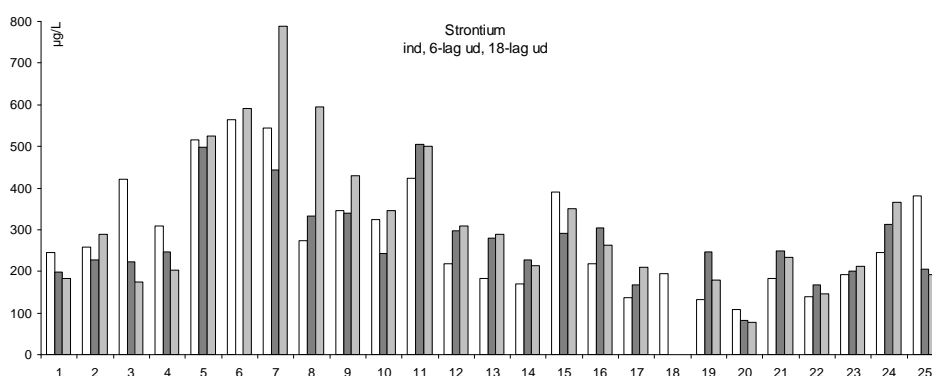
Resultater og diskussion

Udover grafisk fremstilling af totalconcentrationer på hændelsesniveau for hver enkelt stofgruppe præsenteres i Tabel 2 gennemsnitskoncentrationer for de 25 hændelser, fordeling på opløst og partikulær form, samt standardafvigelse.

Calcium (Ca), magnesium (Mg), bor (B) og strontium (Sr)

Figur 5.1 viser resultaterne for koncentrationerne af Ca, Mg, B og Sr i indløb, 6-lag-udløb og 18-lag-udløb. Disse stoffer findes i betydelige koncentrationer i jordskorpen og havner dermed i vejmiljøet i forbindelse med afsætning af jordpartikler. En yderligere kilde til Ca og Mg i vejvandet er vejsaltnings med CaCl_2 eller MgCl_2 (Göbel et al, 2007).





Figur 5.1: Totalidhold af Ca, Mg, B og Sr i indløbsvand (hvid), udløbsvand DPF-6-Lag (mørk grå) og udløbsvand DPF-18-Lag (lys grå) i de 25 hændelser.

Der ses for disse fire stoffer generelt en koncentrationsstigning efter passage af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, typisk med den største stigning for DPF-18-Lag. Denne berigelse forklares med frigivelse af de pågældende stoffer fra den anvendte bryozokalk fra Faxe Kalkbrud.

Producentdatablad for den anvendte Faxe Vandbehandlingskalk angiver følgende mineralsammensætning:

(http://www.faxekalk.dk/pdf/Vandbehandlingskalk_januar_2006.pdf) .

| Mineral | Koncentration | Spredning |
|---|---------------|-----------|
| Calciumkarbonat, CaCO ₃ | 96,8 % | 0,7 % |
| Magnesiumkarbonat, MgCO ₃ | 1,0 % | 0,2 % |
| Aluminiumoxid, Al ₂ O ₃ | 0,15 % | 0,1 % |
| Jernoxid, Fe ₂ O ₃ | 0,07 % | 0,01 % |
| Manganoxid, MnO | 0,02 % | 0,01 % |
| Svovl, S | 0,04 % | 0,01 % |

Oplukningen af kalken foretaget af Karin Cederkvist peger endvidere på at kalken har et indhold af Sr og K i samme størrelsesorden som Al og Fe.

Dermed kan de observerede koncentrationsstigninger for Ca, Mg og Sr forklares med frigivelse fra kalken. Dette stemmer overens med at al observeret Ca, Mg og Sr er på opløst form (Tabel 2). Tendensen til større berigelser for DPF-18-Lag kan forklares med at såvel mængden af kalk i forhold til den behandlede vandmængde og vandets opholdstid er større end i DPF-6-Lag. I afsnit 3 er betydningen af kalkopløsningen behandlet.

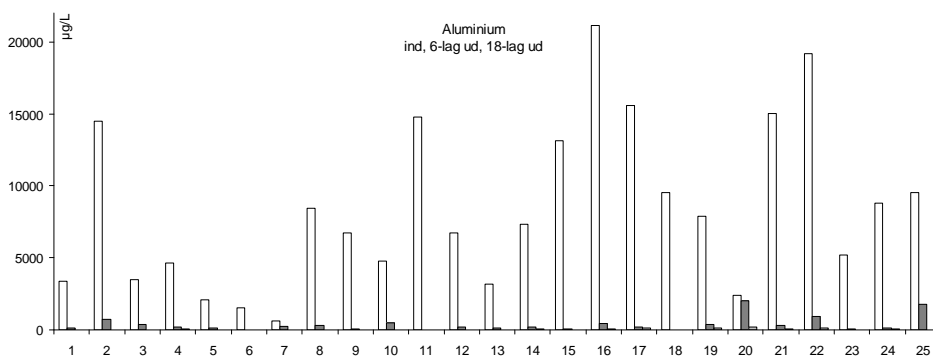
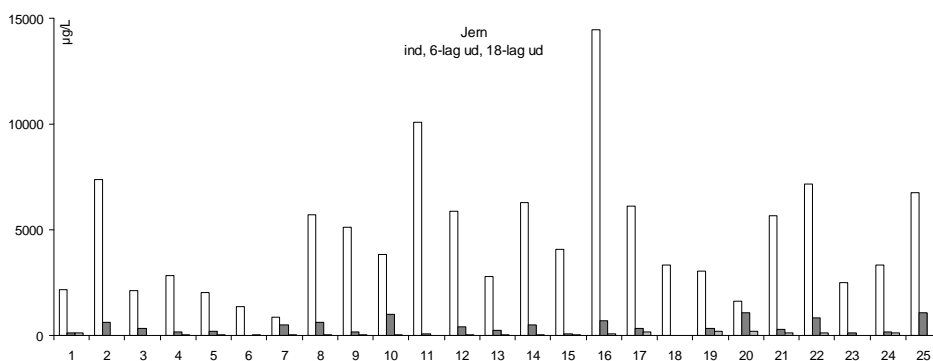
Udover for Ca, Mg og Sr er der observeret koncentrationsstigninger for B. Hverken producentdatabladet eller Karin Cederkvists analyser omfatter B. Fra litteraturen er det fundet at koncentrationen af B i jorde med højt indhold af marint kalk, hvilket indbefatter kalk fra Faxe Kalkbrud, er større end for jorde uden marint kalk (Nsouli, 2006). Dette antyder at også den observerede borberigelse kan stamme fra kalken.

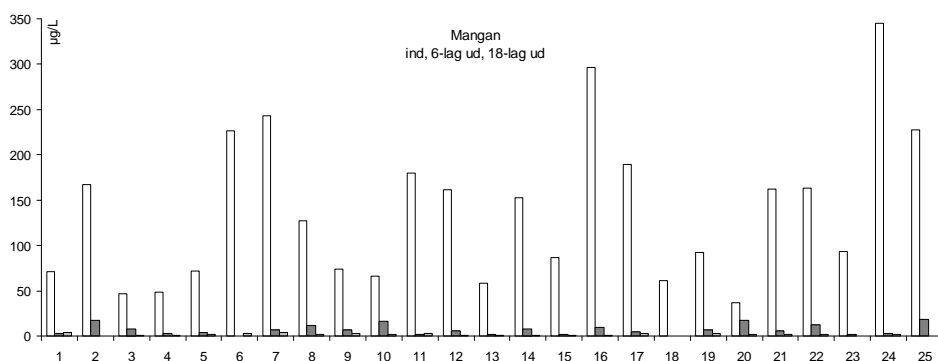
Som det fremgår af efterfølgende grafer tilbageholder DPF-filtrene betydelige mængder aluminium (Al), jern (Fe) og mangan (Mn), til trods for at kalken i sig selv indeholder disse stoffer. Forklaringen må være at opløseligheden af disse oxider er lavere end for de forbindelser Ca, Mg, Sr og B indgår i, samt at kalken har sorptionsaffinitet over for Al, Fe og Mn. Der er ikke analyseret for svovl (S), der ses også at forefindes i kalken.

Der er ingen sundhedsmæssig grænseværdi for Ca hverken i drikkevand eller for udledning til ferskvand. I drikkevand anbefales det at Ca ikke overstiger 200 mg/L, hvilket ikke er tilfældet hverken i ind- eller udløb for de 25 hændelser. For Mg er grænseværdien for drikkevand 50 mg/L, hvilken ikke overskrides i nogen af hændelserne (Miljøstyrelsen, 2007). Grænseværdien for bor i drikkevand er 1000 µg/L, men Miljøstyrelsen anbefaler at den er under 300 µg/L (Kjølholt et al. 2002; Miljøstyrelsen 2007). Ved ingen af hændelserne overskrides grænsen på 1000 µg/L, men ved hændelse 17, 19, 21 og 23 blev værdien på 300 µg/L overskredet i udløbsvandet. Det har ikke været muligt at finde grænseværdier for Sr.

Jern (Fe), aluminium (Al) og mangan (Mn)

Figur 5.2 viser resultaterne for koncentrationerne af Fe, Al og Mn i indløb, 6-lag-udløb og 18-lag-udløb. Disse tre elementer findes typisk i vejevand, hvor de kan stamme fra afsatte jordpartikler og bl.a. bilers bremseklodser og karosseri (Göbel et al., 2007).





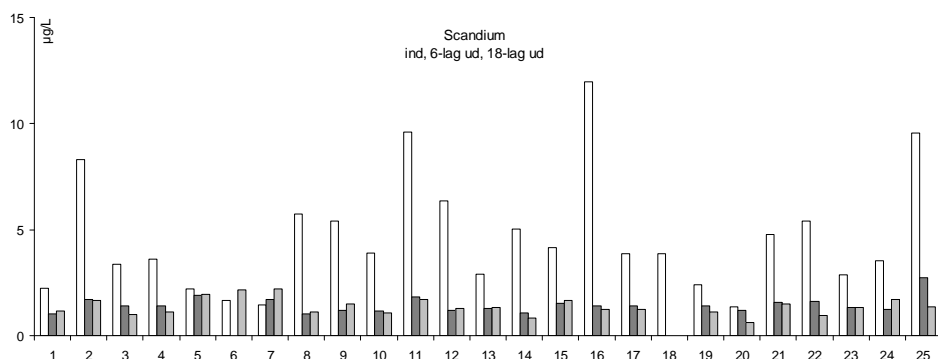
Figur 5.2: Totalidhold af Fe, Al, Mn i indløbsvand (hvid), udløbsvand DPF-6-Lag (mørk grå) og udløbsvand DPF-18-Lag (lys grå) i de 25 hændelser.

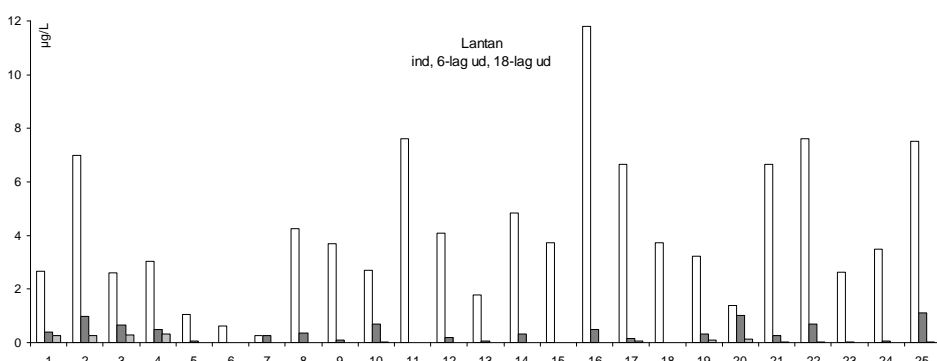
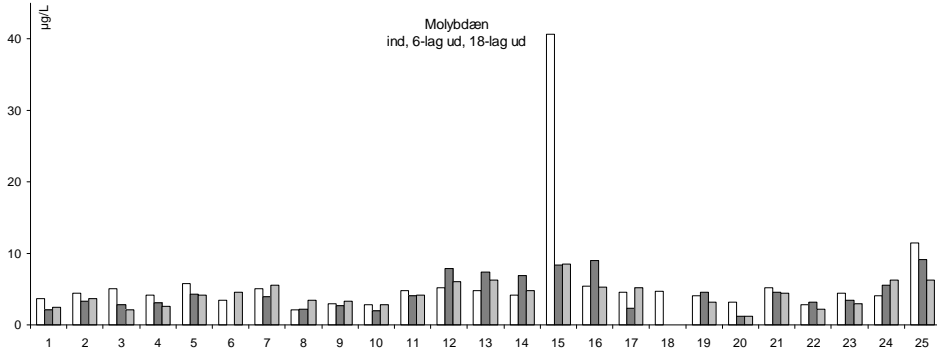
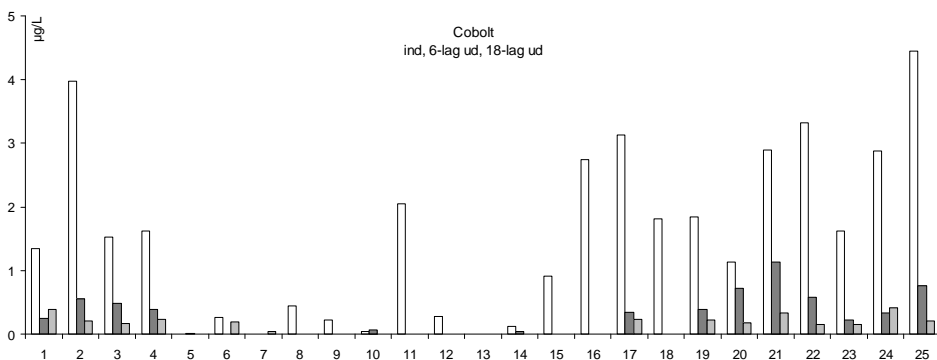
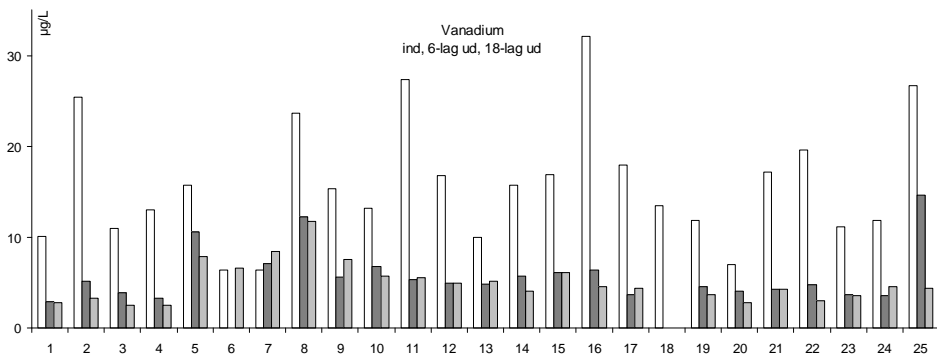
Det ses at koncentrationerne af elementerne i indløbet er høje og generelt overskrider grænseværdierne for drikkevand, der ligger på 100 µg/L for Fe, 100 µg/L for Al og 20 µg/L for Mn (Miljøstyrelsen, 2007). Der ses en effektiv fjernelse for alle tre stoffer, størst for DPF-18-Lag. Bortset fra hændelse 20 for DPF-18-Lag, hvor udløbskoncentrationen tangerer udløbskravet, overholder alle hændelser grænseværdierne for drikkevand.

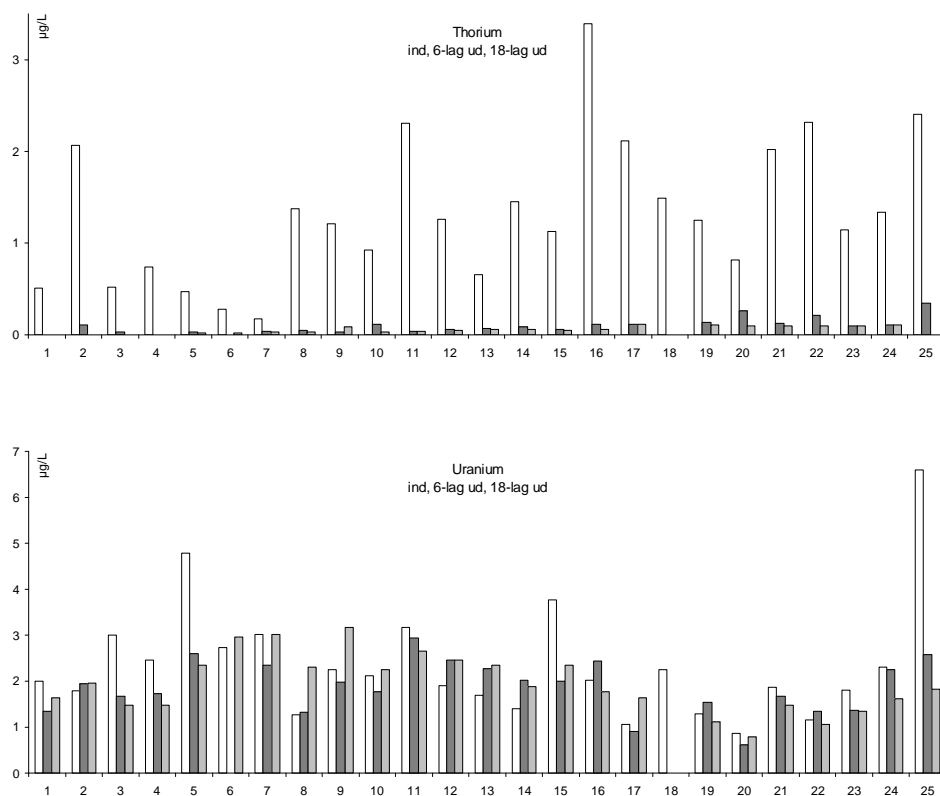
Jern, Al og Mn kan udfælde som oxider. Oxider har en stor og reaktiv overflade, hvortil opløste stoffer kan sorbere. Udfældes de tre elementer som oxider, eller findes de allerede på oxidform i vejvandet ved ankomst til filteret, kan de tænkes at forbedre filterets sorptionskapacitet.

Scandium (Sc), vanadium (V), cobolt (Co), molybdæn (Mo), lanthan (La), thorium (Th) og uran (U)

Figur 5.3 viser resultaterne for koncentrationerne af Sc, V, Co, Mo, La, Th og U i indløb, 6-lag-udløb og 18-lag-udløb. Disse elementer optræder i nogenlunde samme koncentrationsinterval i indløbsvandet, ca. 1-30 µg/L. Derudover tilhører flere af dem lanthanid eller actinid-grupperne i det periodiske system.







Figur 5.3: Totalindhold af Sc, V, Co, Mo, La, Th og U i indløbsvand (hvid), udløbsvand DPF-6-Lag (mørk grå) og udløbsvand DPF-18-Lag (lys grå) i de 25 hændelser.

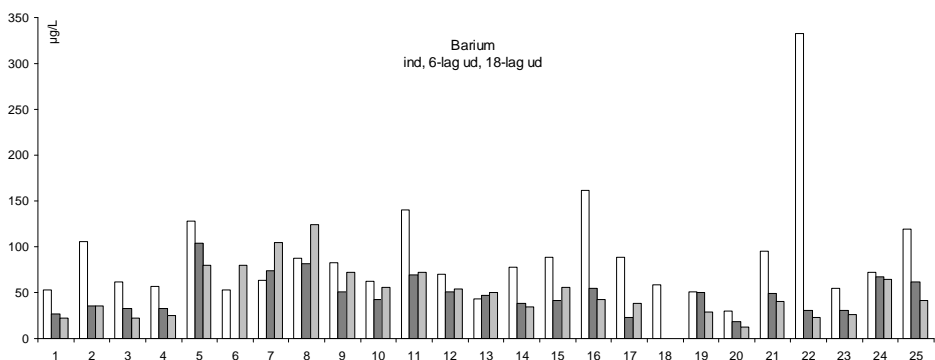
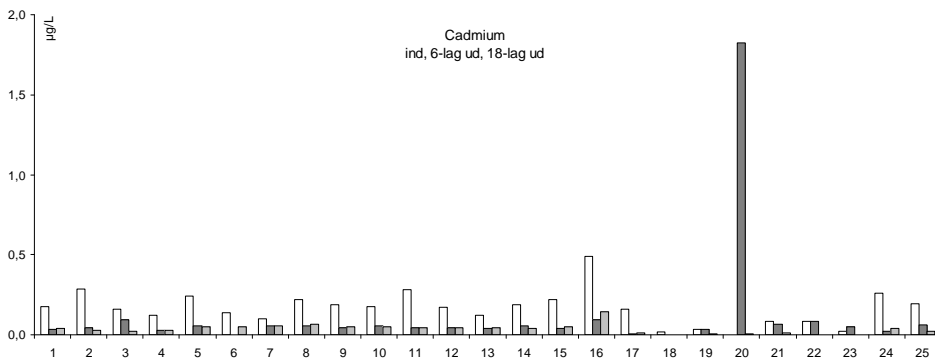
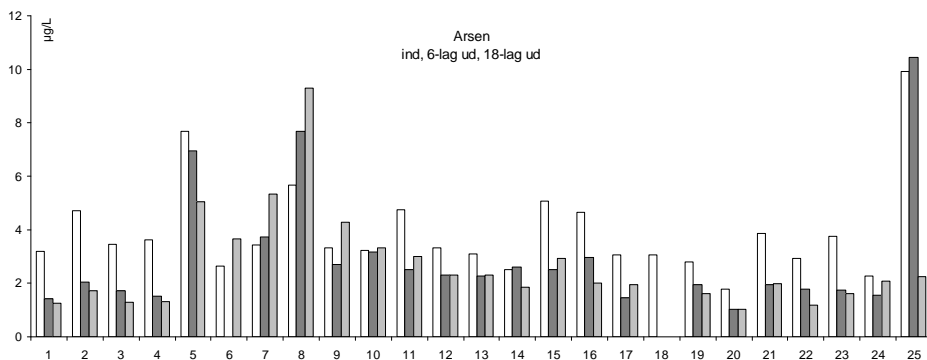
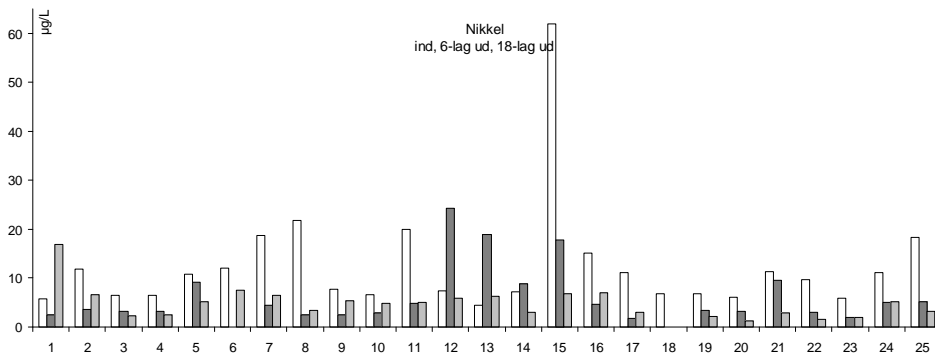
Det ses, at fjernelsesprocenten for Sc, V, Co, La og Th er høj, samt at fjernelsen ved DPF-18-lag er størst. For Mo og U er reduktionen mindre markant. For Mo er alle udløbskoncentrationer dog 10 µg/L eller derunder, og for U er højeste udløbskoncentration 3 µg/L.

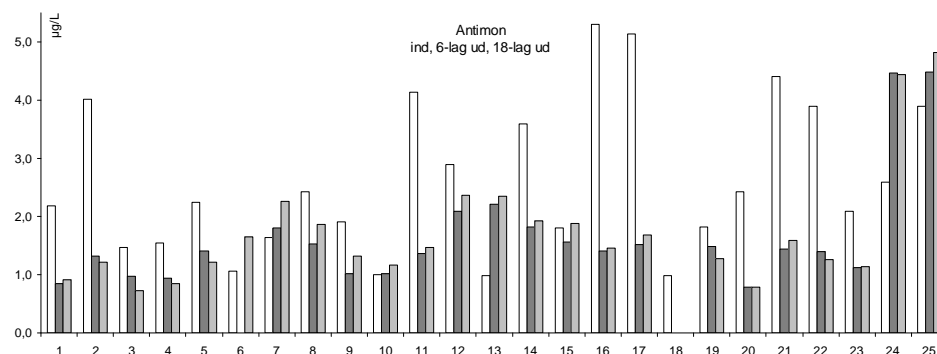
Grænseværdien for Mo i drikkevand er 20 µg/L (Kjølholt et al. 2002). Der eksisterer ingen grænseværdier for de øvrige elementer.

Med undtagelse af V, der har en udløbskoncentration på gennemsnitlig 5 µg/L, er udløbskoncentrationen af alle øvrige elementer under 2 µg/L for både DPF-6-lag og DPF-18-lag. Disse udledningskoncentrationer er generelt lave, og da der ikke findes udledningskrav må stofferne forventes ikke at have den store effekt på hverken ferskvandsøkosystemer eller mennesker.

Nikkel (Ni), arsen (As), cadmium (Cd), barium (Ba) og antimon (Sb)

Figur 5.4 viser resultaterne for koncentrationerne af Ni, As, Cd, Ba og Sb i indløb, 6-lag-udløb og 18-lag-udløb. Disse elementer er kendetegnet ved at de kan være miljø- og sundhedsskadelige.





Figur 5.4: Totalidhold af Ni, As, Cd, Ba og Sb i indløbsvand (hvid), udløbsvand DPF-6-Lag (mørk grå) og udløbsvand DPF-18-Lag (lys grå) i de 25 hændelser.

Der ses for alle elementer en generel reduktion fra indløb til udløb og at reduktionen er størst ved DPF-18-lag.

Grænseværdien for udledning af Ni til ferskvand er 160 µg/L (Miljøministeriet, 1996). Indløbskoncentrationerne holder sig omkring 5-10 µg/L, med en enkelt undtagelse ved hændelse 15, hvor den når op på over 60 µg/L. Ved hændelse 1, 12, 13 og 14 ses Ni-udløbskoncentrationer for enten DPF-6-Lag eller DPF-18-Lag at overstige indløbskoncentrationen.

Grænseværdien for udledning af As til ferskvand er 4 µg/L (Miljøministeriet, 1996). Indløbskoncentrationen er omkring 5 µg/L og udløbskoncentrationen er i de fleste tilfælde lavere end 4 µg/L. Ved hændelse 5 og 8 overstiges denne for både DPF-6-lag og DPF-18-lag., og ved hændelse 25 for DPF-6-lag.

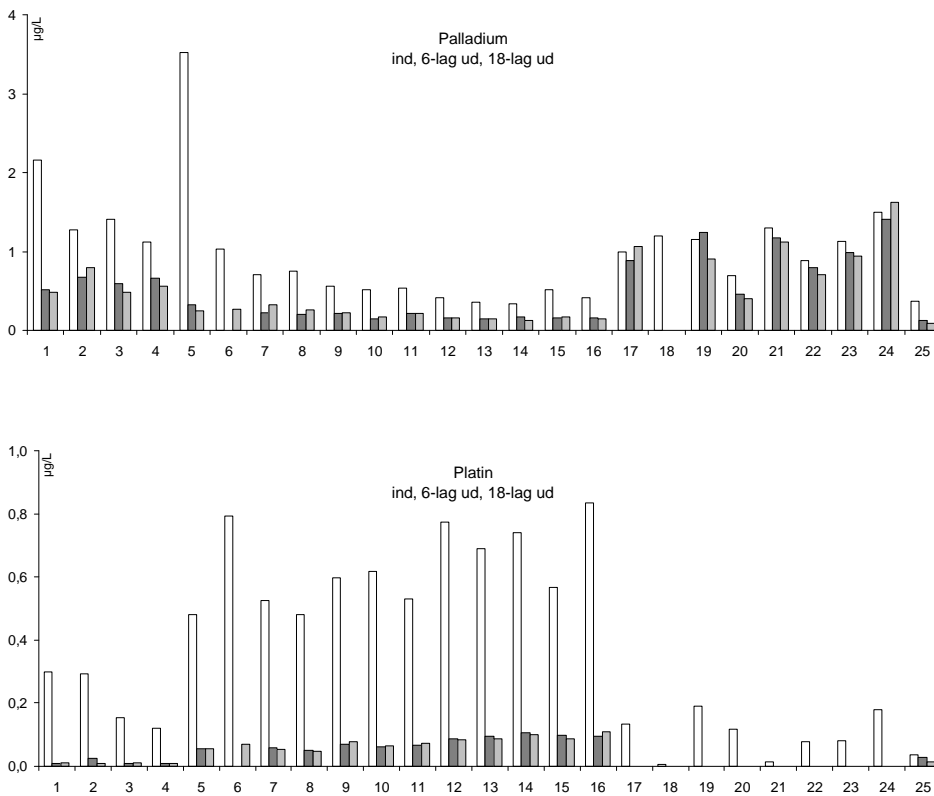
Grænseværdien for Cd for udledning til ferskvand er 5 µg/L (Miljøministeriet, 2006). I ingen af tilfældene overskrides denne værdi hverken i ind- eller udløb.

Grænseværdien for Ba i drikkevand er 700 µg/L (Miljøministeriet, 2007). Hverken ind- eller udløbskoncentrationer overskrides på noget tidspunkt.

Grænseværdien for Sb er 5 µg/L for drikkevand (Miljøministeriet, 2007). I ingen af tilfældene overskrides denne værdi hverken i ind- eller udløb.

Rhodium (Rh), palladium (Pd) og platin (Pt)

Figur 5.5 viser resultaterne for koncentrationerne af Pd og Pt i indløb, 6-lag-udløb og 18-lag-udløb. Rhodium-koncentrationerne i prøverne var under detektionsgrænsen og er derfor ikke afbilledet. Rhodium, Pd og Pt, der tilsammen betegnes platingruppen, anvendes som katalysatorer i biler (Göbel et al., 2007). Katalysatorfunktionen er den væsentligste kilde til disse elementers forekomst som diffus forurening, og det har derfor været foreslået at benytte platingruppen som indikator for trafikbelastet vand.



Figur 5.5: Totalindhold af PI og Pt i indløbsvand (hvid), udløbsvand DPF-6-Lag (mørk grå) og udløbsvand DPF-18-Lag (lys grå) i de 25 hændelser.

Koncentrationen af Pd i indløbsvandet ligger for de fleste hændelser mellem 0,5 og 1,5 µg/L, mens Pt-koncentrationerne ligger på under 1 µg/L. Palladiumkoncentrationen i udløbsvandet er i de fleste hændelser reduceret, om end billedet er variabelt hen over hændelserne. For Pt sker der i alle hændelser en markant reduktion ved passage af filtrene.

Det har ikke været muligt at finde grænseværdier for Pd og Pt.

Beryllium (Be), selen (Se), sølv (Ag), europium (Eu), holmium (Ho), ytterbium (Yb) og thallium (Tm)

Analyseresultaterne for Be, Se, Ag, Eu, Ho, Yb og Tm viser så forsvindende koncentrationer, at disse elementer hverken vises grafisk eller omtales yderligere.

Gennemsnitlig fordeling af element på opløst og partikulær

I Tabel 5.2 præsenteres de gennemsnitlige totalkoncentrationer (gennemsnit af data vist i figur 5.1 – 5.5) over de 25 hændelser, samt gennemsnitlige koncentrationer af elementerne på opløst form, dvs. i de filtrerede prøver. For sammenligningens skyld bringes også data for Zn, Cu, Cr, Pb og P (Basisrapportens Tabel 1). For alle tal anføres den observerede spredning.

Tabel 5.2: Gennemsnitlig fordeling af elementer på total og opløst form for de 25 hændelser med tilhørende spredning. Alle tal i µg/L. Basisrapportens tilsvarende data for Zn, Cu, Cr, Pb og P er inkluderet for sammenlignelighedens skyld. Negative værdier skyldes koncentrationer omkring detektionsgrænsen. Enhed: µg/L.

| Element | INDLØB | | | | DPF-6-LAG UDLØB | | | | DPF-18-LAG UDLØB | | | |
|---------------|---------------|---------|----------------|---------|-----------------|---------|----------------|---------|------------------|---------|----------------|---------|
| | TOTAL gns. | stdafv. | OPLØST gns. | stdafv. | TOTAL gns. | stdafv. | OPLØST gns. | stdafv. | TOTAL gns. | stdafv. | OPLØST gns. | stdafv. |
| Zink, Zn | 98,2 | 51,9 | 14,2 | 12,9 | 29,5 | 14,7 | 16,4 | 14,0 | 12,5 | 7,2 | 10,1 | 6,7 |
| Kobber, Cu | 24,7 | 10,7 | 7,6 | 2,7 | 12,2 | 3,5 | 9,4 | 3,4 | 9,6 | 4,4 | 8,7 | 3,6 |
| Krom, Cr | 18,4 | 12,4 | 8,2 | 7,3 | 10,9 | 9,3 | 8,9 | 8,4 | 10,0 | 9,7 | 8,7 | 9,2 |
| Bly, Pb | 8,6 | 5,2 | 0,1 | 0,1 | 1,0 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 |
| Fosfor, P | 178 | 118 | 48 | 83 | 47 | 18 | 30 | 10 | 39 | 13 | 31 | 11 |
| Calcium, Ca | 40761 | 17566 | 41076 | 20471 | 56529 | 29677 | 42921 | 15490 | 67444 | 42861 | 50299 | 22100 |
| Magnesium, Mg | 10866 | 5194 | 11765 | 7142 | 10994 | 4813 | 10540 | 4727 | 11512 | 4941 | 11059 | 4918 |
| Bor, B | 113 | 90 | 174 | 174 | 147 | 127 | 150 | 142 | 153 | 134 | 155 | 145 |
| Strontium, Sr | 285 | 133 | 316 | 202 | 273 | 102 | 287 | 115 | 319 | 173 | 333 | 186 |
| Jern, Fe | 4662 | 3058 | 22 | 15 | 438 | 317 | 17 | 9 | 70 | 62 | 16 | 21 |
| Aluminium, Al | 8380 | 5716 | 12 | 9 | 405 | 521 | 13 | 14 | 42 | 43 | 6 | 12 |
| Mangan, Mn | 137,9 | 83,2 | 28,8 | 58,5 | 7,6 | 5,5 | 1,0 | 1,1 | 1,8 | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| Scandium, Sc | 4,6 | 2,7 | 1,2 | 0,5 | 1,5 | 0,4 | 1,2 | 0,3 | 1,4 | 0,4 | 1,3 | 0,4 |
| Vanadium, V | 15,8 | 6,8 | 5,6 | 2,1 | 5,8 | 2,9 | 5,3 | 2,4 | 5,0 | 2,2 | 5,3 | 2,6 |
| Cobolt, Co | 1,4 | 1,5 | -0,2 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | -0,3 | 0,6 | -0,1 | 0,4 | -0,3 | 0,5 |
| Molybdæn, Mo | 6,0 | 7,4 | 4,7 | 2,6 | 4,5 | 2,4 | 4,7 | 2,3 | 4,3 | 1,7 | 4,4 | 1,8 |
| Lanthan, La | 4,2 | 2,7 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,2 |
| Thorium, Th | 1,3 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| Uran, U | 2,3 | 5,2 | 2,3 | 0,1 | 1,9 | 0,7 | 1,9 | 0,1 | 2,0 | 0,1 | 2,0 | 0,1 |
| Nikkel, Ni | 12,5 | 11,4 | 3,8 | 4,0 | 6,4 | 6,0 | 5,2 | 6,1 | 4,9 | 3,2 | 3,8 | 1,7 |
| Arsen, As | 3,9 | 1,8 | 2,9 | 1,6 | 3,0 | 2,3 | 2,6 | 1,6 | 2,7 | 1,8 | 2,7 | 2,0 |
| Cadmium, Cd | 0,16 | 0,11 | 0,04 | 0,03 | 0,13 | 0,37 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,06 |
| Barium, Ba | 90 | 60 | 43 | 30 | 49 | 21 | 47 | 22 | 50 | 28 | 51 | 30 |
| Antimon, Sb | 2,6 | 1,3 | 1,2 | 0,5 | 1,7 | 1,0 | 1,6 | 1,0 | 1,7 | 1,0 | 1,8 | 1,0 |
| Palladium, Pd | 0,99 | 0,69 | 0,49 | 0,37 | 0,50 | 0,40 | 0,51 | 0,40 | 0,48 | 0,40 | 0,50 | 0,39 |
| Platin, Pt | 0,37 | 0,28 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Beryllium, Be | 0,32 | 0,15 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,02 |
| Selen, Se | 0,73 | 0,40 | 0,33 | 0,15 | 0,31 | 0,13 | 0,29 | 0,14 | 0,31 | 0,13 | 0,28 | 0,14 |
| Europium, Eu | 0,06 | 0,09 | -0,03 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | -0,03 | 0,03 | -0,01 | 0,01 | -0,03 | 0,03 |
| Ytterbium, Yb | 0,26 | 0,16 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Thallium, Tm | 0,71 | 0,56 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 |

Konklusion

For Ca, Mg, Sr og B er koncentrationerne i udløb større end i indløb, især for DPF-18-Lag, svarende til at disse stoffer frigives fra kalken, hvilket er fundet sandsynligt. At der er tale om frigivelse understreges af, at stofferne i modsætning til de øvrige elementer stort set udelukkende findes på opløst form.

Jern, Al og Mn findes i store mængder i indløbsvandet, primært på partikulær form, og tilbageholdes effektivt. I den udstrækning de forekommer på oxid-form vil de bringe nye sorptionspladser ind i filteret.

Ingen af de potentielt miljø- og sundhedsskadelige yderligere elementer, dvs. Sc, V, Co, Mo, La, Th, U, Ni, As, Cd, Ba, og Sb er fundet i høje koncentrationer, hvilket understreger at Zn, Cu, Cr, og Pb er de elementer, der bør fokuseres på. Der ses tilbageholdelse for samtlige elementer i filtrene.

Platingrubbens elementer, Pd, Rh og Pt, optræder i uhyre lave koncentrationer, og er for Rh under detektionsgrænsen. Værdien af elementerne som udtryk for trafikbelastningsgraden er tvivlsom.

Stofferne Be, Se, Eu, Yb og Th findes i forsvindende mængder.

6. Tilbageholdelse af miljøfremmede organiske forbindelser

Baggrund

Vejvand indeholder en række miljøfremmede organiske forbindelser, hvoraf flere frygtes eller vides at skade mennesker og miljø. Afprøvningen af DPF i Ørestad har primært haft fokus på fjernelse af suspenderet stof, tungmetallerne zink, kobber, krom og bly, og næringsstoffet fosfor, og har kun kampagnevis fokuseret på de miljøfremmede organiske stoffer. Disse er dyre at analysere, og kræver desuden glasudstyr til prøvetagning, mens tungmetallerne skal udtages i plastflasker. Der er derfor kun gennemført få analyser, og prøverne er udtaget manuelt som grab-prøver, dvs. ikke flowproportionalt, og er dermed mindre repræsentative for såvel karakteren af indløbsvandet som det behandlede udløbsvand.

Som beskrevet i nedenstående metodeafsnit er der ved forskellige lejligheder analyseret for de pesticider, der indgår i den nationale grundvandsovervågning, udvalgte PAH'er (de 16 PAH'er udpeget af USA's miljøstyrelse, US-EPA), samt et enkelt phthalat (DEPH), to organotin forbindelser (mono- og dibutyltin), og kloroform (trichlormethan).

Pesticider er fællesbetegnelse for en række stoffer, som bruges til at bekæmpe uønskede organismer som insekter (insekticider), svampe (fungicider) og planter (herbicider). Der er indgået en frivillig aftale mellem kommuner og Folketing om ikke at benytte pesticider på offentlige arealer. Til brug på private arealer findes der en del produkter i handlen, men det er primært aktivstoffet glyphosat, som indgår i produkterne, med undtagelse af plænerensmidler, som primært indeholder aktivstofferne MCPP og MCPA.

PAH står for polyaromatisk hydrocarbon, som er fællesbetegnelse for organiske forbindelser i kondenserende ringsystemer. Der findes over 100 forskellige slags. PAH'er kan findes i forbrændingsgasser fra f.eks. biler, oliefyr, brændeovne og skovbrande. Der findes betydelige PAH-koncentrationer i byluft og i forbindelse med sodpartikler. Fra litteraturen er der bred dokumentation af PAH-forekomst i vejvand. Flere PAH-forbindelser er stærkt sundhedsskadelige, f.eks. er benzo(a)pyren kræftfremkaldende selv ved lille dosis, mens benzo(g,h,i)perylene vides at være toksisk for vandlevende organismer.

Phthalater er farveløse, vandopløselige og højt kogende væsker, der bruges som blødgørere i plast-, farve- og kosmetikprodukter. Kemisk er det estere af phtalsyre. Phthalater er under mistanke for at have østrogenlignende virkning på dyr og mennesker, og dermed at kunne forårsage hormonelle forstyrrelser. Organotin-forbindelser bruges i plastindustrien, primært som stabilisatorer, og til imprægnering af træ. Der findes mange forskellige organotin-forbindelser, men de omdannes alle til én af seks stamformer, som er de stoffer, der kan have miljøskadelig effekt. To af disse stoffer er monobutyltin og dibutyltin. Klorerede organiske forbindelser dækker over en stor gruppe af stoffer, hvor mindst ét klor-atom er kovalent bundet til en organisk forbindelse. Hovedparten fremstilles industrielt, men der findes også mange naturlige organiske forbindelser indeholdende klor. Kloroform, der mistænkes for at være kræftfremkaldende, benyttes som opløsningsmiddel og i kølesystemer.

Formål

At opnå en indikation af dels indholdet af pesticider, PAH og andre miljøfremmede organiske forbindelser i vejvand, og dels DPF-teknikkens evne til tilbageholdelse af miljøfremmede organiske stoffer.

Metode

Pesticider: Der er foretaget to målinger af pesticider i henholdsvis september 2007 og oktober 2008. I efteråret 2007 var DPF-anlægget i ca. 1 måned koblet op på Pumpekanalen, der bortleder drænvand fra Tårnby. Anlægget modtog således ikke vejvand, men drænvand fra Tårnby, der overvejende består af parcelhuskvarterer. Ved prøvetagningen i oktober 2008 modtog anlægget vejvand. De to prøver er dermed begge udtaget om efteråret, hvor pesticidforbruget må forventes at være lavere end forår og sommer. Ved den første måling blev der udtaget en grab-prøve af indløbet (drænvand fra Tårnby) og en tilhørende prøve af 6-Lag udløb. Ved den anden måling, der blev forestået af PhD-studerende Heidi Birch, DTU, blev der udtaget en indløbsprøve samt prøver af 6-Lag udløb og 18-Lag udløb. Alle prøver er analyseret af Eurofins efter deres MK 8270- LC/MS og MK 8212- LC/MS metoder. Der er kun et vist overlap mellem hvilke pesticider, der er analyseret for ved de to undersøgelser.

PAH: Der er foretaget tre målinger af PAH'er i henholdsvis oktober 2007, oktober 2008 og december 2008. Ved alle tre tilfælde er der målt på vejvand. Ved prøvetagningen december 2008 blev der desuden udtaget sondeslangeprøver¹ fra DPF-6-Lag i følgende afstande fra indløb: 1 m, 10 m og 20 m. Alle prøver er analyseret for de samme 16 PAH-forbindelser (16 US-EPA) af Eurofins efter deres MK2260-GC/MS-metode.

Tilbageholdelsen af PAH'er i DPF-filteret er desuden vurderet ved kunstige tilsætninger af udvalgte PAH direkte til indløbet til DPF-6-Lag under recirkulering og måling over tid af koncentration i udløb. Dette forsøg er udført i forbindelse med coatningsaktiviteten vinteren 2007/8, og data bringes i Tillægsrapport II om Coatningsforsøg.

Phthalater, organotin og klorerede organiske forbindelser: Der er foretaget en enkelt måling af et enkelt phthalat, to organotinforbinder og klorofom i forbindelse med pesticidmåling nummer 2, oktober 2008.

Tablet 6.1 viser de i alt 4 prøvetagningsgange, med tilhørende ind- og udløbsprøver.

¹ Udover prøvetagning af ind- og udløb med ISCO-fraktionsopsamlere, som beskrevet i Basisrapporten, er der ved DPF-pilotanlæggets etablering skabt mulighed for at udtage prøver af vand fra to udvalgte strømningslag i hvert filter, idet der er indlagt tynde PE-slanger (ydre diameter 3 mm, indvendig diameter 1.4 mm), refereret til som "sondeslanger", i stigende afstand fra indløbet, nemlig 1m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m og 49 m. Sondeslangerne er ført ud gennem en vandtæt gennemføring i den omsluttende membran og op gennem en brønd, hvorfra der med en vacuum pumpe kan udsuges prøver til glasflasker. I DPF-6-Lag er strømningslag nr. 2 og 4 forsynet med disse sondeslanger, mens det for DPF-18-Lag drejer sig om strømningslag nr. 6 og 12.

Tabel 6.1: Oversigt over ind- og udløbsprøver udtaget til analyse for miljøfremmede stoffer.

| | 19.09.2007 | 19.10.2007 | 15.10.2008 | 04.12.2008 |
|--|-------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| Indløb | drænvand Tårnby, Pumpekanalen | vejevand | vejevand | vejevand |
| Pesticider | | | | |
| Udløb | DPF -6-Lag | | DPF-6-Lag DPF-18-Lag | |
| PAH'er | | | | |
| Udløb | | DPF-6-Lag DPF-18-Lag | DPF-6-Lag DPF-18-Lag | DPF-6-Lag DPF-18-Lag |
| | | DPF-6-Lag efter 1 m, 10 m og 20 m | | |
| Phthalater, organotin, klorerede forbindelser | | | | |
| Udløb | | | DPF-6-Lag DPF-18-Lag | |

Table 6.2: Pesticider i ind- og udløbsvand ved to hændelser. Fund over detektionsgrænsen er fremhævet med gråt. Pesticider, der er analyseret for ved begge hændelser, er fremhævet ved understregning. Betegnelsen i.a. betyder, at der ikke er analyseret for det pågældende pesticid. Et 0 betyder at stoffet ikke er påvist (under detektionsgrænsen). Vandrammedirektivets kvalitetsstandard og grænseværdi er anført som henholdsvis AA-EQS (Annual Average Environmental Quality Standards) og MAC-EQS (Maximum Allowed Concentration). Data for oktober 2008 er venligst stillet til rådighed af Heidi Birch, DTU.

| Pesticid (µg/L) | VRD AA-EQS / MAC-EQS | 19.09.2007 | | 15.10.2008 | | |
|----------------------------|-------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | Indløb | DPF-6-Lag | Indløb | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
| <u>AMPA</u> | | 0,41 | 0,31 | 0,32 | 0,42 | 0,63 |
| <u>Glyphosat</u> | | 0,10 | 0,04 | 1,20 | 0,26 | 0,03 |
| Alachlor | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Aldrin | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| <u>Atrazin</u> | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bentazon | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Cyanazin | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| DDD(op') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| DDD(pp') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| DDE (op') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| DDE (pp') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| DDT (op') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| DDT (pp') | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Desethylatrazin | | 0,02 | 0,03 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Desisopropylatrazin | | 0,01 | 0,01 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Dichlobenil | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| 2,6-dichlorbenz-amid (BAM) | | 0,09 | 0,08 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Dichlorprop(2,4-DP) | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Dimethoat | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Dinoseb | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Dieldrin | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Diuron | 0,2 / 1,8 | i.a. | i.a. | 0,06 | 0,03 | 0 |
| DNOC | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Endosulfan II | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Endosulfan I | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Endrin | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| <u>Hexazinon</u> | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <u>Hydroxyatrazin</u> | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Isodrin | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| Isoproturon | 0,3 / 1,0 | 0 | 0 | 0,04 | 0,04 | 0 |
| Gamma-HCH (Lindan) | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |
| <u>MCPA</u> | | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mechlorprop (MCP) | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Metamitron | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| Pendimethalin | | 0 | 0 | i.a. | i.a. | i.a. |
| <u>Simazin</u> | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <u>Terbutylazin</u> | | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 |
| Trifluralin | | i.a. | i.a. | 0 | 0 | 0 |

Resultater og diskussion

Pesticider

Resultatet af pesticidanalyserne fremgår af Tabel 6.2.

Ved undersøgelsen i september 2007 blev der analyseret for 22 pesticider eller pesticidnedbrydningsprodukter, hvoraf 7 blev fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i indløbsvandet.

Ved undersøgelsen i oktober 2008 blev der analyseret for 21 pesticider eller pesticidnedbrydningsprodukter, hvoraf fire blev fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i indløbsvandet.

Glyphosat, der er aktivstoffet i ukrudtsmidlet Round-Up og beslægtede midler, og dets nedbrydningsprodukt AMPA, blev fundet i betydelige koncentrationer ved begge undersøgelser. Glyphosatkoncentrationen falder under passage af filteret. Fjernelsen er på ca. 60 % i DPF-6-Lag ved begge hændelser, og på næsten 100 % i DPF-18-Lag ved den undersøgte hændelse. AMPA ser ud til at passere stort set upåvirket (første hændelse), eller at stige i koncentration (anden hændelse). En stigende AMPA koncentration indikerer at filtrene huser en mikrobiel population med evne til at nedbryde glyphosat. Denne antagelse styrkes af at udløbskoncentrationerne af AMPA er større i DPF-18-Lag, hvor opholdstiden og dermed muligheden for mikrobiel omsætning er størst.

Der er analyseret for isoproturon og MCPA ved begge undersøgelser. Isoproturon er påvist i den ene men ikke i den anden undersøgelse. For MCPA er det omvendt. For begge stoffer ser der ud til at ske en reduktion under forløbet, indløbskoncentrationerne er dog meget små. Herudover er desethylatrazin, desisopropylatrazin, 2,6-dichlorbenzamid (BAM) og terbutylazin påvist ved en af de to undersøgelser. Der ser ikke ud til at ske nogen ændring i koncentrationen af disse stoffer. Indløbskoncentrationerne er dog meget små. For isoproturon og diuron opstiller Vandrammedirektivet krav til tilladt årligt gennemsnit og tilladt maksimum, som anført i Tabel 6.2, men disse niveauer er betydeligt over de observerede indløbskoncentrationer. (EU-direktiv 2008/105/EC)

Af rapporten ”Kolloid-faciliteret transport af glyphosat og pendimethalin” (Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 107, 2007) fremgår, at 63 til 74 % af den glyphosat, der udvaskes fra landbrugsjord er bundet til mobile partikler (kolloider, dvs. partikler med diameter omkring 1 nm til 1 µm). Fjernelsen af pesticider ved dobbeltporøs filtrering tilskrives fjernelse af pesticider bundet til partikler, og sorption af pesticider til sediment i filteret.

PAH

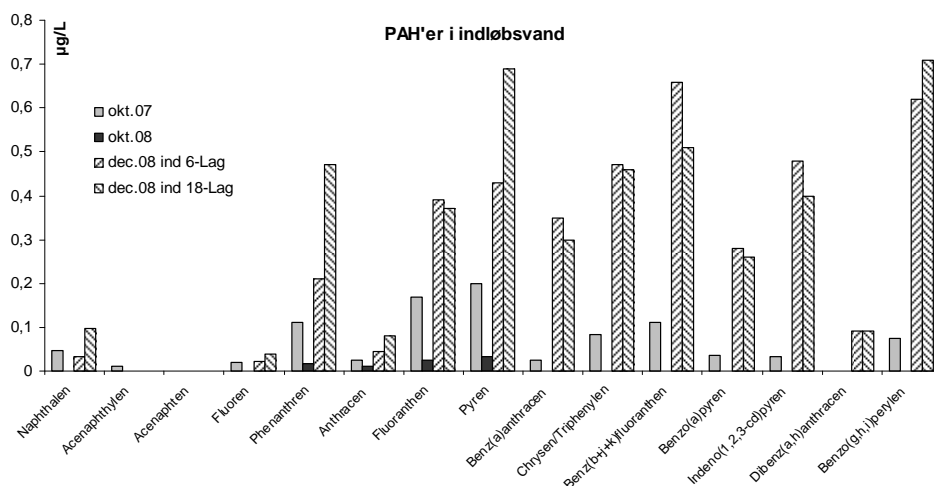
Resultatet af PAH-målingerne fremgår af Tabel 6.3.

Indløbskoncentrationerne ved de tre hændelser ses at variere markant. ”Sum PAH” er over 40 gange større i decembermålingen 2008 end i samme års oktobermåling. Inden for hver måling er det de samme PAH’er, der optræder i højeste koncentrationer. Det er således primært stofferne phenanthren, fluoranthen og pyren, som påvises i de højeste koncentrationer, men derudover påvises der - især ved december målingen 2008 - også betydelige mængder af chrysen/triphenylen, benz(b+j+k)fluoranthen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren og benzo(g,h,i)perylen (Figur 6.1).

Vandrammedirektivet opstiller som vist i Tabel 6.3 kvalitetsstandarder for nogle PAH’er. Indløbsvandet ved decemberhændelsen 2008 ses at overskride disse for fluoranthen, benz(b+j+k)fluoranthen, benz(a)pyren og benzo(g,h,i)perylen. Det samme gælder 2007 hændelsen, bortset fra benzo(a)pyren, der ikke overskrides. Der ses ingen overskridelser for oktober 2008 hændelsen. De observerede naphthalenkoncentrationer ligger 5-8 gange under VRD-kvalitetsstandarden på 2,4 µg/L, og naphthalen synes dermed ikke at udgøre et problem i vejvand. Det samme gælder anthracen.

Tabel 6.3: PAH'er i ind- og udløbsvand ved tre hændelser (16 US-EPA). Indhold af chrysen og triphenylen analyseres samlet. Et '0' betyder at stoffet ikke er påvist (< detektionsgrænsen). Vandrammedirektivets kvalitetsstandard og grænseværdi er anført som henholdsvis AA-EQS (Annual Average Environmental Quality Standards) og MAC-EQS (Maximum Allowed Concentration). Data fra oktober 2008 er venligst stillet til rådighed af Heidi Birch, DTU.

| PAH-forbindelse (µg/L) | VRD AA-EQS / MAC-EQS | 29.10.2007 | | | 15.10.2008 | | | 4.12.2008 | | | |
|---------------------------|----------------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Ind | DPF- 6 | DPF- 18 | Ind | DPF- 6 | DPF- 18 | Ind | DPF- 6 | Ind | DPF- 18 |
| Naphthalen | 2,4/NA | 0,048 | 0,019 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,032 | 0 | 0,098 | 0 |
| Acenaphthylen | | 0,012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 |
| Acenaphten | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 |
| Fluoren | | 0,018 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,021 | 0 | 0,038 | 0 |
| Phenanthren | | 0,11 | 0,012 | 0 | 0,017 | 0 | 0 | 0,210 | 0,053 | 0,47 | 0 |
| Anthracen | 0,1 / 0,4 | 0,026 | 0 | 0 | 0,012 | 0 | 0 | 0,043 | 0,021 | 0,079 | 0,017 |
| Fluoranthen | 0,1 / 1 | 0,17 | 0,028 | 0 | 0,025 | 0 | 0 | 0,390 | 0,092 | 0,37 | 0,072 |
| Pyren | | 0,2 | 0,037 | 0 | 0,034 | 0 | 0 | 0,430 | 0,081 | 0,69 | 0,02 |
| Benz(a)anthracen | | 0,025 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,350 | 0,028 | 0,3 | 0,017 |
| Chrysen/Triphenylen | | 0,083 | 0,016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,470 | 0,055 | 0,46 | 0 |
| Benz(b+j+k)fluoranthen | 0,03/NA | 0,11 | 0,044 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,660 | 0,11 | 0,51 | 0 |
| Benzo(a)pyren | 0,05/0,1 | 0,037 | 0,012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,280 | 0,079 | 0,26 | 0 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren | | 0,032 | 0,017 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,480 | 0,077 | 0,4 | 0 |
| Dibenz(a,h)anthracen | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,092 | 0,016 | 0,091 | 0 |
| Benzo(g,h,i)perylen | 0,002/NA | 0,074 | 0,023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,620 | 0,17 | 0,71 | 0 |
| Sum PAH | | 0,945 | 0,208 | 0 | 0,088 | 0 | 0 | 4,078 | 0,782 | 4,476 | 0,126 |
| Fjernelsesgrad (%) | | | 78 | 100 | | (100) | (100) | | 82 | | 97 |

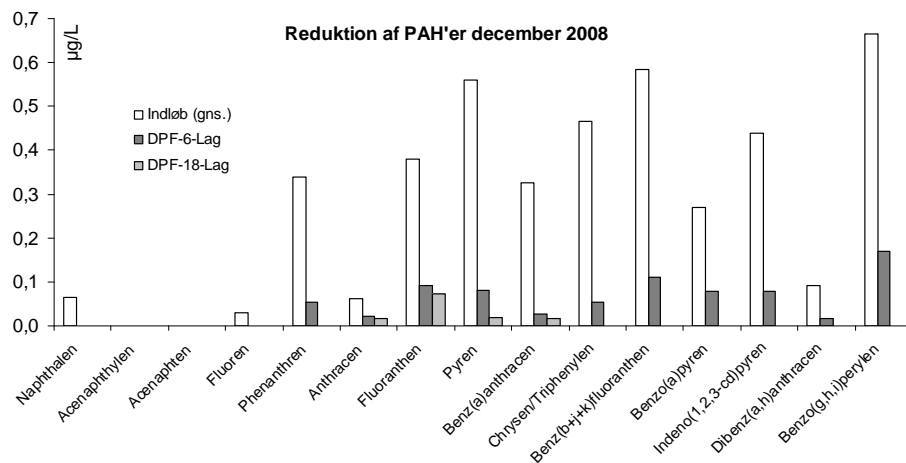


Figur 6.1: Sammenligning af PAH-koncentrationer i indløbsvand ved de tre prøvetagninger. December 2008 prøvetagningen består af 2 prøver (de skraverede søjler), eftersom der blev udtaget indløbsvand fra begge indløbskamre, mens prøvetagningen ved de to foregående hændelser foregik fra indløbet før indløbsvandet opsplittes til hver sit indløbskammer. Samme data som i Tabel 6.3.

DPF-18-Lag reducerer PAH-koncentrationerne til meget lave niveauer, der i alle tilfælde kan overholde VRD-kvalitetsstandarderne, og som ved de fleste analyser ligger under detektionsgrænsen. DPF-6-Lag ses generelt at reducere koncentrationen af de enkelte PAH-forbindelser med en faktor 3 – 10 (Tabel 6.2). Ses der på Sum PAH er der ved de to hændelser med betydelige indløbskoncentrationer, dvs. 2007-hændelsen og hændelsen i december 2008, tale om reduktioner på ca. 80 % (Tabel 6.3).

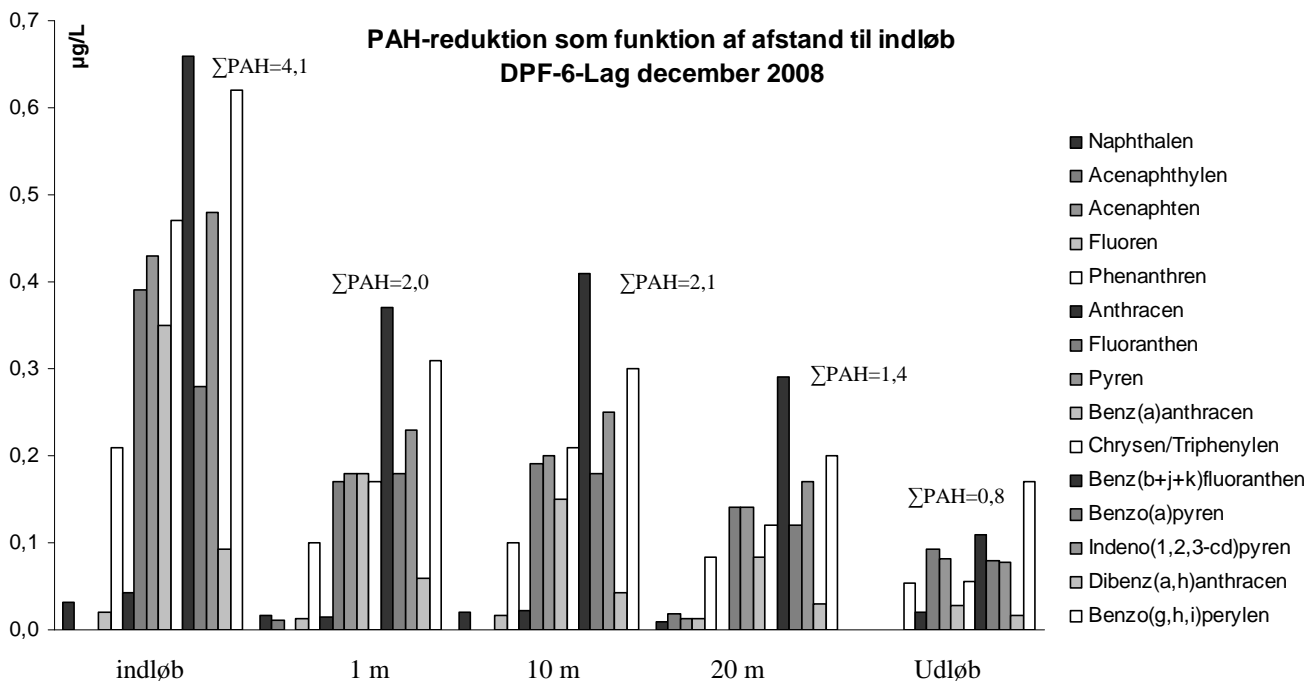
Til trods for denne betydelige reduktion kan DPF-6-Lag ikke overholde VRD-kvalitetsstandarderne for benz(b+j+k)fluoranthren, benzo(a)pyren og benzo(g,h,i)perylene ved december 2008 hændelsen, se Figur 6.2. Det samme er tilfældet for benz(b+j+k)fluoranthren og benzo(g,h,i)perylene ved 2007 hændelsen.

Særligt i forhold til benzo(g,h,i)perylene er der et stort gab mellem udløbskoncentrationen i DPF-6-Lag på 0,17 µg/L og VRD-kvalitetsstandarden på 0,002 µg/L. Den meget lave VRD-værdi for benzo(g,h,i)perylene indikerer at forbindelsen er mere end 10 gange farligere end benzo(a)pyren. Dertil kommer at benzo(g,h,i)perylene er fundet i en 3 gange højere koncentration end benzo(a)pyren, hvilket tilsammen indikerer at benzo(g,h,i)perylene i vejvand kan udgøre et særligt problem.



Figur 6.2: Sammenligning af ind- og udløbskoncentrationer ved december 2008 hændelsen. VRD-kvalitetsstandarderne for benz(b+j+k)fluoranthren, benzo(a)pyren og benzo(g,h,i)perylene er hhv. 0,03 µg/L, 0,05 µg/L og 0,002 µg/L. Samme data som i Tabel 6.3.

Resultatet af sondeslange-prøverne udtaget under decemberhændelsen 2008 fra DPF-6-Lag i stigende afstand fra indløbet er vist i Figur 6.3. Den samlede masse af PAH (Sum PAH) ses at falde for hvert målepunkt, dog er der ingen forskel på prøverne udtaget ved 1 m og 10 m. I alt falder summen af PAH fra 4,1 µg/L ved indløbet til 0,8 µg/L ved udløbet, svarende til en reduktion på 82 %. Der synes ikke at være speciel stor, eller speciel lille fjernelse af nogen af de 16 PAH; alle fjernes i nogen lunde samme omfang.



Figur 6.3: Indhold af PAH i vandprøver udtaget med sondeslanger i stigende afstand fra indløbet i strømningslag nr. 2 fra oven fra DPF-6-Lag under regn december 2008. PAH'erne er ved hver afstand afbilledet i den anførte rækkefølge. Sum PAH er anført for hver prøve som Σ PAH ($\mu\text{g/L}$).

Tabel 6.4: Indhold af DEHP, mono- og dibutyltin samt kloroform i ind- og udløbsvand ved hændelsen oktober 2008. Indhold af Vandrammedirektivets kvalitetsstandard er anført som AA-EQS (Annual Average Environmental Quality Standards). Tak til Heidi Birch, DTU, for at stille data til rådighed.

| Forbindelse ($\mu\text{g/L}$) | VRD AA-EQS | Indløb | DPF-6- Lag | DPF-18- Lag |
|---------------------------------|---------------|--------|---------------|----------------|
| DEHP | 1.3 | 3.0 | <0.5 | <0.5 |
| Monobutyltin | | 0.035 | 0.018 | 0.014 |
| Dibutyltin | | 0.008 | <0.005 | <0.005 |
| Kloroform | 2.5 | <0.02 | 0.034 | 0.1 |

Phthalater, organotin, klorerede forbindelser

Udover pesticider og PAH'er blev hændelsen fra oktober 2008 analyseret for 4 yderligere miljøfremmede forbindelser: phthalaten DEHP, organotinforbindelserne monobutyltin og dibutyltin, samt kloroform som eksempel på en kloreret forbindelse. Resultatet fremgår af Tabel 6.4. Det ses at det undersøgte phthalat optræder i en indløbskoncentration, der overstiger VRD-kvalitetsstandarden, og at stoffet fjernes effektivt ved passage af DPF-filtrene. De to organotinforbindelser findes i koncentrationer over detektionsgrænsen i indløbsvandet, og reduceres med ca. 50 – 75 % under passagen af filtrene. For kloroforms vedkommende ses en indløbskoncentration, der ligger langt under VRD-kvalitetsstandarden,

men at koncentrationen ser ud til at stige under passagen filtrene. Dette indikerer at der sker en produktion af kloroform, hvilket understreges af at koncentrationen er steget ca. 3 gange mere efter passage af DPF-18-Lag end i DPF-6-Lag, hvor opholdstiden er ca. 3 gange kortere. Den bagvedliggende reaktion er ikke kendt.

Konklusion

Pesticidet glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA er de eneste pesticidforbindelser, der er fundet i betydeligt omfang ved de to undersøgelser. Glyphosat reduceres markant under passage af DPF-6-Lag og DPF-18-Lag, mens dette ikke er tilfældet for nedbrydningsproduktet AMPA, hvor der ved den ene undersøgelse ligefrem ses en stigning i koncentrationen, hvilket indikerer mikrobiel omsætning af glyphosat. De fleste af de øvrige pesticider, der er analyseret for, kan ikke detekteres. For de få stoffer der er detekteret, er indløbskoncentrationerne lave, mens udløbskoncentrationerne er endnu lavere eller uændrede.

I to af de tre undersøgte hændelser optræder PAH'erne i betydelige koncentrationer i indløbsvandet, særligt i december 2008 hændelsen. Der ses i alle tilfælde betydelige reduktioner under passage af filtrene. Sum PAH reduceres med omkring 80 % i DPF-6-Lag og med 97-100 % i DPF-18-Lag, der i alle tilfælde kan overholde VRD-kvalitetsstandarderne. DPF-6-Lag har problemer med at overholde VRD-kvalitetsstandarderne for følgende PAH-forbindelser: benz(b+j+k)fluoranthen, benzo(a)pyren og benzo(g,h,i)perylene. Særligt sidstnævnte forbindelse er problematisk.

Den enlige undersøgelse af DEHP indikerer at dette stof kan optræde i vejvand i koncentrationer over VRD-kvalitetsstandard og at både DPF-6-Lag og DPF-18-Lag kan reducere koncentrationen til det krævede niveau. De to undersøgte organotin-forbindelser blev også konstateret i indløbsvandet, og der sås en markant reduktion under passage af filtrene. Kloroform kunne ikke påvises i indløbsvandet i betydelig koncentration, men sås at stige i koncentration ganske betydeligt fra indløb til udløb, hvilket indikerer produktion af kloroform i filtrene.

Det skal understreges at konklusionerne er baseret på et beskedent data-sæt, og at de analyserede prøver ikke er udtaget flow-proportionalt.

7. Størrelsesfordeling af partikulært materiale (SS)

Baggrund

Partikulært materiale er i sig selv en uønsket komponent, hvilket udtrykkes ved kravet om at indholdet af suspenderet stof i det rensede vand højst må være 25 mg/L. Derudover er det partikulære materiale transportvektor for en stor del af de øvrige forureninger (jf. afsnit 4). En høj kvalitet af rensede vejvand er derfor betinget af en effektiv partikelfjernelse. Det er uproblematisk at fjerne de større partikler, dvs. sand- og grovsiltfraktionerne (partikeldiameter hhv. 200 - 2000 µm og 50 - 200 µm); de kan f.eks. fjernes i et sandfang. DPF er designet til at fjerne de finere fraktioner, dvs. partikler < 50 µm, svarende til finsilt og ler (partikeldiameter hhv. 2 - 50 µm og < 2 µm). Ved planlægningen af hele DPF-pilotanlægget i Ørestad blev det overvejet at indskyde et sedimentationsbassin efter pumpestationens sandfang og før DPF-indløbskonstruktionen. Dette blev droppet i forventning om, at det eksisterende sandfang ville være tilstrækkeligt til at sikre fjernelse af partikler med diameter > 50 µm. For at få et indtryk af partikelstørrelserne i det vand, der modtages i DPF-indløbskonstruktionen er der ved to lejligheder udtaget prøver af indløbsvandet under regn. Der er derudover med sondeslanger² udtaget prøver fra udvalgte strømningslag i stigende afstand fra indløbet for derved at få et indblik i hvordan partikelfjernelsen forløber langs filtrens længdeprofil. Ved at sammenholde partikelstørrelsesfordelingen i indløbet med den totale mængde af suspenderet stof fjernet ved udløbet er det desuden muligt at vurdere, hvor små partikler DPF-filtrene i Ørestad tilbageholder. Dermed kan DPF sammenlignes med andre metoder til partikelfjernelse.

Formål

At opnå indsigt i partikelstørrelsesfordelingen i vejvand, der efter passage af sandfang, modtages i DPF-indløbskamrene i Ørestad. Det er desuden formålet at belyse forløbet af partikel-fjernelsen i filtrens længdeprofil, samt at estimere hvilke partikelstørrelser DPF-filtrene tilbageholder.

Metode

Partikelstørrelsesfordeling er undersøgt som kampagnemålinger, idet der ved to lejligheder er udtaget prøver til analyse, nemlig 11. januar 2007 og 2. december 2008. Prøverne er udtaget under langvarig regn, for at sikre så kontinuerlig drift af pumperne som muligt, og dermed jævn strømning (uden "sedimentationspauser") gennem filtrene. De tilhørende strømningshastigheder gennem filtrene var 8 m³/t d. 11. januar for både

² Udover prøvetagning af ind- og udløb med ISCO-fraktionsopsamlere, som beskrevet i Basisrapporten, er der ved DPF-pilotanlæggets etablering skabt mulighed for at udtage prøver af vand fra to udvalgte strømningslag i hvert filter, idet der er indlagt tynde PE-slanger (ydre diameter 3 mm, indvendig diameter 1.4 mm), refereret til som "sondeslanger", i stigende afstand fra indløbet, nemlig 1 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m og 49 m. Sondeslangerne er ført ud gennem en vandtæt gennemføring i den omsluttende membran og op gennem en brønd, hvorfra der med en vacuum pumpe kan udsuges prøver til glasflasker. I DPF-6-Lag er strømningslag nr. 2 og 4 forsynet med disse sondeslanger, mens det for DPF-18-Lag drejer sig om strømningslag nr. 6 og 12.

DPF-6-Lag og DPF-18-Lag. Den 2. december var flowet gennem DPF-6-Lag i samme størrelsesorden, nemlig $6,7 \text{ m}^3/\text{t}$, mens det for DPF-18-Lag på grund af problemer med tilstopning kun var $1,2 \text{ m}^3/\text{t}$.

Partikelstørrelsesfordelingen er målt på indløbsprøver udtaget manuelt med glasflaske direkte fra indløbet eller indløbstruget, og på prøver udtaget i stigende afstand fra indløbet fra strømningsslag nr. 2 fra oven i DPF-6-Lag og nr. 6 fra oven i DPF-18-Lag ved hjælp af sondeslanger. Umiddelbart efter udtagning er prøverne transporteret til Particle Analytical ApS i Hørsholm, der inden for de efterfølgende 24 timer har analyseret partikelstørrelsesfordelingen ved hjælp af laser diffraktion med en Malvern Mastersizer 2000. Partikelstørrelsen beskrives som diameteren af den ækvivalente sfæriske partikel, idet partiklerne reelt kan have alle former. Fordelingen udtrykkes på basis af partiklernes volumen. Mindste partikeldiameter, der analyseres for, er $0,02 \mu\text{m}$ og den største er $2000 \mu\text{m}$. Analysemetoden kræver et vist partikelindhold for at kunne gennemføres, hvilket betyder at prøver udtaget tættest på udløbet (40 m, 49 m og selve udløbet, 50 m) ikke kan analyseres og at resultater for prøver udtaget ved 20 m og 30 m er usikre.

Indhold af suspenderet stof er ved prøvetagningen januar 2007 analyseret på indløbsvand og på sondeprøver udtaget fra strømningsslag nr. 2 og 4 i DPF-6-Lag, samt fra strømningsslag nr. 6 og 12 i DPF-18-Lag. Ved prøvetagningen december 2008 blev der prøvetaget tilsvarende, men sondeprøverne fra de to lagdybder blev bulket for at minimere analysearbejdet.

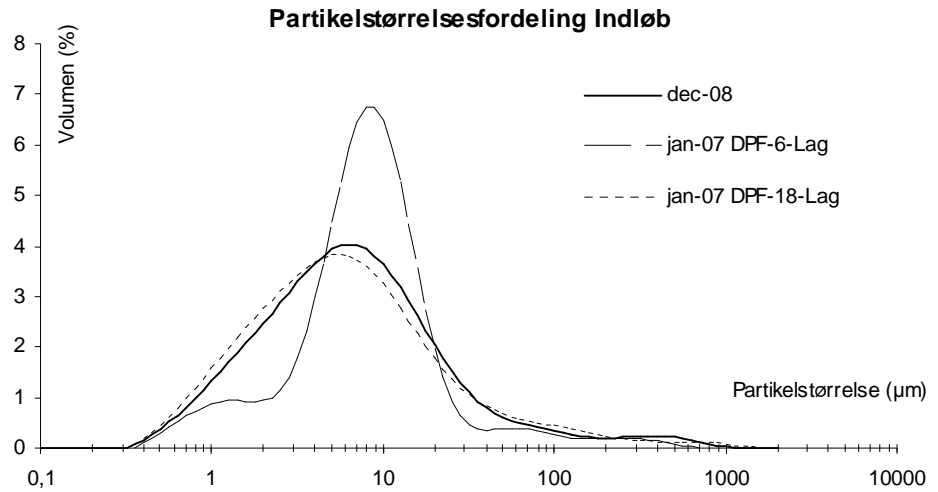
Resultater og diskussion

Partikelstørrelsesfordelinger af suspenderet stof i indløbsvand ved de to prøvetagninger fremgår af Figur 7.1. For begge kurver er partikelstørrelsesfordelingerne gengivet som gennemsnit af indløbsprøven fra DPF-6-Lag og indløbsprøven fra DPF-18-Lag. På figuren repræsenterer arealerne under kurverne 100 % partikelvolumen, og angiver dermed den relative fordeling. Figur 7.2 viser partikelstørrelsesfordelingen ned igennem de to filtre. Rådata for partikelstørrelsesfordelinger for indløbsprøver, 1 m, 10 m og 20 m, som data er modtaget fra Particle Analytical ApS, fremgår af Tabel 7.1, mens Tabel 7.2 er en oversigtstabel til sammenligning af alle resultater. Figur 7.3 viser indholdet af suspenderet stof. De samme værdier er gengivet i Tabel 7.3, der desuden indeholder estimater for mindste partikelstørrelse fjernet.

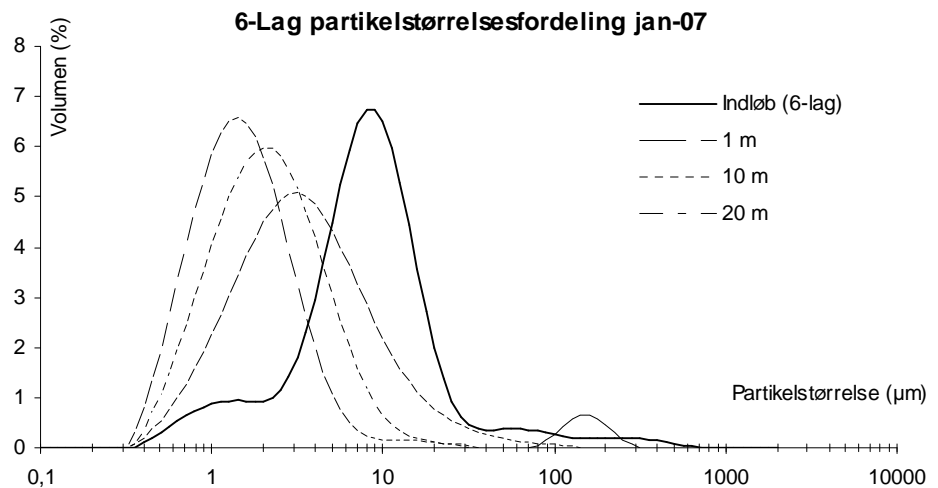
Af Figur 7.1 fremgår at hovedparten af partiklerne i indløbsvandet ved begge prøvetagninger har diameter på knap $10 \mu\text{m}$. Dette fremgår også af tabel 7.3, der mere præcist viser at 50 % af partiklerne ved begge prøvetagninger har diameter under $5 - 8 \mu\text{m}$. Langt hovedparten af partiklerne er således under $100 \mu\text{m}$; faktisk er 90 % under ca. $30 \mu\text{m}$ (Tabel 7.3). Tilsvarende ses i begge tilfælde at de mindste partikler, der ankommer til DPF-anlægget, ligger på omkring $0,3 \mu\text{m}$ (Tabel 7.1). Der bemærkes at der er en markant forskel på de to prøvetagninger i indløbskamrene ved januar-07 målingen, hvor prøven fra indløbskammeret til DPF-6-Lag har en mere svæver fordeling omkring $10 \mu\text{m}$ end prøven fra indløbskammeret til DPF-18-Lag. Forklaringen kendes ikke.

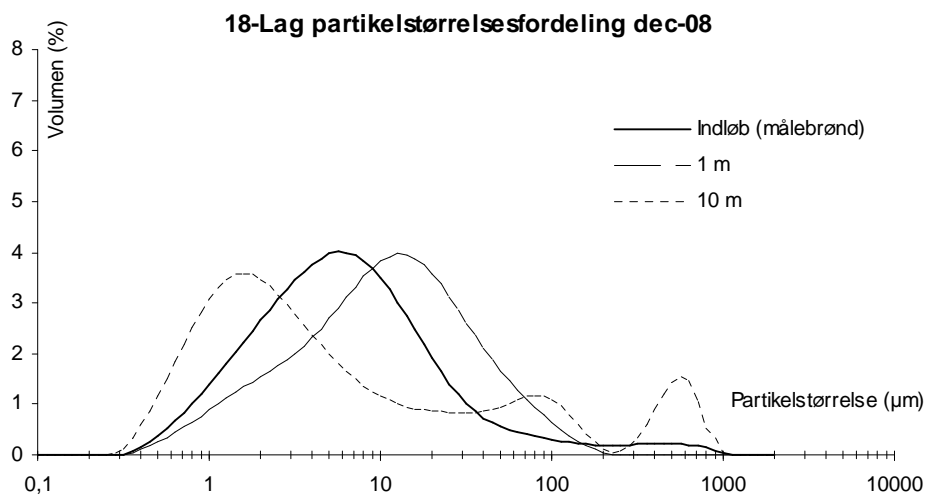
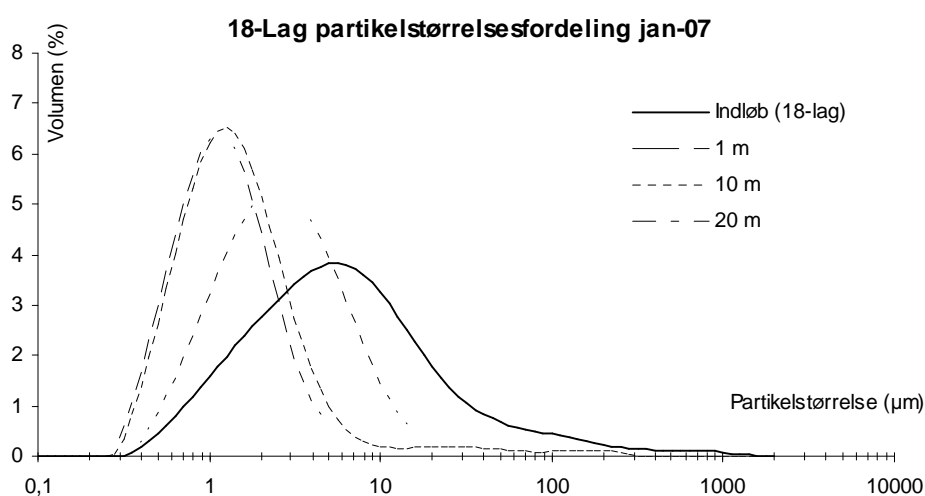
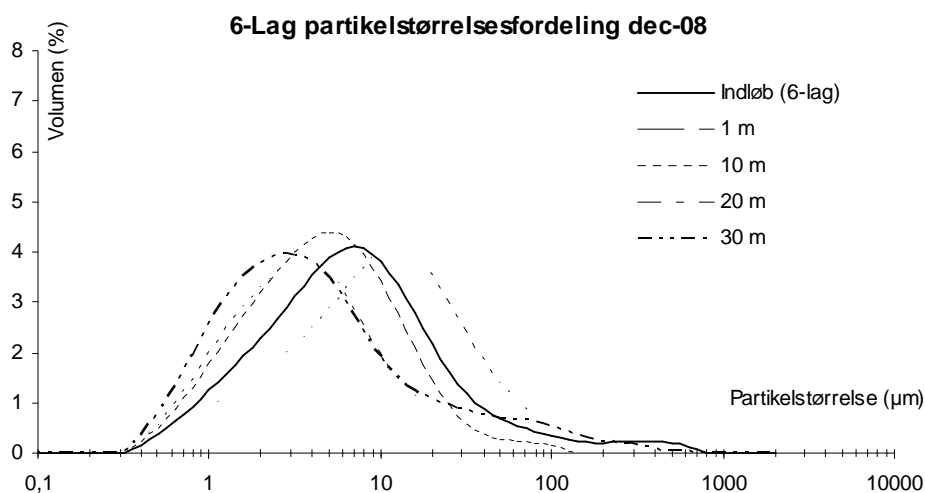
Hvorvidt disse fordelinger er repræsentative for samtlige afstrømninger i Ørestad kan naturligvis ikke afgøres på baggrund af to målinger. Det er dog

interessant at de to fordelinger, der repræsenterer hændelser med vidt forskelligt totalindhold af suspenderet stof (hhv. over 300 mg/L og under 100 mg/L, Tabel 7.3), er i så stor overensstemmelse som tilfældet er. Det antyder, at sandfanget ved pumpestationen fjerner partikler med diametre fra ca. 30 μm og opefter, samt at de kilder, der er til partikler med diameter $< 30 \mu\text{m}$, er nogenlunde ens repræsenteret ved de to prøvetagninger.



Figur 7.1: Fordeling af partikelstørrelser (diameter) i indløbsvand modtaget ved DPF-anlægget 11. januar 2007 og 2. december 2008. Arealet under hver kurve svarer til 100 % partikelvolumen.



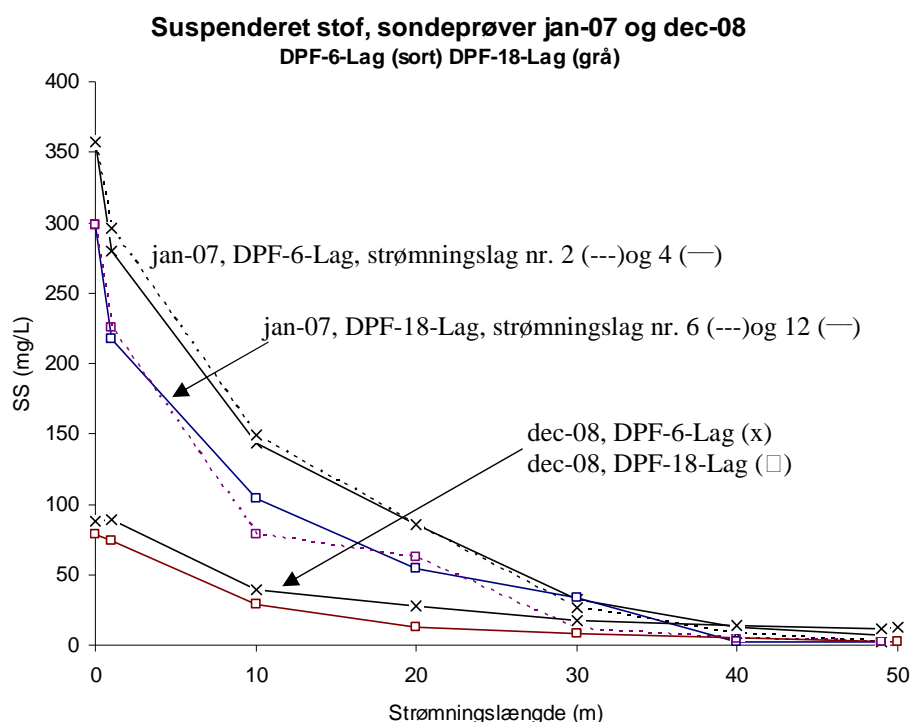


Figur 7.2: Fordeling af partikelstørrelser i længdeprofilen af DPF-6-Lag (de to øverste diagrammer) og DPF-18-Lag (de to nederste diagrammer) d. 11. januar 2007 og d. 2. december 2008. Kurverne for indløbsprøverne er inkluderet for sammenlignelighedens skyld (samme som i Figur 7.1). Arealet under hver kurve svarer til 100 % partikelvolumen. Data for 30 m-prøven i DPF-6-Lag og ligeledes for 20- og 30 m prøverne fra DPF-18-Lag vises ikke, da de er behæftet med stor usikkerhed på grund af for lavt suspenderet stof indhold.

Generelt ses kurverne i hvert af de fire diagrammer i Figur 7.2 at forskydes mod mindre partikelstørrelser med stigende afstand til indløbet, svarende til at de største partikler fjernes først. Det, at graferne for suspenderet stof er eksponentielt aftagende (Figur 7.3), antyder tilsvarende at det er de største partikler, der fjernes først.

Dog viser resultatet for december 2008 lidt overraskende at partikelstørrelserne er større ved afstanden 1 m inde i filteret end ved indløbet. Dette gælder både 1 m prøven fra DPF-6-Lag og 1 m prøven fra DPF-18-Lag, og er vanskeligt at forklare.

I alle fire diagrammer ses en eller flere af kurverne at optræde med pukler ved partikelstørrelse 100 μm og derover. Det ses ved sammenligning med Tabel 7.3 at disse kurver alle repræsenterer prøver med lavt suspenderet stof indhold, og puklerne tilskrives da ifølge analysefirmaets måleartefakter, der opstår når analysen gennemføres ved grænsen af metodens følsomhed. Denne usikkerhed gælder også for de tilsvarende prøvers fraktilfordelinger (Tabel 7.2).



Figur 7.3: Indhold af suspenderet stof i indløbsvand (0 m) og i strømningslag i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag under regn d. 11. januar 2007 (vist som gennemsnit af de to prøver fra hver afstand) og d. 2. december 2008. Se Tabel 7.3 for værdier.

Tabel 7.1: Fordeling af partikelstørrelser i indløb, ved 1 m, 10 m og 20 m i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag på to regnvejrsgage. Partikelstørrelserne er anført i µm (f.eks. 0,02 % af partiklerne i indløbsvandet d. 11. januar 2007 til DPF-6-Lag havde diam. under 0,356 µm). Partikelklasse markeret (fed, understreget) svarer til største partikler, der kan have forladt filteret, mens klasser markeret med grå indgår i beregningen, jf. tekst og Tabel 7.3.

| 11. januar 2007 DPF-6-LAG | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|
| Indløb | % | (fortsat) | | 1 m | % | (fortsat) | | 10 m | % | (fortsat) | | 20 m | % | (fortsat) | |
| 0,020 | | 7,10 | 6,45 | 0,020 | | 7,10 | 3,25 | 0,020 | | 7,10 | 1,58 | 0,020 | | 7,10 | 0,35 |
| 0,022 | 0,00 | 7,96 | 6,74 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 2,87 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 1,20 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 0,25 |
| 0,025 | 0,00 | 8,93 | 6,75 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 2,50 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 0,89 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 0,19 |
| 0,028 | 0,00 | 10,0 | 6,49 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 2,17 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 0,65 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 0,17 |
| 0,032 | 0,00 | 11,2 | 5,98 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 1,85 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 0,46 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 0,16 |
| 0,036 | 0,00 | 12,6 | 5,27 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 1,57 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 0,33 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 0,15 |
| 0,040 | 0,00 | 14,2 | 4,44 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 1,32 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,24 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,15 |
| 0,045 | 0,00 | 15,9 | 3,57 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 1,11 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,18 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,14 |
| 0,050 | 0,00 | 17,8 | 2,73 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,93 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,14 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,12 |
| 0,056 | 0,00 | 20,0 | 1,99 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,77 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,11 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,10 |
| 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,39 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,65 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,09 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,09 |
| 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,93 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,54 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,08 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,06 |
| 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,63 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,45 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,06 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,02 |
| 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,45 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,38 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,06 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,00 |
| 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,37 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,32 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,02 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,00 |
| 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,35 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,27 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,00 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,00 |
| 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,36 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,23 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,00 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,00 |
| 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,38 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,19 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,00 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,00 |
| 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,39 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,16 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,00 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,00 |
| 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,38 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,13 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,00 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,00 |
| 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,36 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,11 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,00 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,01 |
| 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,33 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,09 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,00 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,05 |
| 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,29 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,08 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,00 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,15 |
| 0,283 | 0,00 | 100 | 0,25 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,07 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,28 |
| 0,317 | 0,00 | 112 | 0,23 | 0,317 | 0,01 | 112 | 0,05 | 0,317 | 0,01 | 112 | 0,00 | 0,317 | 0,02 | 112 | 0,42 |
| 0,356 | 0,02 | 126 | 0,21 | 0,356 | 0,08 | 126 | 0,02 | 0,356 | 0,09 | 126 | 0,00 | 0,356 | 0,31 | 126 | 0,56 |
| 0,399 | 0,11 | 142 | 0,19 | 0,399 | 0,20 | 142 | 0,00 | 0,399 | 0,36 | 142 | 0,00 | 0,399 | 0,78 | 142 | 0,64 |
| 0,448 | 0,19 | 159 | 0,19 | 0,448 | 0,37 | 159 | 0,00 | 0,448 | 0,71 | 159 | 0,00 | 0,448 | 1,34 | 159 | 0,64 |
| 0,502 | 0,31 | 178 | 0,20 | 0,502 | 0,54 | 178 | 0,00 | 0,502 | 1,06 | 178 | 0,00 | 0,502 | 1,96 | 178 | 0,57 |
| 0,564 | 0,41 | 200 | 0,20 | 0,564 | 0,75 | 200 | 0,00 | 0,564 | 1,49 | 200 | 0,00 | 0,564 | 2,63 | 200 | 0,44 |
| 0,632 | 0,53 | 224 | 0,20 | 0,632 | 0,99 | 224 | 0,00 | 0,632 | 1,97 | 224 | 0,00 | 0,632 | 3,34 | 224 | 0,31 |
| 0,710 | 0,63 | 252 | 0,20 | 0,710 | 1,27 | 252 | 0,00 | 0,710 | 2,46 | 252 | 0,00 | 0,710 | 4,04 | 252 | 0,15 |
| 0,796 | 0,73 | 283 | 0,19 | 0,796 | 1,57 | 283 | 0,00 | 0,796 | 2,99 | 283 | 0,00 | 0,796 | 4,72 | 283 | 0,08 |
| 0,893 | 0,81 | 317 | 0,18 | 0,893 | 1,91 | 317 | 0,00 | 0,893 | 3,52 | 317 | 0,00 | 0,893 | 5,34 | 317 | 0,01 |
| 1,00 | 0,88 | 356 | 0,16 | 1,00 | 2,26 | 356 | 0,00 | 1,00 | 4,05 | 356 | 0,00 | 1,00 | 5,86 | 356 | 0,00 |
| 1,12 | 0,92 | 399 | 0,14 | 1,12 | 2,65 | 399 | 0,00 | 1,12 | 4,55 | 399 | 0,00 | 1,12 | 6,26 | 399 | 0,00 |
| 1,26 | 0,94 | 448 | 0,11 | 1,26 | 3,04 | 448 | 0,00 | 1,26 | 5,00 | 448 | 0,00 | 1,26 | 6,51 | 448 | 0,00 |
| 1,42 | 0,94 | 502 | 0,09 | 1,42 | 3,44 | 502 | 0,00 | 1,42 | 5,39 | 502 | 0,00 | 1,42 | 6,58 | 502 | 0,00 |
| 1,59 | 0,93 | 564 | 0,05 | 1,59 | 3,82 | 564 | 0,00 | 1,59 | 5,69 | 564 | 0,00 | 1,59 | 6,48 | 564 | 0,00 |
| 1,78 | 0,92 | 632 | 0,03 | 1,78 | 4,18 | 632 | 0,00 | 1,78 | 5,90 | 632 | 0,00 | 1,78 | 6,21 | 632 | 0,00 |
| 2,00 | 0,94 | 710 | 0,01 | 2,00 | 4,50 | 710 | 0,00 | 2,00 | 5,99 | 710 | 0,00 | 2,00 | 5,79 | 710 | 0,00 |
| 2,24 | 1,00 | 796 | 0,00 | 2,24 | 4,76 | 796 | 0,00 | 2,24 | 5,96 | 796 | 0,00 | 2,24 | 5,24 | 796 | 0,00 |
| 2,52 | 1,15 | 893 | 0,00 | 2,52 | 4,96 | 893 | 0,00 | 2,52 | 5,81 | 893 | 0,00 | 2,52 | 4,62 | 893 | 0,00 |
| 2,83 | 1,40 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 5,07 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 5,54 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 3,95 | 1.002 | 0,00 |
| 3,17 | 1,78 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 5,09 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 5,17 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 3,27 | 1.125 | 0,00 |
| 3,56 | 2,30 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 5,02 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 4,72 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 2,62 | 1.262 | 0,00 |
| 3,99 | 2,95 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 4,86 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 4,20 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 2,02 | 1.416 | 0,00 |
| 4,48 | 3,69 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 4,63 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 3,65 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 1,51 | 1.589 | 0,00 |
| 5,02 | 4,49 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 4,34 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 3,08 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 1,08 | 1.783 | 0,00 |
| 5,64 | 5,26 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 4,00 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 2,54 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 0,75 | 2.000 | 0,00 |
| 6,32 | 5,94 | sum | 100% | 6,32 | 3,63 | sum | 100% | 6,32 | 2,03 | sum | 100% | 6,32 | 0,51 | sum | 100% |

11. januar2007 DPF-18-LAG

| Indløb | % | (fortsat) | | 1 m | % | (fortsat) | | 10 m | % | (fortsat) | | 20 m | % | (fortsat) | |
|--------------|-------------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|
| 0,020 | | 7,10 | 3,72 | 0,020 | | 7,10 | 2,64 | 0,020 | | 7,10 | 0,38 | 0,020 | | 7,10 | 0,41 |
| 0,022 | 0,00 | 7,96 | 3,61 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 2,22 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 0,28 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 0,40 |
| 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,45 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 1,82 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 0,22 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 0,40 |
| 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,25 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 1,46 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 0,19 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 0,39 |
| 0,032 | 0,00 | 11,2 | 3,03 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 1,13 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 0,17 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 0,38 |
| 0,036 | 0,00 | 12,6 | 2,78 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 0,86 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 0,17 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 0,36 |
| 0,040 | 0,00 | 14,2 | 2,52 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,64 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,17 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,34 |
| 0,045 | 0,00 | 15,9 | 2,26 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,46 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,18 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,32 |
| 0,050 | 0,00 | 17,8 | 2,01 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,33 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,18 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,29 |
| 0,056 | 0,00 | 20,0 | 1,77 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,24 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,19 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,27 |
| 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,56 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,17 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,19 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,25 |
| 0,071 | 0,00 | 25,2 | 1,36 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,13 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,19 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,24 |
| 0,080 | 0,00 | 28,3 | 1,19 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,10 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,19 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,23 |
| 0,089 | 0,00 | 31,7 | 1,05 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,09 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,18 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,22 |
| 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,93 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,08 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,18 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,20 |
| 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,83 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,07 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,16 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,18 |
| 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,74 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,07 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,15 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,16 |
| 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,67 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,06 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,14 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,14 |
| 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,62 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,05 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,12 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,13 |
| 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,57 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,02 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,11 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,14 |
| 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,53 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,00 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,10 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,16 |
| 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,50 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,00 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,09 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,19 |
| 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,47 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,00 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,09 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,25 |
| 0,283 | 0,00 | 100 | 0,44 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,00 | 0,283 | 0,04 | 100 | 0,10 | 0,283 | 0,12 | 100 | 0,31 |
| 0,317 | 0,01 | 112 | 0,40 | 0,317 | 0,01 | 112 | 0,00 | 0,317 | 0,34 | 112 | 0,10 | 0,317 | 0,62 | 112 | 0,36 |
| 0,356 | 0,07 | 126 | 0,37 | 0,356 | 0,09 | 126 | 0,00 | 0,356 | 0,82 | 126 | 0,11 | 0,356 | 1,08 | 126 | 0,41 |
| 0,399 | 0,17 | 142 | 0,33 | 0,399 | 0,30 | 142 | 0,00 | 0,399 | 1,35 | 142 | 0,12 | 0,399 | 1,66 | 142 | 0,44 |
| 0,448 | 0,31 | 159 | 0,29 | 0,448 | 0,58 | 159 | 0,00 | 0,448 | 1,96 | 159 | 0,13 | 0,448 | 2,30 | 159 | 0,45 |
| 0,502 | 0,45 | 178 | 0,26 | 0,502 | 0,86 | 178 | 0,00 | 0,502 | 2,63 | 178 | 0,13 | 0,502 | 2,99 | 178 | 0,44 |
| 0,564 | 0,61 | 200 | 0,23 | 0,564 | 1,20 | 200 | 0,00 | 0,564 | 3,32 | 200 | 0,12 | 0,564 | 3,68 | 200 | 0,41 |
| 0,632 | 0,79 | 224 | 0,20 | 0,632 | 1,57 | 224 | 0,00 | 0,632 | 4,03 | 224 | 0,10 | 0,632 | 4,38 | 224 | 0,36 |
| 0,710 | 0,97 | 252 | 0,17 | 0,710 | 1,96 | 252 | 0,00 | 0,710 | 4,70 | 252 | 0,08 | 0,710 | 5,02 | 252 | 0,30 |
| 0,796 | 1,17 | 283 | 0,16 | 0,796 | 2,38 | 283 | 0,00 | 0,796 | 5,31 | 283 | 0,04 | 0,796 | 5,58 | 283 | 0,22 |
| 0,893 | 1,37 | 317 | 0,14 | 0,893 | 2,80 | 317 | 0,00 | 0,893 | 5,83 | 317 | 0,00 | 0,893 | 6,02 | 317 | 0,14 |
| 1,00 | 1,58 | 356 | 0,13 | 1,00 | 3,23 | 356 | 0,00 | 1,00 | 6,21 | 356 | 0,00 | 1,00 | 6,31 | 356 | 0,02 |
| 1,12 | 1,79 | 399 | 0,13 | 1,12 | 3,65 | 399 | 0,00 | 1,12 | 6,45 | 399 | 0,00 | 1,12 | 6,43 | 399 | 0,00 |
| 1,26 | 1,99 | 448 | 0,13 | 1,26 | 4,04 | 448 | 0,00 | 1,26 | 6,51 | 448 | 0,00 | 1,26 | 6,35 | 448 | 0,00 |
| 1,42 | 2,19 | 502 | 0,13 | 1,42 | 4,41 | 502 | 0,00 | 1,42 | 6,39 | 502 | 0,00 | 1,42 | 6,09 | 502 | 0,00 |
| 1,59 | 2,38 | 564 | 0,13 | 1,59 | 4,72 | 564 | 0,00 | 1,59 | 6,11 | 564 | 0,00 | 1,59 | 5,66 | 564 | 0,00 |
| 1,78 | 2,57 | 632 | 0,13 | 1,78 | 4,97 | 632 | 0,00 | 1,78 | 5,69 | 632 | 0,00 | 1,78 | 5,09 | 632 | 0,00 |
| 2,00 | 2,76 | 710 | 0,12 | 2,00 | 5,16 | 710 | 0,00 | 2,00 | 5,16 | 710 | 0,00 | 2,00 | 4,44 | 710 | 0,00 |
| 2,24 | 2,93 | 796 | 0,11 | 2,24 | 5,27 | 796 | 0,00 | 2,24 | 4,56 | 796 | 0,00 | 2,24 | 3,76 | 796 | 0,00 |
| 2,52 | 3,10 | 893 | 0,11 | 2,52 | 5,31 | 893 | 0,00 | 2,52 | 3,94 | 893 | 0,00 | 2,52 | 3,09 | 893 | 0,00 |
| 2,83 | 3,27 | 1.002 | 0,06 | 2,83 | 5,26 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 3,33 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 2,47 | 1.002 | 0,00 |
| 3,17 | 3,42 | 1.125 | 0,04 | 3,17 | 5,14 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 2,74 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 1,93 | 1.125 | 0,00 |
| 3,56 | 3,56 | 1.262 | 0,03 | 3,56 | 4,94 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 2,21 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 1,48 | 1.262 | 0,00 |
| 3,99 | 3,67 | 1.416 | 0,03 | 3,99 | 4,66 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 1,74 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 1,11 | 1.416 | 0,00 |
| 4,48 | 3,76 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 4,33 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 1,34 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 0,84 | 1.589 | 0,00 |
| 5,02 | 3,81 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 3,94 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 1,00 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 0,64 | 1.783 | 0,00 |
| 5,64 | 3,82 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 3,52 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 0,73 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 0,51 | 2.000 | 0,00 |
| 6,32 | 3,80 | sum | 100% | 6,32 | 3,08 | sum | 100% | 6,32 | 0,53 | sum | 100% | 6,32 | 0,44 | sum | 100% |

2. december 2008 DPF-6-LAG

| Indløb | % | (fortsat) | | 1 m | % | (fortsat) | | 10 m | % | (fortsat) | | 20 m | % | (fortsat) | |
|-------------|-------------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|
| 0,020 | | 7,10 | 4,10 | 0,020 | | 7,10 | 3,52 | 0,020 | | 7,10 | 4,15 | 0,020 | | 7,10 | 2,86 |
| 0,022 | 0,00 | 7,96 | 4,06 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 3,71 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 3,95 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 2,56 |
| 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,95 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,87 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,70 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 2,25 |
| 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,80 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,99 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,42 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 1,97 |
| 0,032 | 0,00 | 11,2 | 3,59 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 4,07 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 3,10 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 1,70 |
| 0,036 | 0,00 | 12,6 | 3,35 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 4,08 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 2,77 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 1,47 |
| 0,040 | 0,00 | 14,2 | 3,07 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 4,04 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 2,43 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 1,29 |
| 0,045 | 0,00 | 15,9 | 2,77 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 3,93 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 2,09 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 1,15 |
| 0,050 | 0,00 | 17,8 | 2,47 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 3,76 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 1,77 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 1,05 |
| 0,056 | 0,00 | 20,0 | 2,17 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 3,54 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 1,46 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,99 |
| 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,88 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 3,28 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,18 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,95 |
| 0,071 | 0,00 | 25,2 | 1,61 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 2,99 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,94 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,94 |
| 0,080 | 0,00 | 28,3 | 1,38 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 2,69 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,74 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,94 |
| 0,089 | 0,00 | 31,7 | 1,17 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 2,40 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,57 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,95 |
| 0,100 | 0,00 | 35,6 | 1,00 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 2,11 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,45 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,97 |
| 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,87 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 1,85 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,37 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 1,00 |
| 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,76 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 1,62 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,31 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 1,04 |
| 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,68 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 1,41 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,28 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 1,07 |
| 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,60 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 1,22 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,26 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 1,11 |
| 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,54 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 1,05 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,25 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 1,13 |
| 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,49 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,89 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,23 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 1,13 |
| 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,43 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,75 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,21 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 1,11 |
| 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,38 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,62 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,18 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 1,06 |
| 0,283 | 0,00 | 100 | 0,34 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,50 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,14 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,98 |
| 0,317 | 0,01 | 112 | 0,30 | 0,317 | 0,01 | 112 | 0,39 | 0,317 | 0,02 | 112 | 0,10 | 0,317 | 0,02 | 112 | 0,88 |
| 0,356 | 0,08 | 126 | 0,26 | 0,356 | 0,06 | 126 | 0,29 | 0,356 | 0,10 | 126 | 0,04 | 0,356 | 0,10 | 126 | 0,76 |
| 0,399 | 0,16 | 142 | 0,23 | 0,399 | 0,12 | 142 | 0,21 | 0,399 | 0,21 | 142 | 0,00 | 0,399 | 0,24 | 142 | 0,64 |
| 0,448 | 0,27 | 159 | 0,21 | 0,448 | 0,19 | 159 | 0,14 | 0,448 | 0,36 | 159 | 0,00 | 0,448 | 0,41 | 159 | 0,53 |
| 0,502 | 0,38 | 178 | 0,20 | 0,502 | 0,27 | 178 | 0,09 | 0,502 | 0,51 | 178 | 0,00 | 0,502 | 0,59 | 178 | 0,44 |
| 0,564 | 0,50 | 200 | 0,20 | 0,564 | 0,36 | 200 | 0,05 | 0,564 | 0,69 | 200 | 0,00 | 0,564 | 0,79 | 200 | 0,38 |
| 0,632 | 0,63 | 224 | 0,21 | 0,632 | 0,45 | 224 | 0,03 | 0,632 | 0,88 | 224 | 0,00 | 0,632 | 1,02 | 224 | 0,33 |
| 0,710 | 0,78 | 252 | 0,22 | 0,710 | 0,55 | 252 | 0,02 | 0,710 | 1,09 | 252 | 0,00 | 0,710 | 1,25 | 252 | 0,31 |
| 0,796 | 0,93 | 283 | 0,23 | 0,796 | 0,66 | 283 | 0,02 | 0,796 | 1,31 | 283 | 0,00 | 0,796 | 1,50 | 283 | 0,29 |
| 0,893 | 1,08 | 317 | 0,24 | 0,893 | 0,77 | 317 | 0,02 | 0,893 | 1,54 | 317 | 0,00 | 0,893 | 1,76 | 317 | 0,27 |
| 1,00 | 1,25 | 356 | 0,24 | 1,00 | 0,89 | 356 | 0,02 | 1,00 | 1,78 | 356 | 0,00 | 1,00 | 2,01 | 356 | 0,25 |
| 1,12 | 1,41 | 399 | 0,24 | 1,12 | 1,01 | 399 | 0,01 | 1,12 | 2,02 | 399 | 0,00 | 1,12 | 2,26 | 399 | 0,22 |
| 1,26 | 1,58 | 448 | 0,22 | 1,26 | 1,13 | 448 | 0,00 | 1,26 | 2,26 | 448 | 0,00 | 1,26 | 2,50 | 448 | 0,19 |
| 1,42 | 1,75 | 502 | 0,20 | 1,42 | 1,26 | 502 | 0,00 | 1,42 | 2,51 | 502 | 0,00 | 1,42 | 2,73 | 502 | 0,15 |
| 1,59 | 1,92 | 564 | 0,17 | 1,59 | 1,38 | 564 | 0,00 | 1,59 | 2,74 | 564 | 0,00 | 1,59 | 2,94 | 564 | 0,12 |
| 1,78 | 2,10 | 632 | 0,13 | 1,78 | 1,50 | 632 | 0,00 | 1,78 | 2,98 | 632 | 0,00 | 1,78 | 3,13 | 632 | 0,10 |
| 2,00 | 2,29 | 710 | 0,09 | 2,00 | 1,62 | 710 | 0,00 | 2,00 | 3,20 | 710 | 0,00 | 2,00 | 3,30 | 710 | 0,06 |
| 2,24 | 2,48 | 796 | 0,02 | 2,24 | 1,75 | 796 | 0,00 | 2,24 | 3,42 | 796 | 0,00 | 2,24 | 3,45 | 796 | 0,03 |
| 2,52 | 2,68 | 893 | 0,00 | 2,52 | 1,87 | 893 | 0,00 | 2,52 | 3,62 | 893 | 0,00 | 2,52 | 3,58 | 893 | 0,02 |
| 2,83 | 2,90 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 2,01 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 3,82 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 3,68 | 1.002 | 0,02 |
| 3,17 | 3,11 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 2,16 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 4,00 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 3,75 | 1.125 | 0,01 |
| 3,56 | 3,33 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 2,32 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 4,16 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 3,78 | 1.262 | 0,00 |
| 3,99 | 3,54 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 2,50 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 4,28 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 3,76 | 1.416 | 0,00 |
| 4,48 | 3,73 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 2,69 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 4,36 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 3,69 | 1.589 | 0,00 |
| 5,02 | 3,90 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 2,89 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 4,40 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 3,56 | 1.783 | 0,00 |
| 5,64 | 4,02 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 3,10 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 4,37 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 3,37 | 2.000 | 0,00 |
| 6,32 | 4,09 | sum | 100% | 6,32 | 3,31 | sum | 100% | 6,32 | 4,29 | sum | 100% | 6,32 | 3,14 | sum | 100% |

2. desember 2008 DPF-18-LAG

| Indløb | % | (fortsat) | | 1 m | % | (fortsat) | | 10 m | % | (fortsat) | | 20 m | % | (fortsat) | |
|--------------|-------------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|-------|------|------------|-------------|
| 0,020 | | 7,10 | 3,93 | 0,020 | | 7,10 | 3,32 | 0,020 | | 7,10 | 1,50 | 0,020 | | 7,10 | 1,38 |
| 0,022 | 0,00 | 7,96 | 3,82 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 3,51 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 1,37 | 0,022 | 0,00 | 7,96 | 1,39 |
| 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,66 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 3,69 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 1,25 | 0,025 | 0,00 | 8,93 | 1,41 |
| 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,48 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 3,83 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 1,16 | 0,028 | 0,00 | 10,0 | 1,44 |
| 0,032 | 0,00 | 11,2 | 3,25 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 3,92 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 1,07 | 0,032 | 0,00 | 11,2 | 1,48 |
| 0,036 | 0,00 | 12,6 | 3,00 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 3,97 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 1,00 | 0,036 | 0,00 | 12,6 | 1,53 |
| 0,040 | 0,00 | 14,2 | 2,74 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 3,95 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 0,95 | 0,040 | 0,00 | 14,2 | 1,58 |
| 0,045 | 0,00 | 15,9 | 2,46 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 3,88 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 0,91 | 0,045 | 0,00 | 15,9 | 1,63 |
| 0,050 | 0,00 | 17,8 | 2,18 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 3,76 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 0,88 | 0,050 | 0,00 | 17,8 | 1,66 |
| 0,056 | 0,00 | 20,0 | 1,91 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 3,58 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 0,87 | 0,056 | 0,00 | 20,0 | 1,68 |
| 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,65 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 3,37 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 0,85 | 0,063 | 0,00 | 22,4 | 1,67 |
| 0,071 | 0,00 | 25,2 | 1,41 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 3,13 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 0,84 | 0,071 | 0,00 | 25,2 | 1,63 |
| 0,080 | 0,00 | 28,3 | 1,19 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 2,87 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 0,83 | 0,080 | 0,00 | 28,3 | 1,56 |
| 0,089 | 0,00 | 31,7 | 1,00 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 2,61 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 0,83 | 0,089 | 0,00 | 31,7 | 1,46 |
| 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,85 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 2,35 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 0,83 | 0,100 | 0,00 | 35,6 | 1,35 |
| 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,72 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 2,11 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 0,85 | 0,112 | 0,00 | 39,9 | 1,25 |
| 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,63 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 1,87 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 0,89 | 0,126 | 0,00 | 44,8 | 1,15 |
| 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,55 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 1,66 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 0,95 | 0,142 | 0,00 | 50,2 | 1,09 |
| 0,159 | 0,00 | 56,4 | 0,49 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 1,46 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 1,02 | 0,159 | 0,00 | 56,4 | 1,05 |
| 0,178 | 0,00 | 63,2 | 0,45 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 1,28 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 1,09 | 0,178 | 0,00 | 63,2 | 1,02 |
| 0,200 | 0,00 | 71,0 | 0,41 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 1,10 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 1,15 | 0,200 | 0,00 | 71,0 | 1,01 |
| 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,38 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,94 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 1,17 | 0,224 | 0,00 | 79,6 | 0,99 |
| 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,34 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,78 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 1,15 | 0,252 | 0,00 | 89,3 | 0,96 |
| 0,283 | 0,00 | 100 | 0,31 | 0,283 | 0,00 | 100 | 0,64 | 0,283 | 0,03 | 100 | 1,08 | 0,283 | 0,05 | 100 | 0,91 |
| 0,317 | 0,01 | 112 | 0,28 | 0,317 | 0,01 | 112 | 0,50 | 0,317 | 0,10 | 112 | 0,96 | 0,317 | 0,23 | 112 | 0,84 |
| 0,356 | 0,08 | 126 | 0,25 | 0,356 | 0,06 | 126 | 0,38 | 0,356 | 0,35 | 126 | 0,79 | 0,356 | 0,35 | 126 | 0,74 |
| 0,399 | 0,16 | 142 | 0,23 | 0,399 | 0,11 | 142 | 0,27 | 0,399 | 0,58 | 142 | 0,61 | 0,399 | 0,52 | 142 | 0,63 |
| 0,448 | 0,28 | 159 | 0,21 | 0,448 | 0,19 | 159 | 0,18 | 0,448 | 0,85 | 159 | 0,42 | 0,448 | 0,71 | 159 | 0,52 |
| 0,502 | 0,39 | 178 | 0,20 | 0,502 | 0,26 | 178 | 0,11 | 0,502 | 1,16 | 178 | 0,25 | 0,502 | 0,91 | 178 | 0,41 |
| 0,564 | 0,53 | 200 | 0,19 | 0,564 | 0,35 | 200 | 0,05 | 0,564 | 1,49 | 200 | 0,13 | 0,564 | 1,11 | 200 | 0,32 |
| 0,632 | 0,68 | 224 | 0,19 | 0,632 | 0,45 | 224 | 0,01 | 0,632 | 1,83 | 224 | 0,05 | 0,632 | 1,32 | 224 | 0,31 |
| 0,710 | 0,84 | 252 | 0,20 | 0,710 | 0,55 | 252 | 0,00 | 0,710 | 2,17 | 252 | 0,07 | 0,710 | 1,51 | 252 | 0,33 |
| 0,796 | 1,02 | 283 | 0,21 | 0,796 | 0,66 | 283 | 0,00 | 0,796 | 2,50 | 283 | 0,17 | 0,796 | 1,69 | 283 | 0,39 |
| 0,893 | 1,20 | 317 | 0,22 | 0,893 | 0,77 | 317 | 0,00 | 0,893 | 2,81 | 317 | 0,34 | 0,893 | 1,85 | 317 | 0,54 |
| 1,00 | 1,40 | 356 | 0,22 | 1,00 | 0,88 | 356 | 0,00 | 1,00 | 3,08 | 356 | 0,59 | 1,00 | 1,97 | 356 | 0,80 |
| 1,12 | 1,60 | 399 | 0,23 | 1,12 | 1,00 | 399 | 0,00 | 1,12 | 3,30 | 399 | 0,89 | 1,12 | 2,05 | 399 | 1,16 |
| 1,26 | 1,81 | 448 | 0,23 | 1,26 | 1,11 | 448 | 0,00 | 1,26 | 3,46 | 448 | 1,19 | 1,26 | 2,10 | 448 | 1,59 |
| 1,42 | 2,02 | 502 | 0,23 | 1,42 | 1,23 | 502 | 0,00 | 1,42 | 3,56 | 502 | 1,44 | 1,42 | 2,10 | 502 | 2,03 |
| 1,59 | 2,23 | 564 | 0,22 | 1,59 | 1,34 | 564 | 0,00 | 1,59 | 3,59 | 564 | 1,54 | 1,59 | 2,07 | 564 | 2,42 |
| 1,78 | 2,44 | 632 | 0,20 | 1,78 | 1,45 | 632 | 0,00 | 1,78 | 3,55 | 632 | 1,46 | 1,78 | 2,01 | 632 | 2,67 |
| 2,00 | 2,65 | 710 | 0,17 | 2,00 | 1,55 | 710 | 0,00 | 2,00 | 3,47 | 710 | 1,06 | 2,00 | 1,94 | 710 | 2,70 |
| 2,24 | 2,86 | 796 | 0,13 | 2,24 | 1,65 | 796 | 0,00 | 2,24 | 3,33 | 796 | 0,51 | 2,24 | 1,86 | 796 | 2,44 |
| 2,52 | 3,06 | 893 | 0,08 | 2,52 | 1,76 | 893 | 0,00 | 2,52 | 3,17 | 893 | 0,33 | 2,52 | 1,78 | 893 | 1,89 |
| 2,83 | 3,26 | 1.002 | 0,05 | 2,83 | 1,88 | 1.002 | 0,00 | 2,83 | 2,98 | 1.002 | 0,05 | 2,83 | 1,70 | 1.002 | 1,32 |
| 3,17 | 3,45 | 1.125 | 0,02 | 3,17 | 2,01 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 2,78 | 1.125 | 0,00 | 3,17 | 1,63 | 1.125 | 0,98 |
| 3,56 | 3,62 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 2,15 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 2,57 | 1.262 | 0,00 | 3,56 | 1,57 | 1.262 | 0,84 |
| 3,99 | 3,77 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 2,31 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 2,36 | 1.416 | 0,00 | 3,99 | 1,52 | 1.416 | 0,65 |
| 4,48 | 3,89 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 2,49 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 2,16 | 1.589 | 0,00 | 4,48 | 1,47 | 1.589 | 0,48 |
| 5,02 | 3,97 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 2,69 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 1,98 | 1.783 | 0,00 | 5,02 | 1,43 | 1.783 | 0,32 |
| 5,64 | 4,00 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 2,89 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 1,80 | 2.000 | 0,00 | 5,64 | 1,40 | 2.000 | 0,18 |
| 6,32 | 3,99 | sum | 100% | 6,32 | 3,11 | sum | 100% | 6,32 | 1,64 | sum | 100% | 6,32 | 1,39 | sum | 100% |

Tabel 7.2: Partikeldiametre hørende til 10 %, 50 % og 90 % fraktillerne for partikelstørrelsesfordelingerne i indløbsprøver, samt i sondeprøver udtaget 1 m, 10 m og 20 m fra indløbet under regn d. 11. januar 2007 og d. 2. december 2008. Tal med grå baggrund er behæftet med stor usikkerhed.

| | 11. januar 2007 | | | | | | 2. december 2008 | | | | | |
|-------------|-----------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | DPF-6-Lag | | | DPF-18-Lag | | | DPF-6-Lag | | | DPF-18-Lag | | |
| | d(0,1) | d(0,5) | d(0,9) | d(0,1) | d(0,5) | d(0,9) | d(0,1) | d(0,5) | d(0,9) | d(0,1) | d(0,5) | d(0,9) |
| Ind | 1,95 | 7,52 | 19,3 | 1,17 | 5,22 | 32,1 | 1,34 | 6,16 | 30,8 | 1,26 | 5,44 | 28,6 |
| 1 m | 1,01 | 3,07 | 10,8 | 0,83 | 2,39 | 7,09 | 1,70 | 9,48 | 38,2 | 1,73 | 10,2 | 43,0 |
| 10 m | 0,76 | 1,95 | 5,16 | 0,56 | 1,27 | 3,64 | 1,09 | 4,27 | 15,4 | 0,76 | 3,15 | 164 |
| 20 m | 0,63 | 1,42 | 4,02 | 0,52 | 1,21 | 6,19 | 1,02 | 4,17 | 65,1 | 0,88 | 13,7 | 682 |

Ved at sammenholde tabet af suspenderet stof fra indløb til udløb med partikelstørrelsesfordelingen i indløbsvandet kan det vurderes, hvor små partikelstørrelser DPF-anlægget tilbageholder. DPF-6-Lag reducerer d. 11. januar 2007 indholdet af suspenderet stof fra 357,1 mg/L i indløbsvandet til 4,7 mg/L ved 49 m (Tabel 7.3), svarende til en fjernelse på 98,7 %, og at 1,3 % af partiklerne udledes. Hvis det antages at de 1,3 % primært består af de mindste partikler ses dette af Tabel 7.1 at svare til partikeldiametre på op til 0,6 µm (sum af partikelklasserne fra 0,356 til 0,63, markeret med gråt i Tabel 7.1). De tilsvarende partikelstørrelser for de øvrige serier fremgår af Tabel 7.2. Det kan dermed konkluderes at DPF-anlægget i Ørestad er i stand til at tilbageholde partikler i lerfraktionen (< 2 nm) og i 3 ud af 4 serier også i kolloidfraktionen (< 1 µm). Da analysen for suspenderet stof er en baseret på masse og analysen for partikelstørrelse er baseret på volumen, er dette estimat betinget af at partiklerne har nogenlunde samme bulkdensitet i alle størrelsesklasser. Hvis de mindste partikler har markant lavere bulkdensitet end de største partikler skal der tælles flere størrelsesklasser med i beregningen af maks-diameter på udledte partikler. Der findes p.t. ikke data, der kan belyse, i hvilken grad bulkdensiteten varierer på tværs af størrelsesklasser. Dog indikerer analyserne af organisk stofindhold (afsnit 2) at det organiske stof er nogenlunde jævnt fordelt på partikelstørrelser, hvorfor estimatet vurderes at være rimeligt sikkert.

Tabel 7.3: Indhold af suspenderet stof (mg/L) i prøveserierne analyseret for partikelstørrelsesfordeling. Resultat for serierne udtaget 11. januar 2007 ved 1 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m og 49 m er vist som gennemsnit af suspenderet stofindhold i prøverne fra de to lagdybder, hvis respektive indhold er vist i parentes (se fodnote 1). Maksimal diameter (diam.) er et estimat for den største partikelstørrelse i μm , der har forladt filteret, baseret på %-fjernet suspenderet stof og Tabel 7.1.

| | 11. januar 2007 | | | | 2. december 2008 | |
|-------------|-----------------|-----------------|------------|------------------|------------------|------------|
| | DPF-6-Lag | | DPF-18-Lag | | DPF-6-Lag | DPF-18-Lag |
| | gns. | (2. lag 4. lag) | gns. | (6. lag 12. lag) | | |
| ind | 357,1 | | 298,0 | | 88,3 | 79,0 |
| 1m | 287,9 | (295,7 280,0) | 221,5 | (226,0 17,0) | 89,5 | 74,3 |
| 10m | 145,9 | (148,8 143,0) | 91,5 | (79,0 104,0) | 39,5 | 29,2 |
| 20m | 85,0 | (85,0 85,0) | 58,0 | (62,0 54,0) | 27,8 | 12,3 |
| 30m | 29,5 | (27,0 32,0) | 22,0 | (11,0 33,0) | 17,7 | 8,0 |
| 40m | 10,5 | (8,7 12,3) | 3,4 | (4,2 2,7) | 14,1 | - |
| 49m | 4,7 | (2,2 7,1) | 2,2 | (2,6 1,8) | 11,9 | - |
| ud | - | | - | | 12,9 | 2,3 |
| % fjernet | 98,7 | | 99,3 | | 85,4 | 97,0 |
| maks. diam. | 0,6 | | 0,5 | | 1,8 | 0,8 |

Konklusion

Partikelstørrelsesfordelinger af indløbsvand, samt vand udtaget fra udvalgte strømningslag i DPF-6-Lag og DPF-18-Lag i stigende afstand fra indløbet er analyseret ved to tilfælde, under kontinuert regn. Suspenderet stofindhold er analyseret på de samme prøver, og viste sig at variere betydeligt ved de to hændelser, idet indløbsvandet d. 11. januar 2007 havde et suspenderet stofindhold på over 300 mg/L, mens indholdet i indløbsvandet d. 2. december 2008 indeholdt under 100 mg/L. Til trods for denne forskel er partikelstørrelsesfordelingerne meget lig hinanden. Omkring 90 % af partiklerne har diameter under ca. 30 μm , og 50 % har diameter under 5 – 8 μm . Under passage af filteret forskydes partikelstørrelsesfordelingen mod mindre diametre, svarende til at de største partikler fjernes først. Dette ses mest tydeligt for hændelsen d. 11. januar 2007. Sammenholdes fjernelsen af suspenderet stof med partikelstørrelsesfordelingen, og antages det (konservativt) at fjernelsen starter med de største partikler, kan det under forudsætning af at partiklernes bulkdensitet er proportional med deres volumetriske størrelse konkluderes, at DPF-anlægget i Ørestad fjerner partikler ned til under 2 μm .

8. Korrelationer mellem turbiditet, elektrisk ledningsevne og suspenderet stof, og mellem suspenderet stof og Zn, Cu, Cr, Pb og P i vejvand

Baggrund

Kilderne til forurening af vejvand er som bekendt mange (Göbel et al., 2007) og koncentrationsniveauerne afhænger udover af karakteren af kilderne af en række dynamiske faktorer som trafikintensitet, kørselsmønster, vognparkens sammensætning, nedbørsmønster, vejens drift, aktiviteter på tilstødende arealer, osv. I den udstrækning forekomst og koncentration af forskellige forureningskomponenter er korreleret med hinanden eller med andre parametre, kan der opnås indirekte mål for flere forureningskomponenter ved et mindre måleprogram. Ved afprøvningen af Dobbeltporøs Filtrering i Ørestad er indløbsvandets turbiditet (uklarhed) og elektriske ledningsevne (EC) målt med henblik på at analysere for korrelation mellem disse to parametre og forureningskomponenter. Sådanne sammenhænge kan være nyttige i en driftssituation, hvor ikke al vand, men kun det mest belastede, skal underkastes en rensning. Hvis der er stærk korrelation mellem f.eks. indløbsvandets turbiditet og indhold af suspenderet stof, og igen at indholdet af suspenderet stof er tydeligt korreleret med Zn, Cu, Cr, Pb og P, kan sådanne korrelationer bruges til at styre efter. F.eks. kan indløbsvand med høj turbiditet sendes gennem rensenheden, mens indløbsvand med lav turbiditet ledes direkte til recipient.

Formål

Med udgangspunkt i Basisrapporten er formålet først at undersøge om suspenderet stofindhold i indløbsvandet er korreleret med vandets turbiditet og/eller elektriske ledningsevne, og dernæst i hvilken grad indløbsvandets indhold af suspenderet stof afspejler dets indhold af Zn, Cu, Cr, Pb og P.

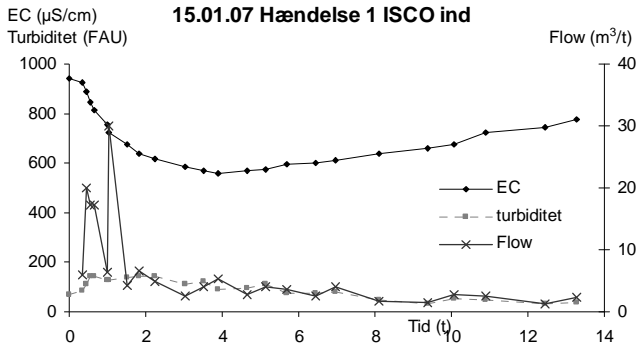
Metode

Som beskrevet i Basisrapporten er indløbsprøven hørende til hver af de 25 hændelser udtaget ved hjælp af en ISCO-fraktionsopsamler med 24 fraktionbeholdere, der er fyldt flowproportionalt med en delprøve pr. 2 eller 4 m³ vand. De op til 24 delprøver, som hver indløbsprøve herefter er sammensat af, er indledningsvist i felten analyseret for turbiditet ved at måle lysabsorptionen ved 860 nm i 3 mm kuvetter i et Xian 500 Hach Lange Spektrofotometer og for elektrisk ledningsevne med et feltinstrument (Waterproof ECTestr low+ fra EUtech Instruments). Måleenheden for turbiditet er "Formazin Absorbance Units" (FAU) og µS/cm for elektrisk ledningsevne. Den gennemsnitlige turbiditet og den gennemsnitlige elektriske ledningsevne for den bulkede indløbsprøve kan så sammenlignes med indholdet af suspenderet stof i de 25 undersøgte hændelser (Basisrapportens Tabel 1) og korrelationskoefficienter beregnes. Tilsvarende kan korrelationen mellem suspenderet stof og Zn, Cu, Cr, Pb og P analyseres for de 25 hændelser (Basisrapportens Tabel 1). Hændelse 18 er udeladt, fordi indholdet af suspenderet stof er skønnet i denne hændelse.

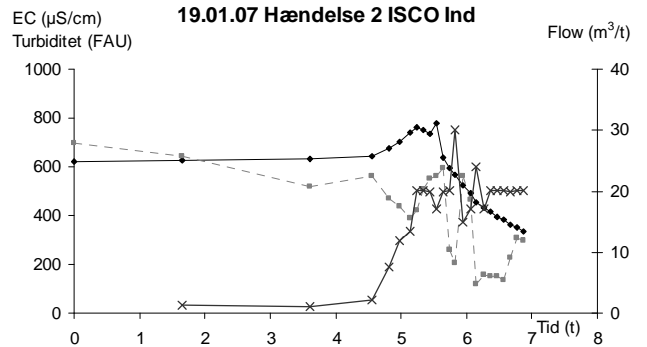
Resultater og diskussion

Elektrisk ledningsevne (EC) og turbiditet i delprøver i hver af de 25 indløbsprøver fremgår af Figur 8.1. Strømningshastighed (flow) hørende til hver enkelt delprøve er også vist (højre y-akse) for at give et indtryk af karakteren af den tilhørende regn.

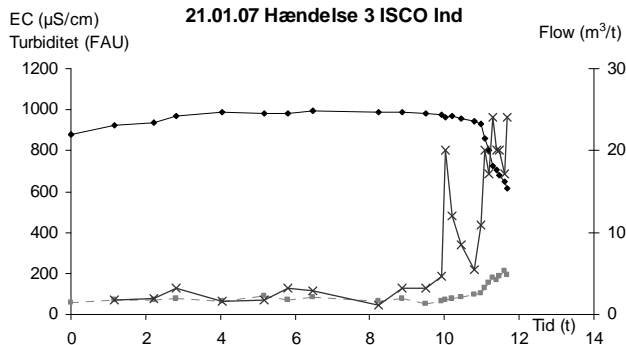
15.01.07 Hændelse 1 ISCO ind



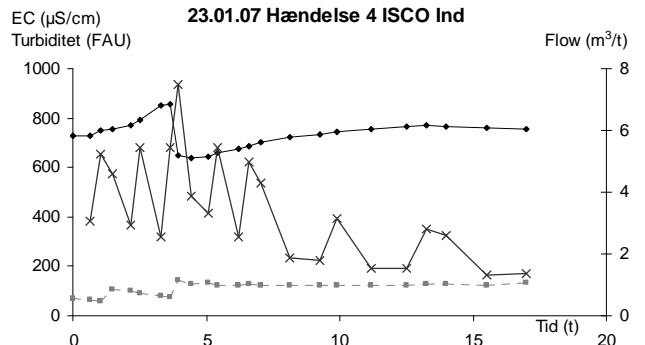
19.01.07 Hændelse 2 ISCO Ind



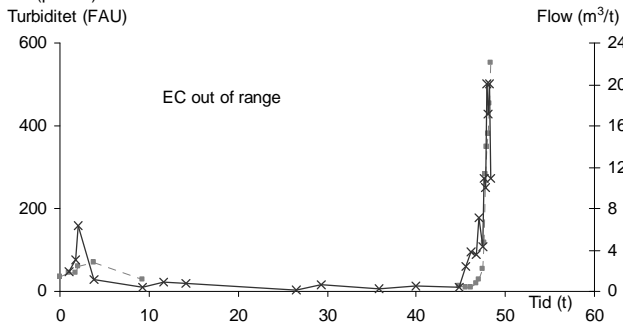
21.01.07 Hændelse 3 ISCO Ind



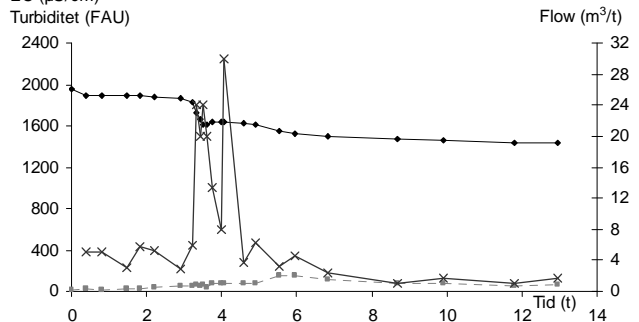
23.01.07 Hændelse 4 ISCO Ind

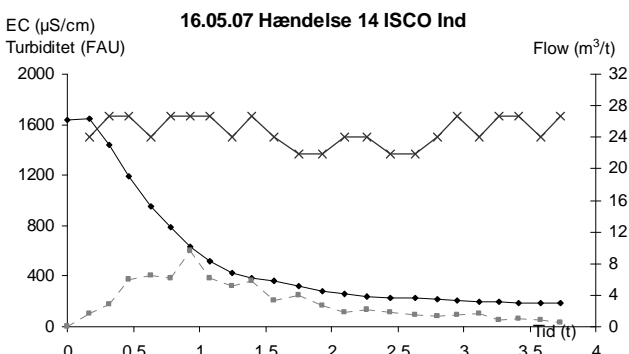
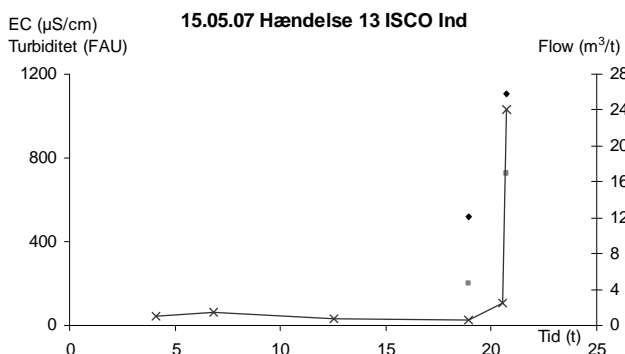
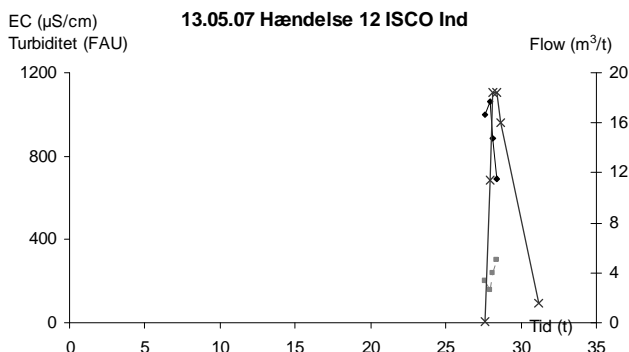
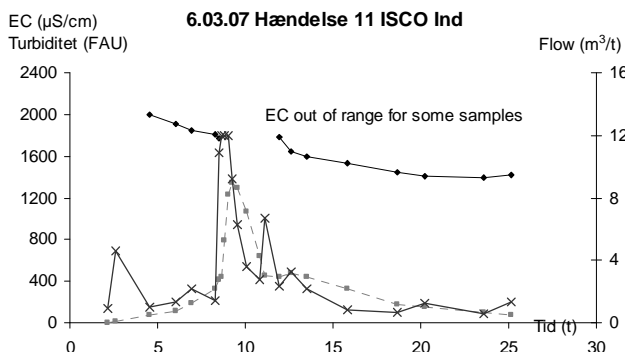
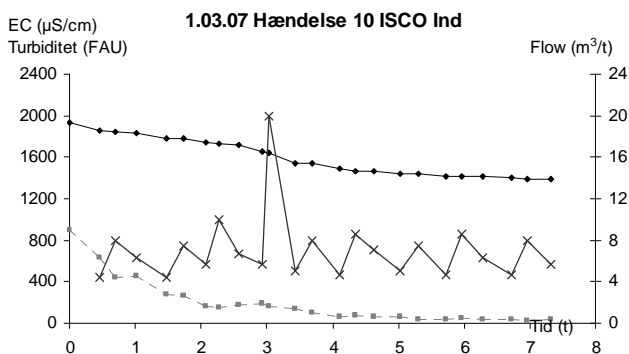
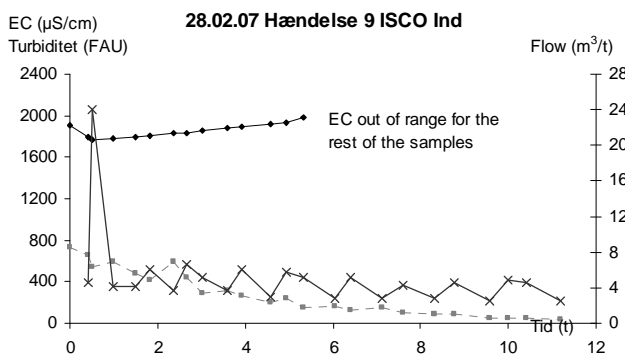
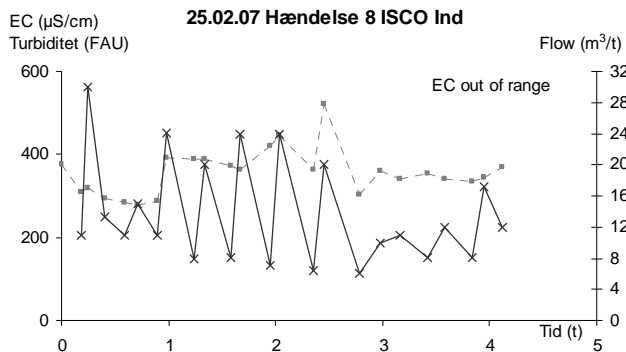
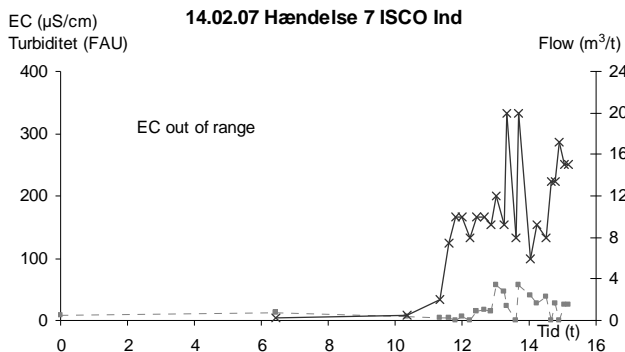


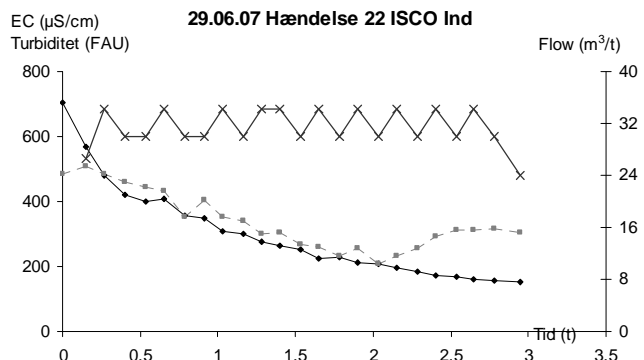
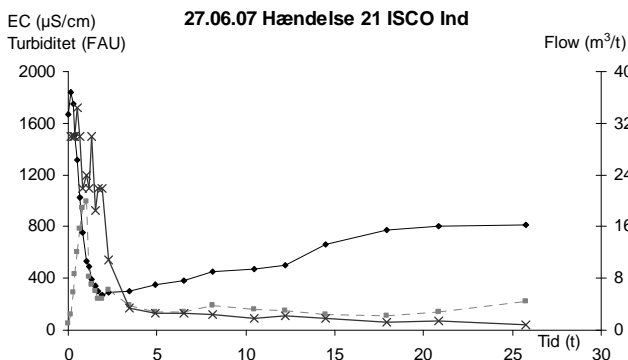
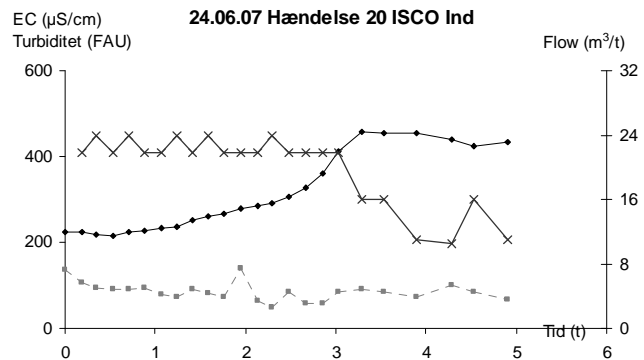
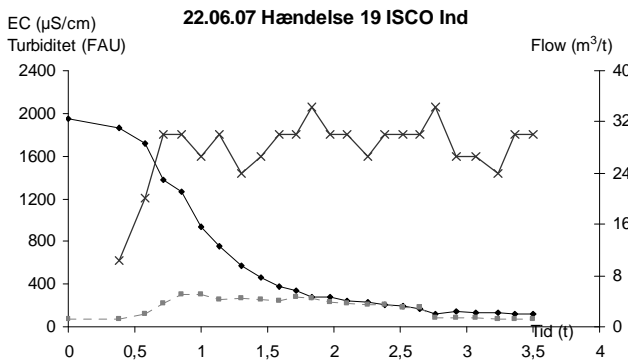
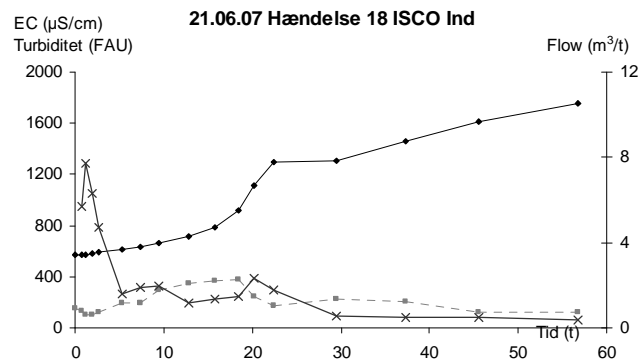
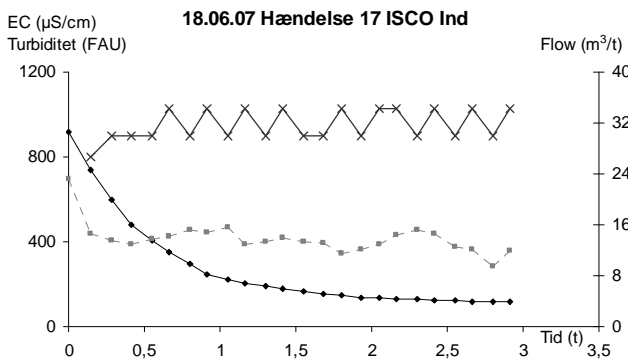
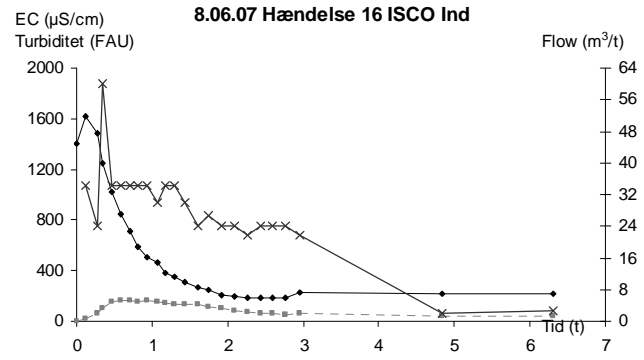
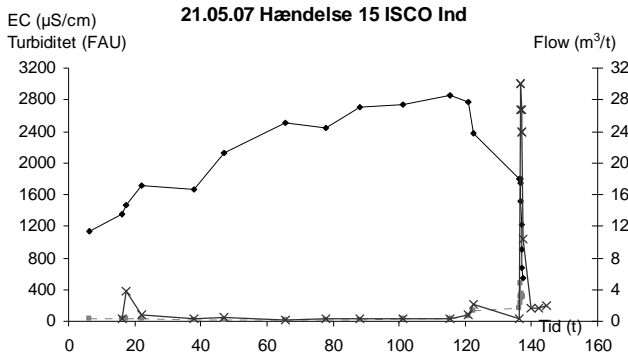
29.01.07 Hændelse 5 ISCO Ind

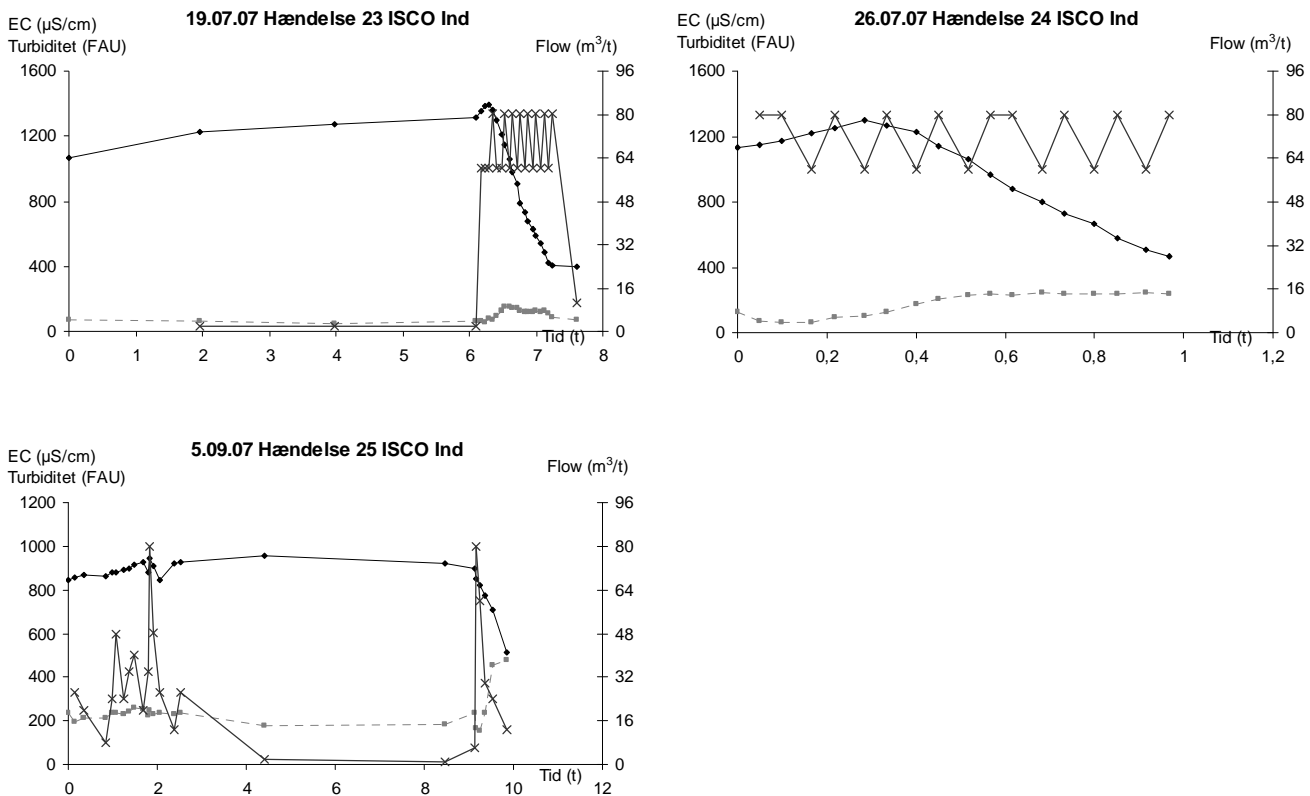


7.02.07 Hændelse 6 ISCO Ind









Figur 8.1: Elektrisk ledningsevne (EC), turbiditet og strømningshastighed (flow) i delprøver i hver indløbsprøve hørende til Basisrapportens 25 hændelser. Se hændelse 1 for signaturforklaring. Strømningshastigheden er beregnet ud fra hvor lang tid der er mellem to på hinanden følgende delprøver, og der kan derfor ikke beregnes en strømningshastighed for den første delprøve. I nogle prøver overskrider EC måleinstrumentets kapacitet, der går til 2000 $\mu\text{S/cm}$ – dette er anført som EC out of range.

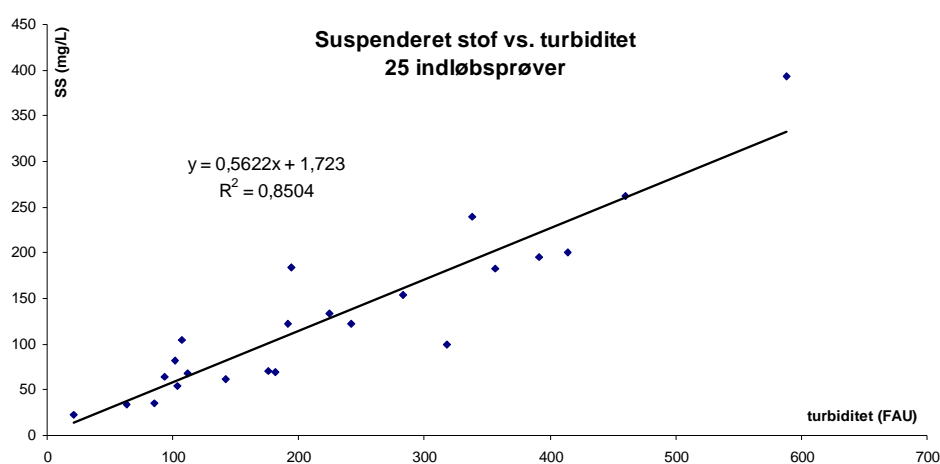
Pilotanlægget er dimensioneret til at behandle 18 m^3 i timen, (9 m^3 i henholdsvis DPF-6-Lag og DPF-18-Lag). Af Figur 8.1 fremgår at strømningshastigheden på indløbssiden i mange hændelser ligger omkring dette niveau, men også at flere hændelser ligger betydeligt over, og hændelse 23 og 24 i juli 2007 ligger ekstremt meget over. Variationen afspejler de forskelle i strømningshastighed som vandet pumpes ud fra pumpestationen med.

Pilotanlægget modtager som nævnt i Basisrapporten en del drænvand, idet drænvand fra området er koblet på vejvandssystemet. Drænvandet synes at have en forholdsvis høj elektrisk ledningsevne. Betragtes f.eks. hændelse 1, ses den elektriske ledningsevne at falde mens regnen er kraftig (starten af hændelsen), mens ledningsevnen begynder at stige når nedbøren tager af og drænvandet begynder at udgøre en større andel af vandet. Mønsteret er dog ikke entydigt, sandsynligvis på grund af vintersaltning og måske også på grund af variation i brugen af sprinklervæske. Konklusionen er at der ikke kan forventes sammenhænge mellem elektrisk ledningsevne og stofparametre.

Som det fremgår af Figur 8.2 ses suspenderet stof at korrelere tydeligt med turbiditetsmålingerne. Korrelationskoefficienten er 0,85. Det betyder, at der

med en simpel måling som turbiditet kan opnås et godt estimat for prøvens indhold af suspenderet stof.

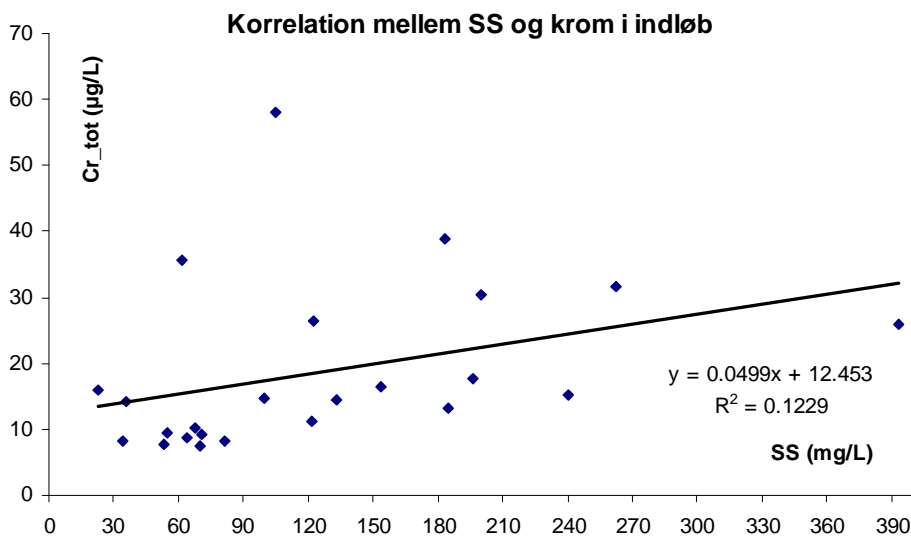
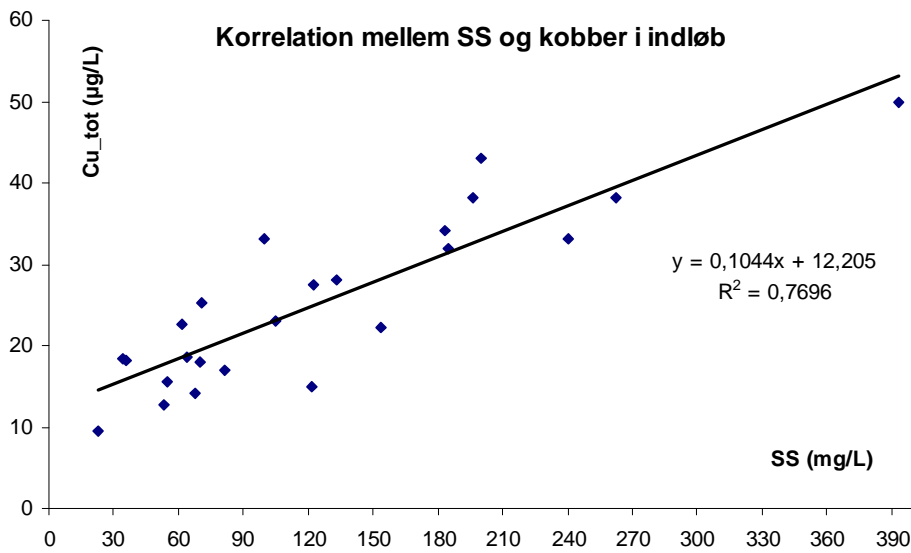
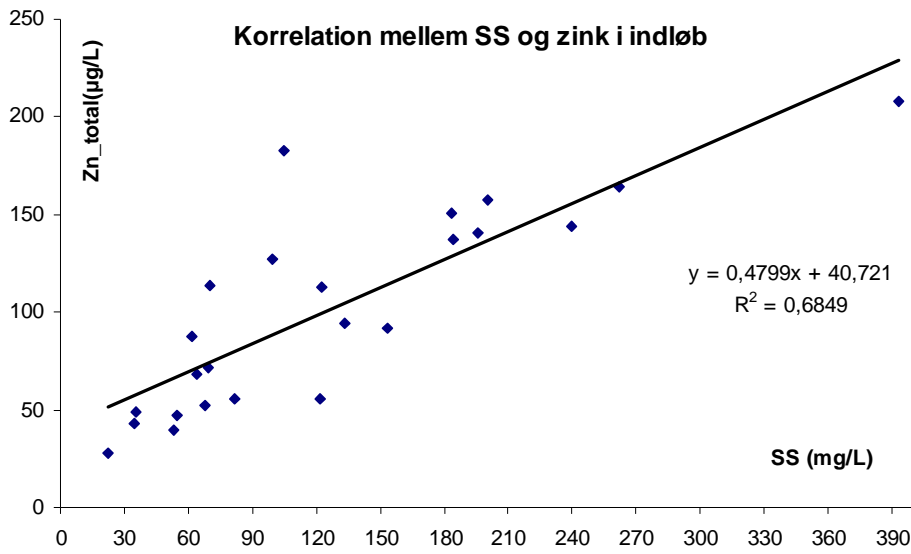
Graferne i Figur 8.3 viser at der også er en pæn korrelation mellem suspenderet stof og øvrige forureningskomponenter. Tabel 8.1, der er en sammenstilling af de opnåede korrelationskoefficienter, viser en stærk korrelation mellem suspenderet stof og Pb, en god korrelation mellem suspenderet stof og Cu, Zn og P og en svag korrelation for Cr ($R^2 = 0,12$). Korrelationer afspejler i nogen grad fordelingerne på opløst og partikulærform, hvor andelen af tungmetal knyttet til den partikulære fraktion er i stort set samme rækkefølge, nemlig Pb, Zn, Cu, P og Cr (Tabel 4.1).

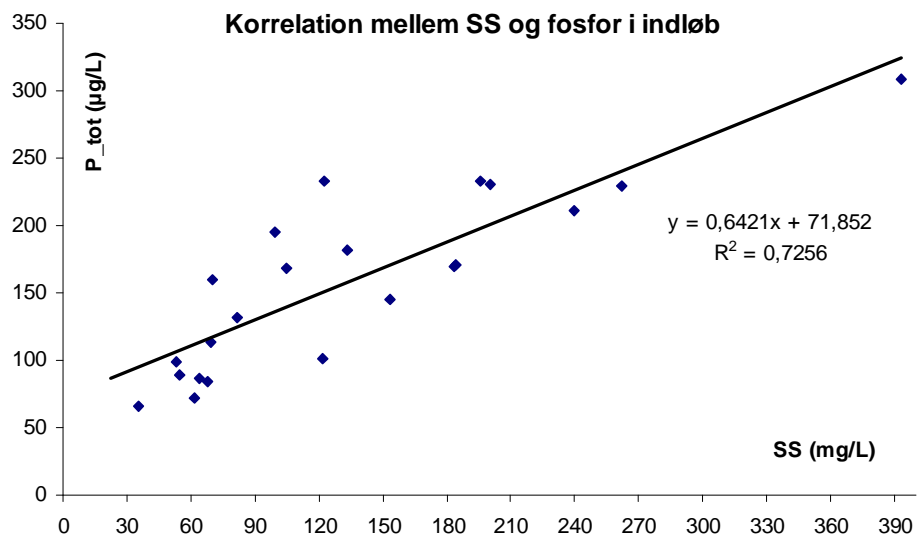
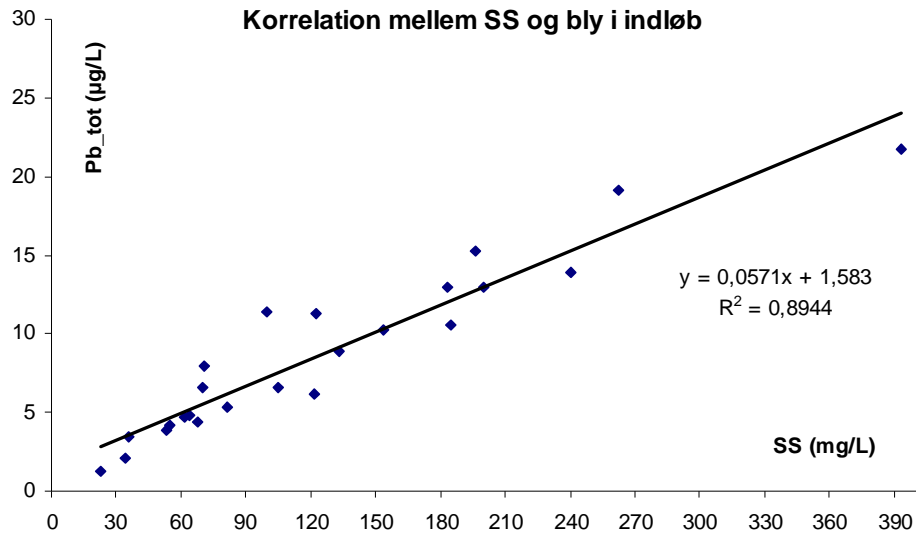


Figur 8.2 Korrelation mellem suspenderet stof og turbiditet. Baseret på indhold af suspenderet stof i bulk-indløbsprøven og gennemsnitlig turbiditet af delprøverne bag bulkprøven.

Tabel 8.1: Korrelationskoefficient (R^2) og regressionsligning mellem SS og øvrige stoffer.

| | R^2 | Ligning |
|--------|-------|-------------------------|
| Zink | 0,69 | $Zn = 0,48 * SS + 40,7$ |
| Kobber | 0,77 | $Cu = 0,10 * SS + 12,2$ |
| Krom | 0,12 | $Cr = 0,05 * SS + 12,4$ |
| Bly | 0,89 | $Pb = 0,06 * SS + 1,6$ |
| Fosfor | 0,73 | $P = 0,64 * SS + 71,9$ |





Figur 8.3: Korrelationer mellem SS og Zn, Cu, Cr, Pb og P.

Konklusion

Der er ikke fundet korrelation mellem elektrisk ledningsevne og suspenderet stof. Der er fundet god korrelation ($R^2 = 0,85$) mellem turbiditet og suspenderet stofindhold, og for suspenderet stof og Pb ($R^2 = 0,89$), Cu ($R^2 = 0,77$), P ($R^2 = 0,73$) og Zn ($R^2 = 0,69$), men ikke for Cr ($R^2 = 0,12$). Turbiditetsmålinger er derfor velegnet til estimere indholdet af bly, kobber, fosfor og zink, men ikke krom.

Litteratur

- Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W.G. (2007): Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of contaminant hydrology* 91: 26-42
- IDA Spildevandskomitéen, 2006: Miljø og regnvandssystemer- erfaringer og anbefalinger. Udvalget vedrørende reduktion af miljøbelastning fra afledning af separatloakeret regnvand; juni 2006, revideret august 2006.
- Jensen MB, Holm PE, Laursen J and Hansen HCB. 2007. Contaminants aspects of blackish surface deposits Wednesday highway road sides. *Water, Air and Soil Pollution: In press.*
- Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Mogensen, A.S. og Havelund, S. 2002. Grundstofferne i 2. geled – et miljøproblem nu eller fremover? Miljøprojekt nr. 700. Miljøstyrelsen. Miljøministeriet. København.
- Miljø- og Energiministeriet. 1996. Bekendtgørelse 921 af 8. oktober 1996 om kvalitetskrav for vådområder og krav til udledning af visse farlige stoffer til vandløb, søer eller havet.
- Miljøministeriet. 2006. Bekendtgørelse 1669 af 14. december 2006 om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet.
- Miljøministeriet. 2007. Bekendtgørelse 1449 af 11. december 2007 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Nsouli, B., Darwish, T., Zahraman, K. Bejjani, A. Roumie, M. & Thomas, J.P. (2006). Total boron assessment in soil samples from dry Mediterranean region using the thick target-particle induced gamma-ray emission technique. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B.* 249: 566–570