

Byer i Vandbalance notat 7

Rensning af regnafstrømning med dobbeltporøs filtrering

Indhold

Forord.....	3
Rensning af regnafstrømning med dobbeltporøs filtrering	4
Baggrund	4
Prøvetagning	4
Resultater og kommentarer	7
Suspenderet stof.....	13
Fosfor.....	13
Chlorid	14
Aluminium	15
Bly	16
Cadmium	17
Krom.....	18
Kobber	19
Nikkel.....	20
Zink	21
PAH-forbindelser og pesticider	22
Konklusion regnhændelser	22
Doseringsforsøg (egen tilsætning af forureningspuls)	25
Konklusion doseringsforsøg	27
Bilag 1: DPF-Mårslet, hydraulik	29
Indsamlede hændelser og nedbør i perioden	29
Nedbør og flow	30
Flowforløb gennem hver hændelse	31
Vandstand i udløb og fyldning af prøvetagere	31
Akkumulering af sediment.....	33
Figurer med nedbør, flow og niveauer for hver hændelse	34
Bilag 2: DPF-Krogebjerg, Nedbør og hydraulik	46
Indsamlede hændelser og flow gennem DPF-udløb.....	46
Nedbør og flow	47
Karakterisering af hændelse 1	48
Fyldning af ISCO-prøvetagere.....	49
Akkumulering af sediment.....	49

Forord

Dette notat er udarbejdet i regi af innovationskonsortiet Byer i Vandbalances aktiviteter fra 2011 til 2014 og omhandler rensning af regnafstrømning med dobbeltporøst filtrering etableret dels i Krogebjergparken (DPF-Krogebjerg) i Vanløse i København, hvor vejvand fra boligveje renses før udledning til Harrestrup Å, dels ved Maarslet (DPF-Maarslet) i Århus Kommune hvor blandet tag- og vejvand fra boligområde renses før nedsivning.

I forbindelse med innovationskonsortiet Byer i Vandbalance er der udgivet følgende notater:

Notat 1: Transport af vand på veje

Notat 2: Dobbeltporøst filter i København og Århus – anlæg og instrumentering

Notat 3: Anlæg af vejbede – erfaringer fra vejbede i Brøndby og København

Notat 4: Geologisk variation og LAR

Notat 5: Vurdering af regnafstrømningens kvalitet før og efter rensning

Notat 6: Renseeffektivitet af filterjord – danske erfaringer

Notat 7: Rensning af regnafstrømning med dobbeltporøst filtrering

Notat 8: Beplantning og drift af vejbede

Notat 9: Stormwater infiltration in Beder

Notat 10: Erfaringsopsamling på LAR-projekter udviklet under Byer i Vandbalance 2011-2014

Byer i Vandbalances ledelsesgruppe består af:

Ulrik Hindsberger, Teknologisk Institut

Ida Marie Knudsen, Teknologisk Institut

Marina Bergen Jensen, KU-Science

Peter Engelund Holm, KU-Science

Deltagende parter i Byer i Vandbalance:

HOFOR

Aarhus Vand

Vandcenter Syd

Spildevandscenter Avedøre

Københavns Kommune

Århus Kommune

Odense Kommune

Per Aarsleff A/S

Wavin

Orbicon

Københavns Universitet (KU)

Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser (GEUS)

Teknologisk Institut (TI)

DHI

Notatet er udarbejdet af Karin Cederkvist, Marina Bergen Jensen, Per Bjerager og Peter E. Holm Københavns Universitet.

Maj 2015

Rensning af regnafstrømning med dobbeltporøs filtrering

Notatet er udarbejdet af Karin Cederkvist, Marina Bergen Jensen, Per Bjerager og Peter E. Holm

Baggrund

Ved lokal håndtering af regnafstrømning kræver miljømyndighederne i nogle tilfælde at der indskydes en rensning inden vandet kan udledes eller nedsies. I Byer i Vandbalance er der etableret dobbeltporøst filter (DPF) to steder, dels i Krogebjergparken (DPF-Krogebjerg) i Vanløse i Københavns Kommune, hvor vejvand fra boligveje renses før udledning til Harrestrup Å, dels ved Maarslet (DPF-Maarslet) i Århus Kommune, hvor blandet tag- og vej- og drænvand fra boligområde renses før nedsivning. Opbygning af de to DPF anlæg er beskrevet i BiV-notat 2, mens monitoringsprogram og prøvetagningsmetode er beskrevet i BiV-notat 5. I nærværende notat bringes analyseresultater for vandkvalitet før og efter rensning i DPF-Krogebjerg og DPF-Maarslet, samt de tilhørende nedbørsforhold og vandmængder. Endvidere bringes resultat af test af DPF-Krogebjerg ved tilsætning af syntetisk vejvand (doseringsstest).

Prøvetagning

Et DPF-anlæg består af et forfilter og et hovedfilter (BiV-notat 2). Ved begge DPF-anlæg blev der taget prøver af vand ved indløb til forfilter og udløb fra hovedfilter. Ved anlægget i Krogebjerg blev der desuden taget prøver af vejvandet under afstrømning (før evt. forsinkelse i græs bassin) og også efter passage af DPF-forfilter. Se oversigt i Tabel 1 og tilhørende betegnelser for prøvetagningssted.

Tabel 1: Oversigt over prøvetagningsudstyr, prøvetagningssteder og betegnelser for det prøvetagede vand. Se BiV-notat 2 for yderligere beskrivelse af DPF-opbygning og instrumentering.

DPF-Krogebjerg		DPF-Maarslet	
Udstyr og sted	Betegnelse	Udstyr og sted	Betegnelse
ISCO-sampler i indløbsbrønd	Vejvand		
Passiv sampler i indløbskammer til forfilter	Indløb	Passiv-sampler i oppumpningsbrønd	Indløb
Passiv sampler i udløbskammer efter forfilter	Forfilter		
ISCO-sampler i udløbsbrønd	Udløb	Passiv-sampler i udløbsbrønd	Udløb

Ved DPF-Krogebjerg blev der indsamlet og analyseret 10 hændelser, og prøvetagningsperioden strakte sig fra maj til december. Ved DPF-Maarslet blev der indsamlet og analyseret 11 hændelser, i prøvetagningsperioden fra august til november, se Tabel 2. Forårs- og vinterperioden er således ikke omfattet nogen af stederne.

Begge steder blev fire af hændelserne analyseret efter et udvidet program og de resterende efter et basis-program. Valg af monitoringsparametre i de to programmer er begrundet i BiV-notat 5. Det udvidede program for Maarslet var mere omfattende end det udvidede program for Krogebjerg, mens basisprogrammerne mindede meget om hinanden.

I DPF-Krogebjerg stod KU for indsamling af prøver, mens prøver fra Maarslet blev indsamlet af Århus Vand.

Af tabel 2 fremgår hydrauliske hovedtal, mens detaljerede oplysninger fremgår af bilag 1 (Maarslet) og bilag 2 (Krogebjerg). Prøvetagningsperioden og nedbørens dybde er for DPF-Krogebjerg beregnet fra start af nedbør til tidspunkt for fyldning af sidste prøve i ISCO-sampler. For DPF-Mårslet er de tilsvarende beregninger baseret på periode fra start nedbør til tidspunkt for tømning af prøvetagerne. Da prøvetagningsperioderne kan dække flere nedbørshændelser, er der i Tabel 2 kun anført samlet regndybde og maksimal intensitet.

Det skal bemærkes, at der i Mårslet er en del drænvand i hændelserne fra og med hændelse 5, og at hændelse 11 udelukkende består af drænvand. Af analyserne af Indløb (figur 2 til 11 i resultatafsnittet) fremgår at hændelse 11 ligger i den lave ende af de i øvrigt observerede indløbshændelser, og at drænvandet derfor generelt synes at fortynde tag- og vejvand. Undtagelsen er dog Zn, der optræder i højeste koncentrationer i hændelse 11. Det kan måske tyde på at drænvandet i høj grad består af vand fra omfangsdræn, og dermed primært er tagvand.

Tabel 2: Dato for prøvetagning (alle i 2014), benyttet analyseprogram (se BiV-notat 5), akkumuleret flow gennem DPF-anlæg hørende til den analyserede prøve, varighed af prøvetagning, samlet dybde og maksimal intensitet af den eller de tilhørende nedbørshændelser, samt længde af forudgående tørvej r (defineret som under 1 mm nedbør). Maksimum intensitet i nedbør er beregnet ud fra 10 minutters intensitet.

	Dato	Analyseprogram	Flow gennem DPF-anlæg (m ³)	Varighed af prøve-tagning (timer)	Nedbørens		Tørvej r inden (døgn)
					Dybde (mm)	Maks. intensitet (mm/min)	
Krogebjerg	09.05	Basis	10,4	55,9	16,4	0,183	12,7
	12.05	Udvidet	8,5	67,5	12,8	0,106	0
	13.08	Basis	9,9	75,4	19,8	0,380	4,1
	31.08	Basis	8,0	34,5	10,9	0,182	6,6
	02.10	Basis	4,9	27,5	9,0	0,029	5,6
	08.10	Basis	4,3	14,4	8,6	0,100	6,1
	14.10	Udvidet	4,3	10,2	16,1	0,048	1,2
	24.11	Udvidet	1,8	6,0	6,2	0,085	1,3
	07.12	Basis	0,9	7,3	3,6	0,045	11,1
	13.12	Udvidet	2,4	8,7	12,6	0,075	1,8
	Dato	Analyseprogram	Flow gennem DPF-anlæg (m ³)	Varighed af prøve-tagning (timer)	Nedbørens		Tørvej r inden (døgn)
					Dybde (mm)	Maks. intensitet (mm/min)	
Maarslet	05.08	Basis	15,6	19,5	10,2	0,270	19,9
	01.10	Basis	38,5	113,0	6,8	0,048	7,2
	10.10	Udvidet	69,3	69,3	20,4	0,066	6,0
	14.10	Udvidet	23,5	23,5	3,4	0,028	1,4
	20.10	Basis	112,9	112,9	15,6	0,107	0,3
	22.10	Udvidet	16,9	16,9	6,8	0,040	1,5
	28.10	Basis	169,8	142,5	13,0	0,165	0,9
	03.11	Basis	72,1	122,8	2,6	0,061	3,9
	10.11	Basis	73,3	121,1	4,8	0,035	1,1
	12.11	Basis	21,3	46,7	0,8	0,033	0
	13.11	Udvidet	24,7*	22,7*	Ingen nedbør (drænvand)		Ca. tre døgn

* Ingen nedbør i Mårslet hændelse 13.11. Som start på hændelsen er valgt tidspunkt for første drænvand i Ind-prøvetager.

Resultater og kommentarer

Det samlede analyseprogram fremgår af BiV-notat 5, appendiks, med navne på de 88 analyserede stoffer i DPF-Mårslet og de 28 analyserede stoffer i DPF-Krogebjerg.

Hovedresultatet af de to test er vist i Tabel 3. Her ses en samlet opstilling af målte parametre (pH og ledningsevne) og alle stoffer, der er fundet over detektionsgrænsen i mindst en hændelse, for hvert sted. For stoffer analyseret efter basisprogrammet er resultaterne i Tabel 3 angivet som gennemsnit og standardafvigelse baseret på de 10 og 11 hændelser for hhv. DPF-Krogebjerg og DPF-Maarslet. For stoffer analyseret efter det udvidede program, er gennemsnit og standardafvigelse baseret på 4 hændelser. I beregning af gennemsnit er koncentrationer under detektionsgrænsen sat til 0. Hvis stoffet kun er detekteret en enkelt gang er standardafvigelsen sat til 0.

Ud af de 88 stoffer der var inkluderet i det udvidede program for Maarslet, blev 50 ikke fundet over detektionsgrænsen. Det drejede sig om VOC, benzen, ethylbenzen, o-xylen, m+p-xylen, benzen-C10, naphthalen, acenaphthen, fluoren, PCB# 28, PCB#52, PCB 101, PCB#118, PCB#138, PCB#153, PCB#180, di-n-butylphthalat, benzylbutylphthalat, di-(2-ethylhexyl)adipat, di-n-octylphthalat, diethylphthalat, pentachlorphenol, 2,4+2,5-dichlorphenol, 2,4-D, atrazin, clopyralid, cypermethrin, dicamba, dichlobenil, dichlorprop, dinoseb, diuron, fipronil, fluoroxypyr, maleinhydrazid, MCPA, propiconazol, simazin, trichlormethan, 1,1,1-trichlorethan, tetrachlormethan, trichlorethen, tetrachlorethen, chlorethan, 1,1-dichlorethen, trans-1,2-dichlorethen, cis-1,2-dichlorethen, 1,1-dichlorethan, vinylchlorid.

Alle de 28 stoffer, der blev analyseret for i Krogebjerg, blev fundet over detektionsgrænsen.

At nogle stoffer ikke er målt er ikke en sikkerhed for at de ikke kan findes i regnafstrømning. F.eks. anvendes pesticider hovedsageligt i vækstsæsonen og midler mod ukrudt herunder glyphosat med størst hyppighed i foråret, hvor der kun blev taget få eller ingen prøver.

Tabel 3: Samlet oversigt over kvalitet af regnafstrømning før og efter rensning i DPF i Krogebjerg og Maarslet. Tabellen viser gennemsnit og standardafvigelser (i parentes) for basisparametre. (baseret på 10 hændelser i Krogebjerg og 11 hændelser i Maarslet) og for udvidede parametre (baseret på fire hændelser hvert sted). Ved niveauer under detektionsgrænsen er værdien sat til 0 ved beregning af gennemsnit. Hvis standardafvigelsen er lig 0 skyldes det at stoffet kun blev fundet i en enkelt hændelse.

Prøvetagningssted	Krogebjerg				Maarslet	
	Vejvand	Indløb	Forfilter	Udløb	Indløb	Udløb
pH	7,40 (0,23)	7,34 (0,19)	7,28 (0,17)	8,0 (0,24)	7,93 (0,35)	7,96 (0,31)
Suspenderede stoffer (mg/l)	28,5 (22,8)	24,0 (14,2)	17,1 (7,42)	6,9 (8,09)	41,2 (39,8)	2,9 (1,97)
Konduktivitet (mS/m)	10,6 (3,37)	10,1 (4,05)	9,09 (5,49)	19,3 (5,6)	36,9 (19,5)	41,0 (21,0)
Uorganiske:						
NH ₃ +NH ₄ -N, filtreret (mg/L)	0,26 (0,24)	0,24 (0,18)	0,14 (0,09)	0,10 (0,10)	0,40 (0,61)	0,12 (0,17)
Nitrat-N, filtreret (mg/L)	0,65 (0,44)	0,52 (0,21)	0,54 (0,00)	0,98 (0,55)	1,18 (1,15)	1,50 (0,62)
Total-N (mg/L)	1,57 (0,66)	1,19 (0,51)	0,98 (0,01)	1,35 (0,52)	1,95 (1,61)	1,90 (0,88)
Total-P (mg/L)	0,13 (0,06)	0,12 (0,04)	0,08 (0,05)	0,04 (0,02)	0,16 (0,13)	0,04 (0,02)
Total-P, filtreret (mg/L)	0,03 (0,02)	0,04 (0,03)	0,03 (0,02)	0,01 (0,004)	0,04 (0,05)	0,03 (0,02)
Chlorid, filtreret (mg/L)	7,29 (8,66)	6,41 (8,10)	8,03 (11,9)	7,97 (10,5)	20,0 (10,1)	22,5 (12,7)
Metaller:						
Aluminium (Al) (ug/L)	851 (642)	844 (656)	607 (464)	269,3 (379)	625 (690)	51,0 (22,5)
Aluminium (Al), filt (ug/L)	125 (177)	187 (160)	133 (97)	78,0 (3,7)	32,0 (0)	0
Bly (Pb) (µg/L)	2,62 (1,82)	3,42 (2,46)	1,99 (0,97)	1,33 (1,03)	8,29 (6,41)	1,48 (0,83)
Bly (Pb), filtreret (µg/L)	0,5 (0)	1,60 (1,56)	0	1,3 (0)	0,97 (0,64)	0,80 (0,28)
Cadmium (Cd) (µg/L)	0,06 (0,01)	0,07 (0,02)	0,07 (0,01)	0,06 (0)	0,08 (0,03)	0,07 (0,01)
Cadmium (Cd), filt (µg/L)	0	0	0	0	0,16 (0,14)	0
Chrom (Cr) (µg/L)	2,23 (1,47)	2,58 (1,64)	1,79 (0,65)	1,13 (0,68)	1,77 (1,34)	0,80 (0)
Chrom (Cr), filtreret (µg/L)	0,88 (0,37)	1,00 (0,43)	1,03 (0,84)	0,66 (0,21)	0,97 (0,72)	1,7 (0)

Kobber (Cu) (µg/L)	11,8 (5,18)	18,2 (12,0)	10,4 (4,15)	6,71 (3,78)	6,61 (6,65)	3,65 (2,34)
Kobber (Cu), filtreret (µg/L)	6,05 (3,47)	8,64 (4,46)	5,39 (3,47)	4,19 (2,42)	3,07 (1,20)	3,63 (2,80)
Natrium (Na) (mg/L)	5,09 (6,86)	4,51 (5,90)	5,50 (7,80)	4,42 (2,57)	16,8 (8,53)	18,9 (10,7)
Nikkel (Ni) (µg/L)	7,15 (14,5)	5,26 (2,69)	2,23 (0,81)	3,36 (4,35)	2,54 (1,33)	1,43 (0,37)
Nikkel (Ni), filtreret (µg/L)	1,42 (0,35)	3,30 (1,56)	2,13 (0,67)	1,75 (0,17)	1,72 (0,69)	1,58 (0,67)
Zink (Zn) (µg/L)	29,9 (11,8)	37,0 (18,3)	35 (23,9)	15,4 (9,37)	541 (330)	224 (120)
Zink (Zn), filtreret (µg/L)	12,5 (10,0)	13,1 (4,31)	11,2 (2,95)	7,83 (3,08)	342 (353)	195 (137,86)
Organiske samleparametre:						
NVOC, ikke flygtigt org. C	13,9 (17,5)	6,9 (2,28)	5,60 (1,27)	4,93 (1,87)	4,55 (1,54)	4,77 (0,76)
TOC, totalt organisk kulstof	12,5 (14,5)	6,88 (2,28)	5,60 (1,27)	4,93 (1,87)	4,55 (1,54)	4,20 (1,29)
Detergenter:						
Detergenter (anioniske) (µg/L)					11,0 (15,5)	25,5 (4,95)
PAH-forbindelser:						
Phenanthren (µg/L)	0,03 (0,01)	0,03 (0,02)	0,03 (0,02)	0,01 (0,02)	0,04 (0)	0
Fluoranthren (µg/L)	0,05 (0,03)	0,06 (0,05)	0,05 (0,03)	0,02 (0,02)	0,05 (0,05)	0
Pyren (µg/L)	0,04 (0,03)	0,06 (0,05)	0,05 (0,03)	0,03 (0,03)	0,05 (0,05)	0
Benzo(b+j+k)fluoranthren (µg/L)	0,08 (0,06)	0,08 (0,08)	0,07 (0,05)	0,04 (0,04)	0,06 (0,07)	0
Benzo(a)pyren (µg/L)	0,04 (0,01)	0,05 (0,01)	0,03 (0)	0,02 (0,01)	0,04 (0)	0
Indeno(1,2,3-cd)pyren (µg/L)	0,04 (0,02)	0,06 (0,03)	0,02 (0,01)	0,03 (0,003)	0,04 (0)	0
Benzo(g,h,i)perylene (µg/L)	0,05 (0,03)	0,05 (0,04)	0,03 (0,02)	0,02 (0,02)	0,05 (0)	0
Blødgørere:						
Diethylhexylphthalat (DEHP) (µg/L)					0,41 (0,19)	0,30 (0,04)
Diisononylphthalat ((µg/L))					2,35 (0,21)	1,91 (1,54)
Phenoler:						
Bisphenol A (µg/L)					0,02	0,03 (0,02)

Pesticider:						
AMPA (µg/L)					0,07 (0,02)	0,19 (0,12)
Diflufenican (µg/L)					0,02 (0)	0,02 (0)
DNOC (µg/L)					0,51 (0,60)	0,26 (0,24)
Glyphosat (µg/L)					0,11 (0,10)	0,21 (0,11)
Mechlorprop (µg/L)					0,03 (0,01)	0,07 (0,00)

*udløbsværdien på 560 µg/L fra 09.05.2014 er udeladt af beregningerne, da denne måling antages at være en fejlmåling.

Som det ses af Tabel 3 er standardafvigelseerne for mange af stofferne betydelige i forhold til gennemsnit. For at beskrive denne variation bedre er de stoffer, der er observeret i flest hændelser, afbilledet grafisk i figur 2-11 nedenfor, suppleret med en beskrivelse af stofferne og en vurdering af koncentrationerne angivet.

For flere af stofferne ved DPF-Krogebjerg ses en højere koncentration i indløb til forfilteret end i selv vejvandet. Dette skyldes at vejvandet efter opsamling i ISCO-sampler ("Vejvand") og inden indløb til DPF ("Indløb") kan have stået i systemet i kortere/eller længere tid, afhængigt af regnhændelsens størrelse. Fra indløbsbrønden kan der være forekommet afsmitning fra messing-fittings ligesom der kan være forekommet sedimentation af partikler eller resuspension af sediment i brønden. For DPF-Maarslet kan det samme have været tilfældet i pumpestationen, men her er der kun udtaget indløbsprøver til DPF-Mårslet efter pumpen, så evt. ændringer kan ikke spores. Når renseseffekten af DPF-Krogebjerg skal vurderes, er det uanset hvad "Indløb", – og ikke "Vejvand", udløbsprøven skal sammenlignes med.

I mangel af specifikke krav er risikoen ved udledning til Harrestrup Å (DPF-Krogebjerg) eller nedsivning (DPF-Maarslet) vurderet ved sammenligning med kriterier for kortvarig udledning til ferskvand og kriterier for grundvandskvalitet og drikkevand (se Tabel 2 i BiV-notat 5). I DPF-Krogebjerg udledes vandet til Harrestrup Å og det vil i dette tilfælde derfor give mest mening at skele til kortidskrav til udledning til ferskvand. I Maarslet tænkes vandet derimod nedsivet efter rensning i DPF, og det er derfor her kriterier for grundvand og drikkevand, der bør skeles til. Da disse pilotprojekter har til formål at demonstrere rensesevnen for DPF generelt, og om der er en risiko ved at udlede eller nedsive det rensede vejvand, er alle kriterier dog vigtige at tage højde for. Det skal understreges, at der ikke findes specifikke krav til regnvand, der udledes eller nedsives, og at alle de tre nævnte kriterier er udarbejdet med henblik på andre formål. Kravene kan dog ses som retningsgivende.

For at vurdere den generelle kvalitet af regnafstrømning inden rensning er der i nedenstående Tabel 4 lavet et udpluk af indløbskoncentrationer til de to DPF anlæg (samme data som i Tabel 3). For N, P og metaller er anført både totalconcentration og opløst concentration (filtreret).

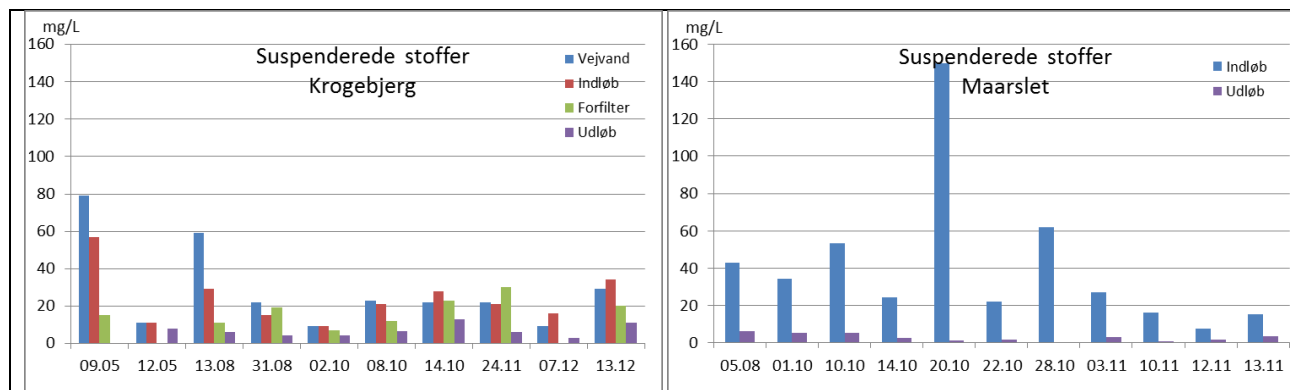
Tabel 4: Sammenligning af regnafstrømningens kvalitet ved Krogebjerg og Maarslet (udpluk af Tabel 3). Gennemsnittet er efterfulgt af standardafvigelse i parentes.

Prøvetagningssted	Krogebjerg (Vejvand fra boligveje)	Maarslet (blandet tag- og vejvand)
pH	7,4 (0,2)	7,9 (0,4)
Suspenderede stoffer (mg/l)	28,5 (23)	41,2 (40)
Konduktivitet (mS/m)	10,6 (3,4)	36,9 (19,5)
Uorganiske:		
NH ₃ +NH ₄ -N, filtreret (mg/L)	0,26 (0,24)	0,40 (0,61)
Nitrat-N, filtreret (mg/L)	0,65 (0,44)	1,18 (1,15)
Total-N (mg/L)	1,57 (0,66)	1,95 (1,61)
Total-P (mg/L)	0,13 (0,06)	0,16 (0,13)
Total-P, filtreret (mg/L)	0,03 (0, 02)	0,04 (0,05)
Chlorid, filtreret (mg/L)	7,29 (8,66)	20,0 (10,1)
Metaller:		
Aluminium(Al)(ug/L)	851 (642)	625(690)
Aluminium(Al),filt (ug/L)	125 (177)	32 (0)
Bly (Pb)(µg/L)	2,62 (1,82)	8,29 (6,41)
Bly (Pb), filtreret (µg/L)	0,5 (0)	0,97(0,64)
Cadmium (Cd) (µg/L)	0,06 (0,01)	0,08 (0,03)
Cadmium (Cd), filt (µg/L)	0	0,16 (0,14)
Chrom (Cr) (µg/L)	2,23 (1,47)	1,77 (1,34)
Chrom (Cr), filtreret (µg/L)	0,88 (0,37)	0,97 (0,72)
Kobber (Cu) (µg/L)	11,8 (5,18)	6,61(6,65)
Kobber (Cu), filtreret (µg/L)	6,05 (3,47)	3,07 (1,20)
Natrium (Na) (mg/L)	5,09 (6,86)	16,8 (8,53)
Nikkel (Ni) (µg/L)	7,15 (14,45)	2,54 (1,33)
Nikkel (Ni), filtreret (µg/L)	1,42 (0,35)	1,72(0,69)
Zink (Zn) (µg/L)	29,9 (11,76)	541(330)
Zink (Zn), filtreret (µg/L)	12,5 (10,0)	342 (353)
Organiske samleparametre:		
NVOC, ikke flygtigt org. C	13,9 (17,5)	4,55(1,54)
TOC, totalt organisk kulstof	12,5 (14,4)	4,55 (1,54)
Detergenter:		
Detergenter (anioniske) (µg/L)		11,0 (15,5)
PAH-forbindelser:		
Phenanthren (µg/L)	0,03 (0,01)	0,04(0)
Fluoranthren (µg/L)	0,05 (0,03)	0,05(0,05)
Pyren (µg/L)	0,04 (0,03)	0,05 (0,05)

Benzo(b+j+k)fluoranthen (µg/L)	0,08 (0,06)	0,06 (0,07)
Benzo(a)pyren (µg/L)	0,04 (0,01)	0,04(0)
Indeno(1,2,3-cd)pyren (µg/L)	0,04 (0,02)	0,04(0)
Benzo(g,h,i)perylene (µg/L)	0,05 (0,03)	0,05(0)
Blødgørere:		
Diethylhexylphthalat (DEHP) (µg/L)		0,41(0,19)
Diisononylphthalat ((µg/L))		2,35 (0,21)
Phenoler:		
Bisphenol A (µg/L)		0,02
Pesticider:		
AMPA (µg/L)		0,07 (0,02)
Diflufenican (µg/L)		0,02(0)
DNOC (µg/L)		0,51(0,60)
Glyphosat (µg/L)		0,11 (0,10)
Mechlorprop (µg/L)		0,03(0,01)

Ved sammenligning af Tabel 4 med Tabel 2 i BiV-notat 5, ses at regnafstrømningens indhold af aluminium, bly, kobber, zink (kun Maarslet), PAH-forbindelsen pyren, i enkelte tilfælde sum af PAH'er, samt pesticiderne DNOC og glyphosat overskrider et eller flere af kravene.

Suspenderet stof



Figur 2. Indhold af suspenderet stof (mg/L), tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter, Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb.

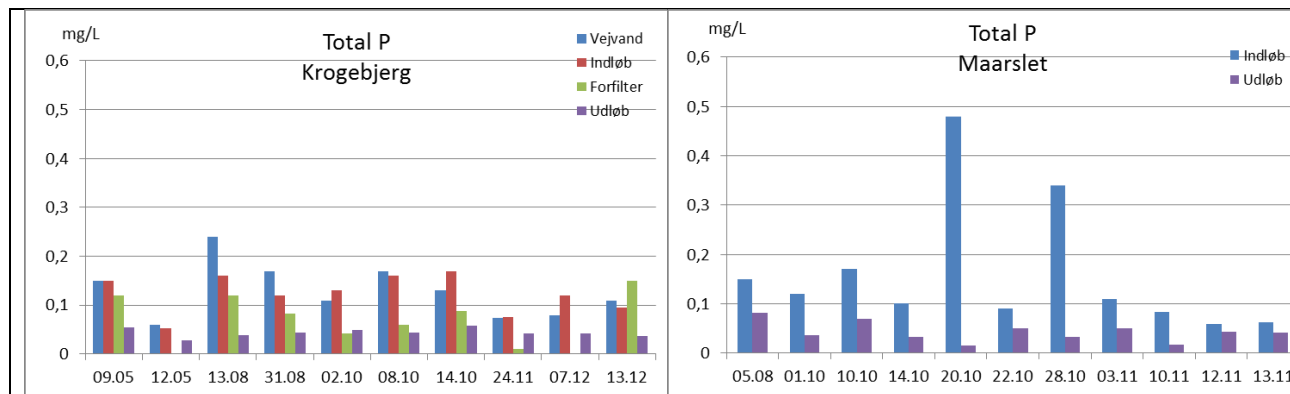
Indholdet af suspenderet stof i regnafstrømning, ligger i gennemsnit på 28,5 mg/L for Krogebjerg og 41,2 mg/L for Maarslet. Derudover ses at der ved DPF-Krogebjerg hændelserne den 14/10 og 7/12 er en smule mere suspenderet stof i indløbet til forfilteret (Indløb) end i vejvandet (Vejvand), hvilket som tidligere forklaret kan skyldes resuspension af sediment i indløbsbrønd.

I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til 6,9 mg/L og DPF-Maarslet ned til 2,9 mg/L. Ved det tidligere pilotanlæg i Ørestad var grænseværdien for suspenderet stof af Københavns Kommune sat til 25 mg/L.

Forfilteret ses at have en tydelig effekt (sammenligning af rød og grøn søjle i DPF-Krogebjerg-graf), og opdelingen i et forfilter og et hovedfilter synes dermed velbegrunderet (se overvejelser omkring drift i BiV-notat 2, Overslagspris for fuldskalaanlæg til Krogebjerg).

Overordnet ser det ud til at DPF-Maarslet renses vandet bedre for suspenderet stof end DPF-Krogebjerg; i Maarslet er indløbskoncentrationerne højere og udløbskoncentrationerne lavere. De to DPF-anlæg er som beskrevet i BiV-notat 2 opbygget stort set ens. Denne forskel er derfor overraskende. I Maarslet blev hovedfilteret dog opbygget af præfabrikerede, kalkholdige kassetter i en membran, mens strømningslagene i Krogebjerg blev opbygget manuelt lag for lag under lagvis ifyldning af kalk, støttet af en boks af plyfaplayer. En forklaring på den bedre rensning i Maarslet, hvilket også observeres for øvrige reaktive parametre – se nedenfor, kan derfor være at kalken er indlejret mere præcist i Maarslet, og at risiko for bypass af fangstlagene har været mindre i Maarslet med de færdiglavede kassetter end i Krogebjerg. En yderligere forklaring er, at der var et ca. 20 % langsommere flow gennem DPF-Maarslet på 1,4 m³/h end DPF-Krogebjerg på 1,8 m³/h. Det giver en længere opholdstid DPF-Maarslet, og dermed en bedre rensning.

Fosfor



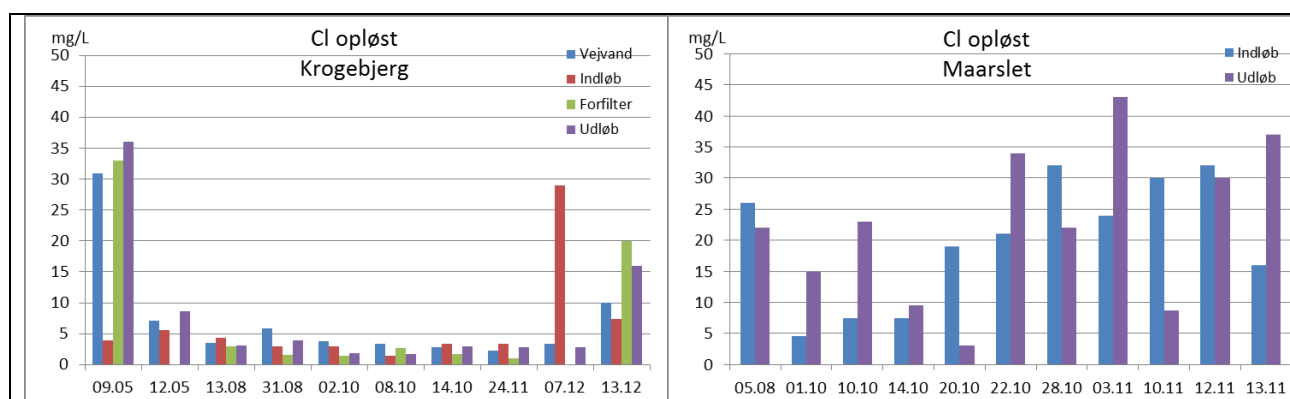
Figur 3: Indholdet af total P, tv de 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb.

Opløst P er ikke indtegnet i grafer da størstedelen af P fandtes på total form, altså tilknyttet det suspenderede stof.

Generelt ligger koncentrationsintervallet for de to lokaliteter på samme niveau. Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 0,13 mg P/L, med et variationsinterval på 0,06-0,24 mg/L, mens indløbsvandet til DPF-Maarslet indeholder i gennemsnit 0,16 mg/L, med et variationsinterval på 0,06-0,5 mg/L. Alle hændelser overholder allerede i indløbsvandet kravene til både grundvand, drikkevand og udledning til ferskvand. Ligesom for suspenderet stof ses P-værdierne i Indløb til DPF-anlægget i Krogebjerg at være højere end P i Vejvand den 14/10 og 7/12, hvilket kan kobles sammen med indholdet af suspenderet stof ved disse hændelser.

I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til 0,04 mg/L, varierende fra 0,03-0,06 mg/L. Tilsvarende er gennemsnitsudløbskoncentrationen fra DPF-Maarslet 0,04 mg/L, varierende fra 0,02 til 0,08 mg/L.

Chlorid



Figur 4: Indholdet af opløst Cl, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb.

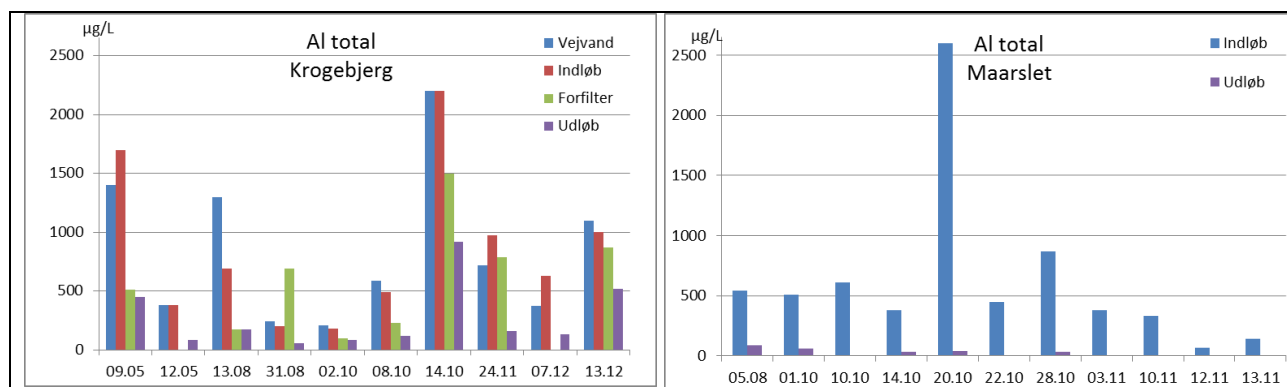
Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 7,3 mg Cl/L, med et variationsinterval på 2,3-31 mg/L. Udløbsvand fra DPF-Krogebjerg har en gennemsnitlig Cl på 8 mg/L, varierende fra 1,7-36 mg/L. Indløbsvandet til DPF-Maarslet indeholder i gennemsnit 20 mg/L, med et

variationsinterval på 4,5-32 mg/L og udløbsvandet herfra indeholder i gennemsnit 22,5 mg/L, og varierer fra 3,1 til 43 mg/L.

Det ses at Cl som forventet ikke tilbageholdes i filteret, men ligger på nogenlunde samme niveau ind og ud af filteret i både Krogebjerg og Maarslet. At Cl ikke forventes tilbageholdt skyldes at Cl er en anion, der ikke sorberes til hverken jord eller kalk, og som derfor kun kan fjernes med eksempelvis omvendt osmose eller destillation. I Krogebjerg er der nogle enkelte afstikkere, f.eks. matches høj Cl i Vejvand, Forfilter og Udløb ikke af høj koncentration i Indløb i den første hændelse, ligesom især hændelsen 7/12 ser mystisk ud. Dette er der ingen forklaring på, anden end målefejl og lidt variation i tidspunktet for prøvetagning og dermed afspejling af reel variation i afstrømningen. Generelt ligger niveauet i Maarslet på et højere niveau, og variation i indhold i de parvise prøver svinger også tilsvarende mere. At Cl ligger højere i Maarslet end i Krogebjerg kan muligvis skyldes en større baggrundsdeposition i Århus-området sammenlignet med København.

Det eneste krav, der findes til Cl er kravet for drikkevand, som er på 250 mg/L, hvilket på intet tidspunkt overskrides i hverken indløbs- eller udløbsvand. Der er over en faktor 5000 mellem højeste observerede koncentration og drikkevandskravet. Det kunne have været interessant at have en saltningsperiode med, for at se hvilket Cl-niveau indløbsvandet ville opnå.

Aluminium



Figur 5: Indholdet af Al total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb.

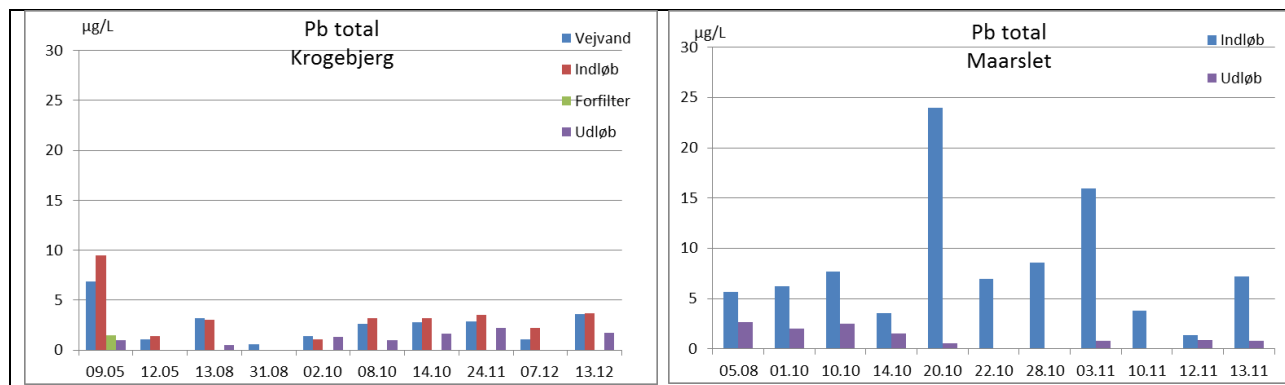
Af Tabel 3 fremgår, at stort set al Al findes på total form, altså tilknyttet det suspenderede stof. Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 851 µg/L, med et variationsinterval på 210 - 2200 µg/L, mens indløbsvandet til DPF-Maarslet indeholder i gennemsnit 625 µg/L, med et variationsinterval på 69 - 2600 µg/L.

I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til 269 µg/L, varierende fra 57 - 920 µg/L, og DPF-Maarslet ned til 51 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen på 30 µg/L til 86 µg/L. Den bedre og meget sikre rensning i Maarslet sammenlignet med Krogebjerg tilskrives den bedre fjernelse af suspenderet stof.

Kravet til Al i drikkevand er på maks. 100 µg/L. Dette krav overholdes i alle tilfælde for udløbsvand i DPF-Maarslet, hvorimod det i DPF-Krogebjerg overskrides i flere tilfælde.

Det kan også nævnes at når der søges om tilladelse til at Al-behandle søer, så kræver Miljøstyrelsen at koncentrationen af opløst Al i vandet efter behandling ikke overstiger 50 µg/L i højalkaline søer og omkring det halve i lavalkaline søer (personlig kommunikation Sarah Egemose). Disse krav overholdes stort set i alle tilfælde for opløst Al, med undtagelse af hændelsen i DPF-Krogebjerg 14.10.2014 (Data ikke vist).

Bly



Figur 6: Indholdet af Pb total tv: de 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder vejevand, indløb til DPF, bassin, forfilter og udløb. th: i de 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder indløb og udløb.

Begge steder fandtes størstedelen af Pb som total Pb, altså sorberet til suspenderet stof. Derfor er kun graferne for Pb total vist. Som forventet reduceres koncentrationen af Pb allerede efter forfilteret (forskel på rød og grøn søjle i DPF-Krogebjerg), hvor hovedparten af det suspenderede stof fjernes.

Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 2,6 µg/L, med et variationsinterval på 1,1-6,9 µg/L, mens indløbsvandet til DPF-Maarslet ligger betydeligt højere med et gennemsnit på 8,3 µg/L og et variationsinterval på 1,4 - 24 mg/L.

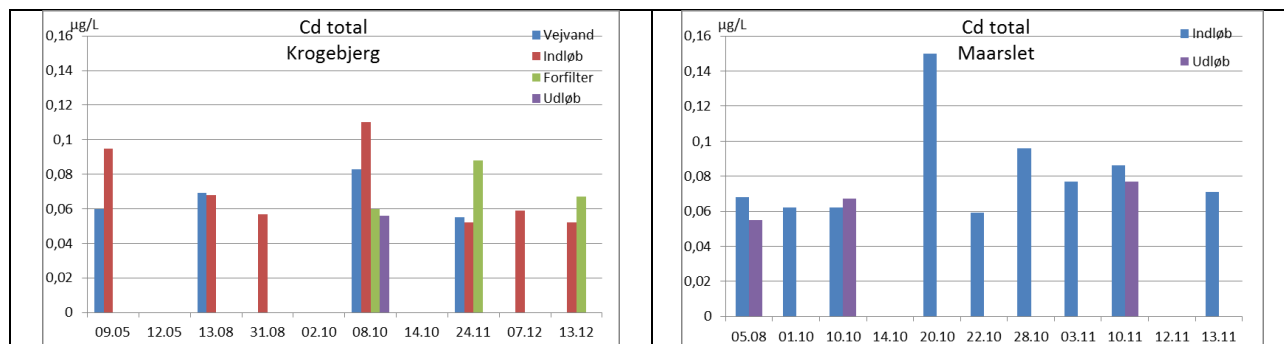
Ligesom for suspenderet stof ses Pb-værdierne ved DPF-Krogebjerg i Indløb at være højere end i Vejevand den 14/10 og 7/12 hvilket kan kobles sammen med indholdet af suspenderet stof ved disse hændelser.

I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til en koncentration på 1,3 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen på 0,5 µg/L til 3,6 µg/L. Udløbsvandet fra Maarslet er på samme niveau som udløbsvandet fra Krogebjerg med et gennemsnit på 1,5 µg/L, og variation fra under detektionsgrænsen på 0,5 µg/L til 2,7 µg/L. Igen renses DPF-Maarslet bedre end DPF-Krogebjerg.

Kravene for Pb i grundvand er 1 µg/L, 5 µg/L for Pb i drikkevand og 2,8 µg/L ved korttidsudledning til ferskvand. Pb koncentrationen i stort set alle indløbsprøver overskrider grundvandskvalitetskriteriet på 1 µg/L, men fjernes ved størstedelen af hændelserne til under dette niveau, mens samtlige udløbsprøver overholder drikkevandskravet og korttidskravet ved udledning til ferskvand.

På begge lokationer tilbageholdes Pb, således at gennemsnitlige udløbskoncentrationer ligger på samme niveau.

Cadmium

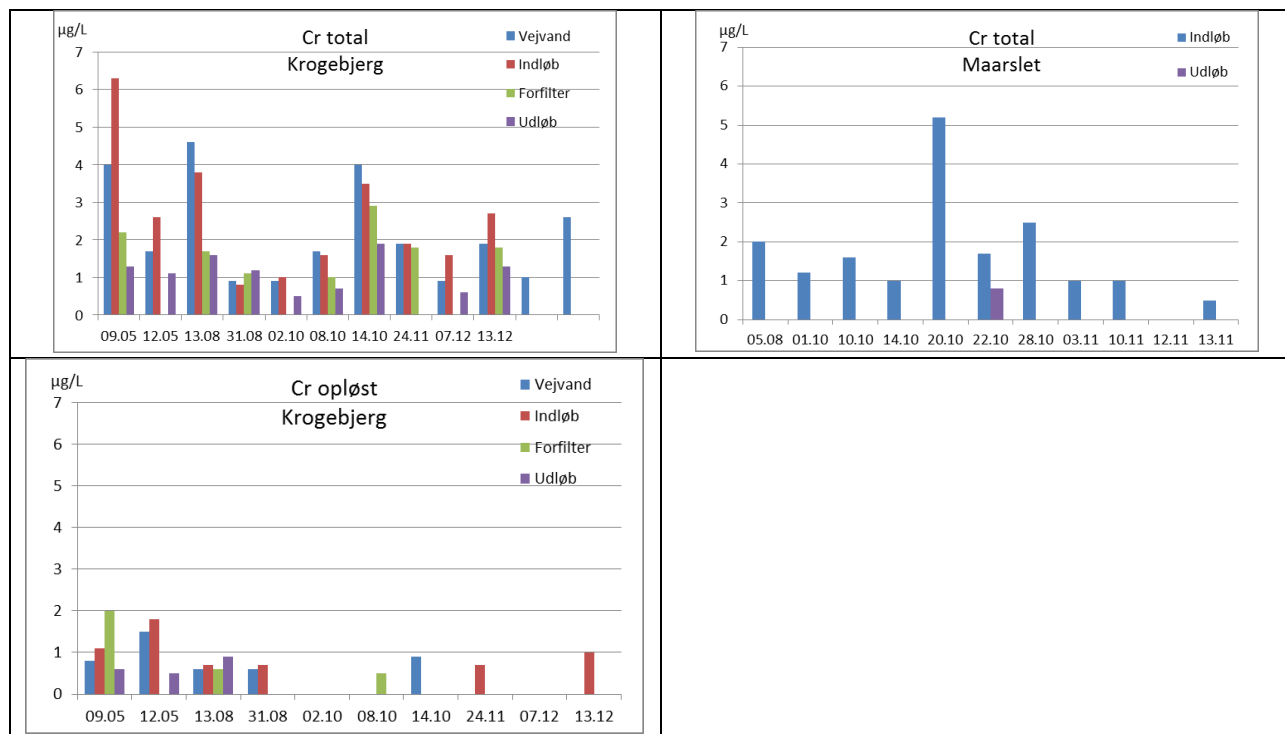


Figur 7: Indholdet af Cd total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb.

Ligesom for Pb, findes størstedelen af Cd på total form, dvs. tilknyttet det suspenderede stof, og igen er kun Cd total vist grafisk.

Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 0,06 µg/L, med et variationsinterval fra under detektionsgrænsen på 0,05 µg/L til 0,08 µg/L. Koncentrationen af Cd i udløbsvand fra DPF-Krogebjerg lå i alle tilfælde under detektionsgrænsen på 0,05 µg/L undtaget i en enkelt måling hvor koncentrationen var 0,06 µg/L. Indløbsvandet til DPF-Maarslet indeholder i gennemsnit 0,08 µg/L, med et variationsinterval fra under detektionsgrænsen på 0,05 µg/L til 0,15 µg/L og udløbsvandet herfra indeholder i gennemsnit 0,07 µg/L, og varierer fra under detektionsgrænsen på 0,05 µg/L til 0,08 µg/L. Der sker således kun et lille fald i koncentrationer gennem filteret, hvilket skal ses i forhold til indløbsvandets lave niveau.

Krom



Figur 8: Øverst: Indholdet af Cr total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb. Nederst: Indholdet af Cr opløst i de 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder. Maarslet ikke vist.

Størstedelen af det fundne Cr findes som total Cr, dvs. tilknyttet det suspenderede stof. For Maarslet var opløst Cr i stort set alle tilfælde under detektionsgrænsen på 0,5 µg/L, hvorfor graf ikke er medtaget.

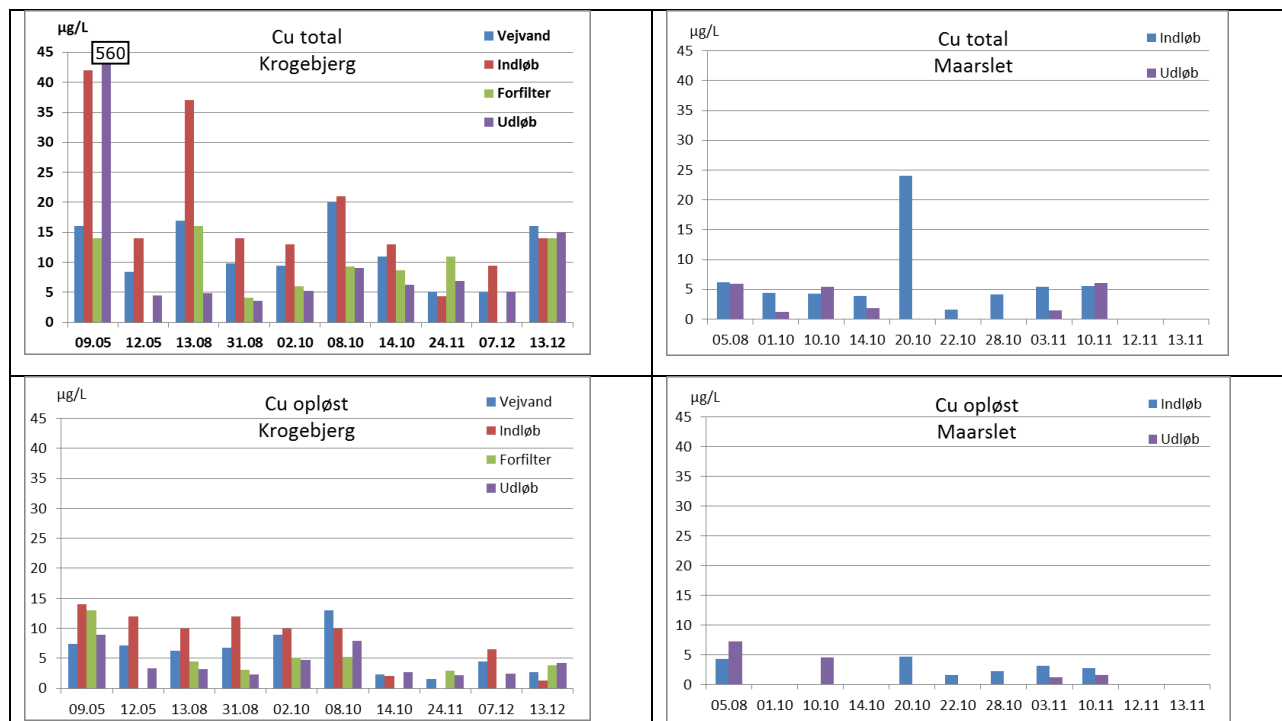
Vejvandet ved DPF-Krogebjerg indeholder i gennemsnit 2,2 µg/L, med et variationsinterval på 0,9-4,6 µg/L. Udløbsvand fra DPF-Krogebjerg har en gennemsnitlig Cr-koncentration på 1,1 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen på 0,5 µg/L til 1,9 µg/L. Indløbsvandet til DPF-Maarslet indeholder i gennemsnit 1,8 µg/L g/L, med et variationsinterval på 0,5 – 5,2 mg/L og udløbsvandet herfra indeholder i gennemsnit 0,8 µg/L, og varierer fra under detektionsgrænsen til 0,8 µg/L.

For Cr opløst ved DPF-Krogebjerg er gennemsnit i indløbsvand 0,9 µg/L, varierende fra <0,5-1,5 µg/L, og i udløbsvandet 0,7 µg/L varierende fra under detektionsgrænsen til 0,9 µg/L. For DPF-Maarslet ligger alle målinger endnu tættere på detektionsgrænsen.

Sammenlignes både indløbs- og udløbskoncentrationer med grænseværdier som er 25 µg/L for grundvand (1 µg/L for Cr(VI)), drikkevand 20 µg/L og for korttidsudledning til ferskvand 124 µg/L (17 µg/L for Cr(VI)) ses det at koncentrationerne af Cr i regnafstrømningen på de to lokaliteter på intet tidspunkt er i nærheden af disse niveauer, da Cr(VI) vil være på opløst form ved de pH og iltforhold der findes ved DPF.

Udløbskoncentrationerne af Cr for Maarslet er lavere end for Krogebjerg; det er faktisk kun i en enkelt af Maarslet-hændelserne at Cr er fundet over detektionsgrænsen i udløbsvandet.

Kobber



Figur 9: Øverst: Indholdet af Cu total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb. Nederst: Indholdet af Cu opløst, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder.

For total kobber er gennemsnittet i Vejvand ved DPF-Krogebjerg 11,8 µg/L, varierende fra 5,1–20 µg/L. Graferne for DPF-Krogebjerg viser at der er en generel tendens til at Cu i Indløb er højere end i Vejvand, hvilket kan skyldes resuspension af suspenderet stof samt afsmitning fra messing-fittings i indløbsbrønden. For DPF-Maarslet ligger koncentrationerne i Indløb fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L og op til 24 µg/L med en gennemsnitsværdi på 6,6 µg/L.

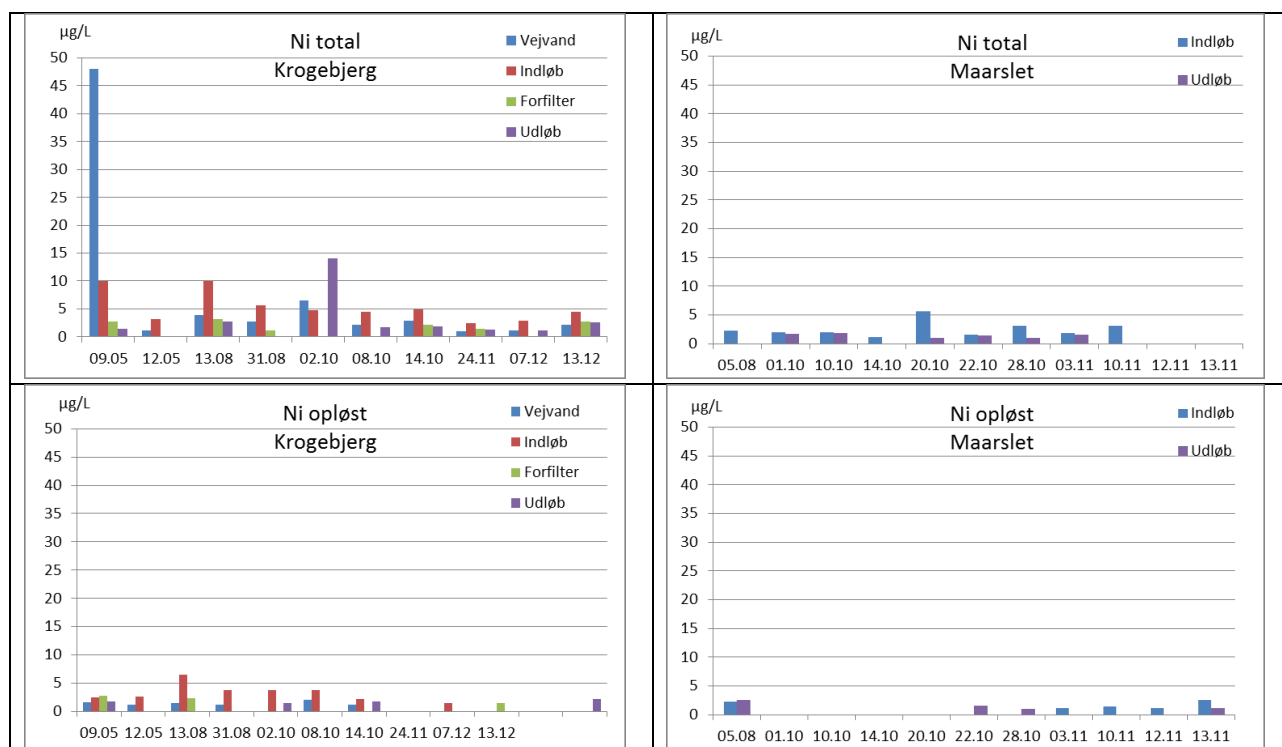
I gennemsnit renser DPF-Krogebjerg ned til 6,7 µg/L (hvis den formodede fejlmålede prøve på 560 µg/L udelades), varierende fra 3,6–15 µg/L, mens udløbskoncentrationer fra DPF-Maarslet ligger fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 6 µg/L og med en gennemsnitsværdi på 3,7 µg/L. Analyseresultatet for DPF-Krogebjerg for Cu total på 560 µg/L den 9. maj antages at være en fejl, idet denne meget høje måling hverken genfindes i prøven af Indløb og heller ikke afspejles i en specielt høj koncentration af opløst Cu. Der er højst sandsynligt tale om en forurening af prøven og derfor er denne værdi ikke medtaget i beregninger af gennemsnit.

Cirka halvdelen af det fundne kobber er på opløst form, og ligger for DPF-Krogebjerg Indløb med et gennemsnit på 6,1 µg/L med et interval på 1,5–13 µg/L, og for DPF-Krogebjerg Udløb på 4,2 µg/L med et interval på 2,2–8,9 µg/L. For DPF-Maarslet Indløb er gennemsnittet 3 µg/L med et interval fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 4,3 µg/L, og for Udløb med et gennemsnit 3,6 µg/L og et interval fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 7,2 µg/L.

Det ses at der generelt observeres højere Cu-niveauer i Vejvand og Indløb i Krogebjerg sammenlignet med Indløb i Maarslet. Forklaringen kendes ikke.

Kravene til Cu koncentrationer i grundvand og drikkevand er 100 µg/L og for korttidsudledning til ferskvand 2 µg/L. Udløbskoncentrationer på under 2 µg/L opnås på intet tidspunkt i DPF-Krogebjerg, mens grundvands- og drikkevandskriterierne er opfyldt i alle tilfælde. Ved Maarslet overskrides de 100 µg/L heller ikke på noget tidspunkt, mens 5 af hændelserne overholder korttidskravet på 2 µg/L.

Nikkel



Figur 10: Øverst: Indholdet af Ni total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb. Nederst: Indholdet af Ni opløst, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder.

Stort set al Ni er på total form, dvs. tilknyttet suspenderet stof.

Gennemsnittet i Vejvand DPF-Krogebjerg er 7,2 µg/L, varierende fra 1,1 – 48 µg/L, og for DPF-Maarslet er 2,5 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 5,6 µg/L. Der ses at være mere Ni i Vejvand fra DPF-Krogebjerg sammenlignet med Indløb DPF Maarslet. Forklaringen kendes ikke. Derudover bemærkes det at for DPF-Krogebjerg er stort set alle total Ni-koncentrationer i Indløb højere end i Vejvand, hvilket som i tilfældet med Cu muligvis kan skyldes afsmitning fra metal fittings i indløbsbrønd.

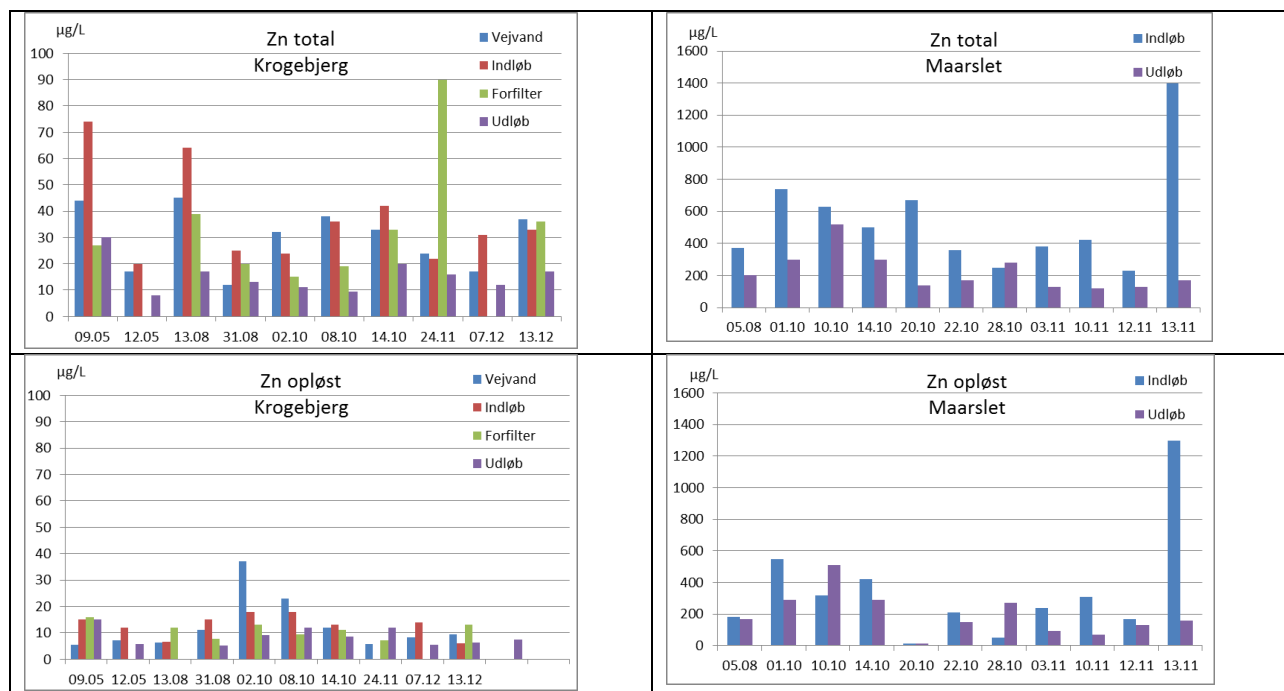
I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til 3,3 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen til 14 µg/L, mens DPF-Maarslet i gennemsnit renses ned til 1,4 µg/L, varierende fra under detektionsgrænsen til 1,9 µg/L. Hvis der ses bort fra den ekstraordinært høje

udløbskoncentration fra DPF-Krogebjerg d. 2.10, hvis forklaring ikke kendes, udleder de to anlæg omtrent samme lave niveau i gennemsnit.

Opløst Ni for DPF-Krogebjerg Vejvand er 1,4 µg/L og ligger i intervallet fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L op til 2 µg/L. For Udløb ses et gennemsnit på 1,7 µg/L og et interval fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 2,2 µg/L. For DPF-Maarslet er koncentrationen i Indløb 1,7 µg/L og ligger i intervallet fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 2,6 µg/L. I Udløb ses et gennemsnit på 1,6 µg/L og et interval fra under detektionsgrænsen på 1 µg/L til 2,5 µg/L.

Indholdet af nikkel i vejvandet ligger generelt lavt sammenlignet med de krav der er til grundvand, drikkevand og udledning til ferskvand, med første hændelse i Krogebjerg som eneste undtagelse. Ved ingen af hændelserne er udløbskoncentrationerne problematiske sammenlignet med kriterierne 10 µg/L for grundvand, 20 µg/L for drikkevand og 6,8 µg/L for korttidsudledning til ferskvand.

Zink



Figur 11: Øverst: Indholdet af Zn total, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder Vejvand, Indløb, Forfilter og Udløb, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder Indløb og Udløb. Nederst: Indholdet af Zn opløst, tv: 10 hændelser fra Krogebjerg ved de fire prøvetagningssteder, th: 11 hændelser fra Maarslet ved de to prøvetagningssteder.

For Zn ses hovedparten at være tilknyttet det suspendede stof, men en betydelig andel er på opløst form.

Gennemsnitsværdien for Zn total i Vejvand ved Krogebjerg er 30 µg/L, varierende fra 12-45 µg/L mens zink total i Indløb ved Maarslet er 541 µg/L, varierende fra 230-1400. Denne store forskel på en faktor ca. 25 tilskrives de mange zinktagninger og inddækninger i det nye boligområde som Maarslet er.

For Krogebjerg ses det i flere af tilfældene at koncentrationen af Zn-total Indløb er højere end i Vejvand, hvilket igen muligvis skyldes afsmitning fra metalfittings i indløbsbrønd.

I gennemsnit renses DPF-Krogebjerg ned til 15,4 µg/L varierende fra 9,5 til 30 µg/L, mens DPF-Maarslet renses ned til 224 µg/L, varierende fra 140 til 300 µg/L.

For DPF-Krogebjerg er gennemsnitsværdien for opløst Zn i Vejvand på 12,5 µg/L med et interval fra under detektionsgrænsen på 5 µg/L til 37 µg/L, mens Udløb har en gennemsnitsværdi på 7,8 µg/L og med et interval fra under detektionsgrænsen på 5 µg/L til 15 µg/L. For DPF-Maarslet er værdierne betydeligt højere, med gennemsnitsværdier på 342 µg/L i Indløb (interval 15-1300 µg/L), sandsynligvis på grund af de mange zinkoverflader i Maarslet. Denne høje indløbskoncentration reduceres markant, men ligger stadig højt i Udløb med 195 µg/L (interval 14-510 µg/L).

Kravene for grundvand og drikkevand er 100 µg/L, og 8,4 µg/L (opløst Zn) for udledning til ferskvand. For DPF-Krogebjerg overskrides grænseværdien på 8,4 µg/L opløst Zn i få tilfælde. For DPF-Maarslet overskrides grænseværdier i udløb hver gang.

PAH-forbindelser og pesticider

Idet målinger for PAH-forbindelser, pesticider, detergenter mm. var så få, og da de fleste af værdierne ligger under detektionsgrænsen giver det ikke mening at gengive dem grafisk. Der henvises i stedet til Tabel 3.

I DPF-Krogebjerg overstiger udløbskoncentrationerne i de to sidste hændelser kravet på 0,1 µg/L for summen af PAH'er. For DPF-Maarslet er PAH'er kun detekteret i en enkelt hændelse, og kun i indløbsprøverne.

Ses der på andre mikroorganiske forureninger, er det kun de to pesticider DNOC og glyphosat, samt nedbrydningsproduktet fra glyphosat, AMPA, der i få tilfælde ved DPF-Maarslet overskrider kvalitetskriteriet på 0,1 µg/L i Udløb. Det ser endog ud til at koncentrationerne af glyphosat og AMPA stiger fra indløb til udløb. AMPA er et nedbrydningsprodukt fra glyphosat og det giver derfor god mening at koncentrationer følges ad. Dog er det meget lave koncentrationsintervaller der måles ved, så dette er også forbundet med en usikkerhed.

Som nævnt er der tale om få pesticidmålinger, og ingen af prøverne stammer fra forårsperioden hvor ukrudtsbekæmpelse i indkørsler og på fortove kan være udbredt.

Konklusion regnhændelser

Ved sammenligning med litteraturværdier (eksempelvis Ingvertsen et al., se BiV-notat 5) kan det konkluderes at de observerede koncentrationer i Indløb til de to DPF-anlæg ligger i den lave ende for afstrømmende regnvand (Tabel 4). Det gælder både vejvandet ved Krogebjerg og det blandede tag- og vejvand ved Maarslet, hvor dog Zn optræder i høje koncentrationer.

Sammenlignes de observerede koncentrationer i Indløb med grundvandskvalitetskriteriet, kravene til drikkevandskvalitet i bekendtgørelse 292 og kravene ved udledning til vandløb m.v. i bekendtgørelse 1022 (se BiV-notat 5, tabel 2) ses det at aluminium, bly, kobber, zink (kun Maarslet), PAH-forbindelsen pyren, i enkelte tilfælde sum af PAH'er, samt pesticiderne DNOC og glyphosat overskrider et eller flere af kravene. Det skal understreges at ingen af de nævnte krav er møntet på almindelig regnafstrømning, og derfor kun kan ses som retningsgivende.

DPF-Krogebjerg blev testet ved måling på 28 stoffer i ti hændelser. Alle 28 stoffer blev fundet over detektionsgrænsen i Indløb ved en eller flere hændelser.

DPF-Maarslet blev testet ved måling på 88 stoffer, hvoraf 38 blev fundet over detektions-grænsen i Indløb.

Effekten af rensning i DPF fremgår af Tabel 3.

De tynde strømningslag på blot 6 mm sikrer som forventet en effektiv fjernelse af suspenderet stof. Udløbskoncentrationerne er betydeligt under de 25 mg/L Københavns Kommune kræver for udledning til Ørestads kanaler. For DPF-Krogebjerg er den gennemsnitlige koncentration 6,9 mg/L, mens den for DPF-Maarslet er 2,9 mg/L.

I alt kan det estimeres at DPF-Krogebjerg har tilbageholdt ca. 3,5 kg suspenderet stof fra de ca. 206 m³, der har passeret anlægget i forsøgsperioden fra 7. maj til 12. september, mens DPF-Maarslet har tilbageholdt ca. 40 kg suspenderet stof i testperioden fra 3. august til 12. november fra de i alt ca. 1065 m³ vand, der har passeret anlægget. Se bilag for beregning.

Den bedre rensning af suspenderet stof, som regelmæssigt kunne observeres i DPF-Maarslet sammenlignet med DPF-Krogebjerg, tilskrives en mere sikker opbygning af DPF-Maarslet med færdigpakke kassetter i både for- og hovedfilter samt et lidt langsommere flow og dermed længere opholdstid.

Målingerne på udløbsvand fra forfilteret i DPF-Krogebjerg (Forfilter) viser, at der sker et betydeligt fald i indhold af suspenderet stof under passage af forfilteret. Dermed kan driften for det samlede filter forlænges ved regelmæssig spuling af forfilter, mens hovedfilteret ligger urørt (Se BiV-notat 5). Det bemærkes at hovedfilteret også er vigtigt for fjernelsen af suspenderet stof, især de mindste fraktioner, der er længst tid om at sedimentere.

Med fjernelsen af suspenderet stof sker der også en effektiv fjernelse af de øvrige forureningskomponenter, der primært er knyttet til suspenderet stof. Det gælder eksempelvis P, der kommer helt ned på 0,04 mg/L, samt eksempelvis Al, Pb, Cd, Cr, Ni og Zn, hvor den største fjernelse sker sammen med suspenderet stof. DPF-Maarslet skiller sig positivt ud på grund af den mere effektive fjernelse af suspenderet stof. Også de organiske samleparametre NVOC og TOC, der især ses i indløbsvandet til DPF-Krogebjerg reduceres markant under passage af forfilter, mens der ikke sker yderligere reduktion under passage af hovedfilteret, hvilket tyder på at NVOC og TOC er knyttet til større partikelfraktioner. For PAH ses generelt en god rensning, og igen skiller DPF-Maarslet sig markant ud, med reduktioner til under detektionsgrænsen for samtlige PAH'er til trods for samme indløbsniveauer som i DPF-Krogebjerg. Ved nærstudie af fjernelsesforløbet i DPF-Krogebjerg ses at PAH'erne især fjernes i hovedfilteret, hvilket tyder på at PAH'er er knyttet til de mindste partikelfraktioner.

For detergenter, blødgørere, phenoler og pesticider er der generelt få data, og kun fra DPF-Maarslet. Detergentanalysen viser en berigelse af vandet under passage af filteret, hvilket kan skyldes brug af sæbe som glidemiddel til rør under etablering af DPF. Et forhold man bør være opmærksom på. For blødgørerne ses en reduktion under passage af filteret, hvilket også gælder pesticidet DNOC. Phenolen Bisphenol A og pesticidet diflufenican ændres ikke markant under passage af filteret, mens AMPA, glyphosat og mechlorprop viser stigning. Da AMPA er nedbrydningsprodukt for glyphosat kan en stigning i AMPA skyldes nedbrydning af glyphosat i

hovedfilteret. Dette understøttes dog ikke af det faktum at også glyphosat er højere i Udløb end i Indløb, og niveauerne må derfor siges at være forbundet med stor usikkerhed.

At der kan foregå mikrobiologisk omsætning af stoffer i DPF-filteret, sandsynligvis primært i hovedfilteret, synes også at bekræftes ved studie af N-forbindelserne. Niveaue for N i indløbsvandet er ved begge anlæg lavt, og selvom der sker et fald i total-N under passage af DPF-anlæggene, stiger andelen af nitrat-N, hvilket kan forklares med oxidation af ammonium-N til nitrat-N.

Udover at fjerne finpartikulært suspenderet stof spiller hovedfilteret en vigtig rolle for fjernelsen af opløste forureninger. Dette fremgår ved sammenligning af værdierne i Tabel 3 for opløst stof (filtrerede prøver) før og efter passage af hovedfilter i DPF-Krogebjerg (Forfilter sammenlignet med Hovedfilter). Her ses reduktion i opløst P, opløst Al, og opløst Zn.

Af pH og konduktivitetmålingerne kan det konkluderes at pH er svagt basisk allerede i indløbsvandet og at udløbsvandet har samme (DPF-Maarslet) eller svagt højere pH (DPF-Krogebjerg). En stigning i pH kan forklares med hovedfilterets indhold af kalk. Konduktivitetmålingerne viser at niveauet for indløb og udløb er omtrent det samme i DPF-Maarslet og svagt stigende i DPF-Krogebjerg, hvilket kan tilskrives et lavere indløbsniveau og dermed svag berigelse under passage af hovedfilter på grund af opløsning af kalk (parallelt med stigning i pH).

Samlet kan det konkluderes at der observeres god rensesevne i begge DPF-anlæg over for suspenderet stof, og partikelbunden forurening (metaller og PAH-forbindelser). For opløste metaller fundet over detektionsgrænsen i indløb ses generelt også en god rensning. For organiske mikroforureninger udover PAH-forbindelser er det svært at konkludere noget på grund af meget få målinger. Tilbageholdelsen af pesticider er også testet ved egen tilsætning, som beskrevet nedenfor.

Der bør fremover være særlig opmærksomhed på zink fra tagrender og taginddækninger. I Maarslet sås i endog meget høje koncentrationer af opløst zink, der kun blev ufuldstændigt nedbragt under passage af filteret. Desuden synes visse pesticider at være vanskelige at fjerne fuldstændig, hvilket kan pege på såvel opfordring til borgere om at bruge færre pesticider hvis regnafstrømning håndteres lokalt, og udvikling af endnu stærkere filtermaterialer (sorbenter).

Doseringsforsøg (egen tilsætning af forureningspuls)

For at få en mere veldefineret test af DPF over for opløste forureninger (fjernelse forurening knyttet til suspenderet stof er veldokumenteret), uafhængigt af det mere eller mindre tilfældige stofindhold i de naturlige regnhændelser, blev der ved DPF-Krogebjerg udført to forsøg i tørvej, hvor nogle af de bekymrende stoffer blev tilsat manuelt som opløste forureninger direkte til forfilterets indløb. Flow gennem DPF-anlægget var på 1,8 m³/h ligesom i regnhændelserne. Der blev anvendt høje koncentrationer af forureninger, der dog stadig lå inden for de værdier, der findes i litteraturen. For at presse filteret maksimalt blev alle stoffer tilsat på opløst form, hvilket sammen med de forholdsvis høje koncentrationsniveauer betyder at testen simulerer en relativt ekstrem situation. Koncentrerede opløsninger af forureninger og en konservativ tracer i form af bromid (Br⁻) blev fremstillet i laboratoriet. Den konservative tracer Br⁻ kan på samme måde som chlorid hverken adsorberes eller udfældes og transporteres derfor passivt med vandet og kan på den måde afsløre hvornår det tilsatte vand ankommer til målestederne. I felten blev koncentratene fortyndet med vandværksvandet, der blev tappet fra en brandhane.

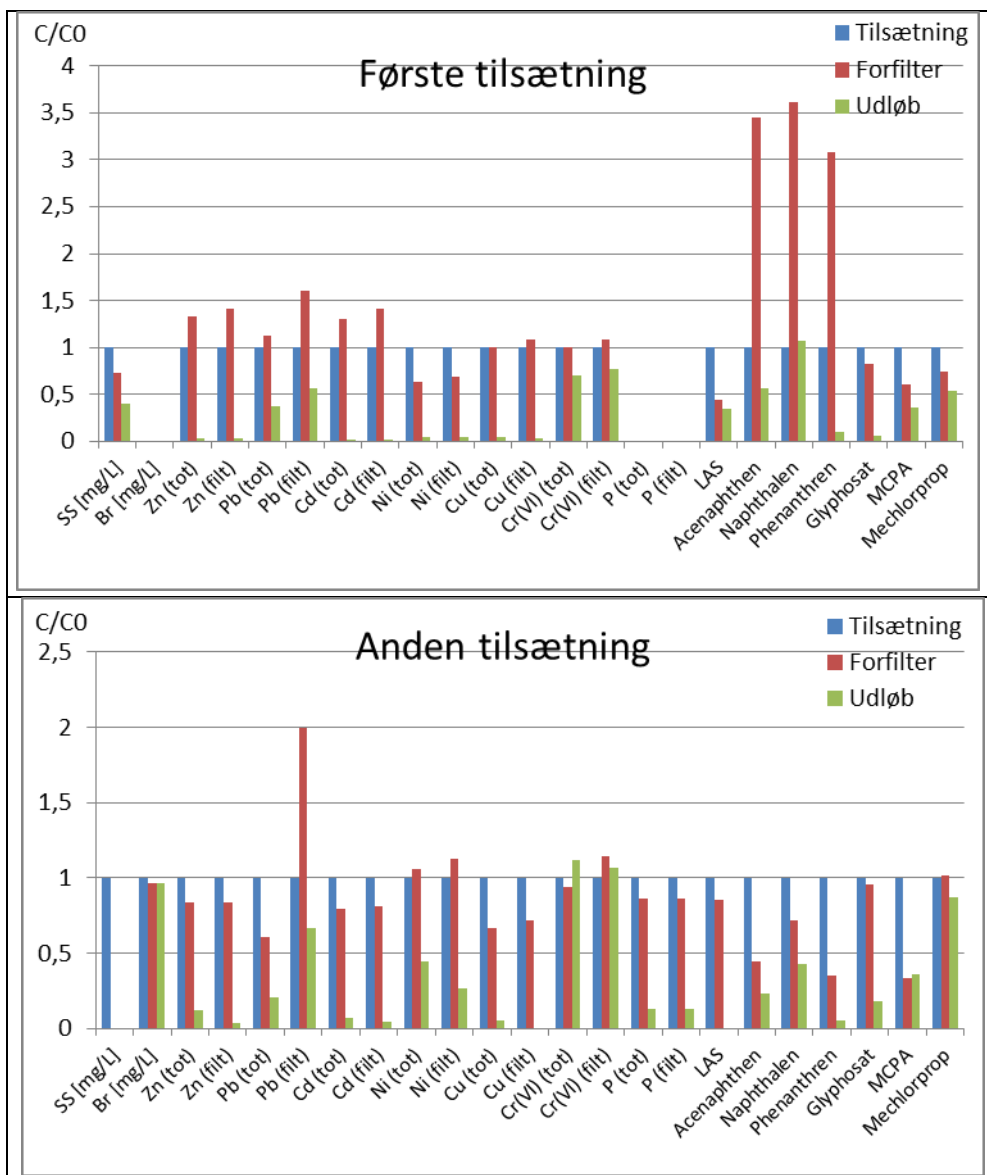
Der blev analyseret prøver af det tilsatte indløbsvand, samt af det rensede vand efter passage af forfilter og efter passage af hovedfilter. Indløbsvandsprøven blev sammensat af mange delprøver, udtaget jævnt gennem tilsætningen, mens prøverne af vand efter passage af for- og hovedfilter bestod af én prøve udtaget på det tidspunkt hvor den elektriske ledningsevne i udløb fra hovedfilter var steget til samme niveau, som i indløbsvandet, og det dermed kunne antages at alt gammelt (stående) vand var væk. Det gamle vand i anlægget stammede fra regnafstrømning, og havde dermed en lav ledningsevne i forhold til vandværksvandet fra brandhanen. Den tilsatte konservative tracer bromid blev brugt til yderligere dokumentation af at prøverne repræsenterer det tilsatte vand uden opblanding (fortynding) med gammelt vand. Se mere om metoden i BiV-notat 5.

Resultaterne for de to tilsætninger er vist i tabel 5. Derudover er resultaterne vist grafisk i figur 12. I figur 12 er udløbskoncentrationerne (C) vist relativt i forhold til indløbskoncentrationen (C₀), dvs. C/C₀. Hvis C/C₀ er 1 sker der ingen fjernelse af stoffet. Hvis C/C₀ er 0 er al stoffet fjernet.

Ved første tilsætning skete der en pumpefejl, så pumpen efter nogen tid begyndte at dosere stofferne for hurtigt. Derfor ses det at koncentrationerne for mange af stofferne efter passage af forfilter overstiger indløbskoncentrationerne. Derudover var der sket en fejkommunikation med analysefirmaet hvilket betød at hverken bromid eller fosfor var inkluderet i de første målinger. Første tilsætning er derfor kun retningsgivende. Ved anden tilsætning forløb alt som planlagt. Resultaterne herfra kan bruges til at vurdere hvor godt DPF vil rense i en ekstrem situation. Hvad resultaterne her viste, var også, at der blev opnået et fuldt gennembrud af traceren Br⁻ og at prøverne dermed repræsenterer reelt tilsat vand.

Tabel 5: Resultat af test af DPF-Krogebjerg i tørvejr ved tilsætning af syntetisk vejevandspuls. Totalkoncentration med anførelse af opløst andel i kursiv.

Parameter	Tilstræbt koncentration	Første tilsætning (kun retningsgivende pga. pumpefejl)			Anden tilsætning		
		Indløb	Forfilter	Udløb	Indløb	Forfilter	Udløb
pH		7,6	7,6	7,9	7,8	8	7,9
Suspenderede stoffer [mg/L]	0	1,5	1,1	0,6	1,5	<0,5	<0,5
Br [mg/L]	4500	Ingen måling	Ingen måling	Ingen måling	2900	2800	2800
Zn [µg/L]	200	540 <i>490</i>	720 <i>690</i>	18 <i>17</i>	180 <i>180</i>	150 <i>150</i>	22 <i>6,1</i>
Pb [µg/L]	20	56 <i>10</i>	63 <i>16</i>	21 <i>5,7</i>	18 <i>1,8</i>	11 <i>3,6</i>	3,7 <i>1,2</i>
Cd [µg/L]	5	13 <i>12</i>	17 <i>17</i>	0,28 <i>0,2</i>	4,3 <i>4,2</i>	3,4 <i>3,4</i>	0,29 <i>0,17</i>
Ni [µg/L]	20	140 <i>120</i>	89 <i>83</i>	5,8 <i>5,4</i>	16 <i>16</i>	17 <i>18</i>	7,1 <i>4,3</i>
Cu [µg/L]	50	140 <i>120</i>	140 <i>130</i>	5,5 <i>4,1</i>	45 <i>42</i>	30 <i>30</i>	2,3 <i>0</i>
Cr(VI) [µg/L]	20	60 <i>52</i>	60 <i>56</i>	42 <i>40</i>	17 <i>14</i>	16 <i>16</i>	19 <i>15</i>
P [µg/L]	400				370 <i>360</i>	320 <i>310</i>	48 <i>46</i>
LAS [µg/L]	200	430	190	150	140	120	0
Acenaphthen [µg/L]	1	0,9	3,1	0,51	1,1	0,49	0,26
Naphthalen [µg/L]	1	0,94	3,4	1	0,86	0,62	0,37
Phenanthren [µg/L]	1	0,81	2,5	0,076	0,95	0,33	0,048
Glyphosat [µg/L]	1	4,1	3,4	0,26	0,87	0,83	0,16
MCPA [µg/L]	1	5,1	3,1	1,8	1,2	0,4	0,43
Mechlorprop [µg/L]	1	5,4	4	2,9	0,78	0,79	0,68



Figur 12: Koncentration af tilsatte stoffer efter forfilter og efter hovedfilter.

Konklusion doseringsforsøg

Dosering af forureningsstofferne forløb planmæssigt ved anden tilsætning, og konklusionerne baseres derfor på denne tilsætning.

De tilstræbte koncentrationer i indløbsvandet opnåedes stort set over hele linjen, hvilket er et godt resultat når den grove fortyndingsmetode i felten tages i betragtning, og indikerer at doseringsforsøg kan være en god måde at teste feltanlæg på. Eneste parameter der ligger decideret forkert i forhold til tilstræbt koncentration er tracerstoffet Br^- , der tilsyneladende er blevet afvejet forkert. Koncentrationen af Br^- er dog stadig høj, og stoffet kan dermed sagtens måles og således benyttes som tracer.

Det konstateres allerførst at den konservative tracer har passeret filteret upåvirket og udløber i omtrent samme koncentration som det blev tilsat. Dermed er der sikkerhed for at det vand der

måles på repræsenterer tilsat vand. Det viser også at der ikke er nogen mulighed for at stof kan forsvinde ved diffusion ud i jorden omkring filteret, gennem evt. utilsigtede lækager.

Som nævnt blev alle stoffer tilsat på opløst form. Alligevel kan der måles en smule suspenderet stof i prøven af indløbsvand, hvilket kan skyldes et lille indhold i vandværksvand samt gamle aflejringer i brandhanen eller brandhaneslangen, der frigives. Det ses at det lille indhold af suspenderet stof reduceres under passage af forfilter og hovedfilter.

Af tabel 5 og den nederste graf i figur 12 ses, at der bortset fra Cr og til dels mechlorprop sker en betydelig reduktion af hvert enkelt tilsat stof fra tilsætning til Udløb. Den største reduktion sker som forventet under passage af hovedfilter (ses ved sammenligning af Forfilter og Udløb), hvor sorbentmaterialet, der består af kalk og okker, findes. Sammenlignes med regnhændelserne, hvor en stor del af kontaminanterne (P, tungmetaller og PAH) er knyttet til det suspenderede stof og fjernelse heraf, viser doseringsforsøget med al tydelighed at hovedfilteret har god affinitet, takket være kalk og okker, over for også de opløste forureninger.

At der sker en vis reduktion af de opløste stoffer allerede under passage af forfilteret skyldes sandsynligvis at forfilteret indeholder en vis mængde sediment fra rensning af vejvand i det lille års tid filteret havde været i brug forud for dette doseringsforsøg og at dette sediment virker som sorbent.

Det bemærkes at opløst Pb stiger en smule fra tilsætning til Forfilter, hvilket nok er måleusikkerheder.

At Cr ikke tilbageholdes skyldes at det blev tilsat som anionen Cr(VI), der ligesom anionerne Br⁻ og Cl⁻ ikke har affinitet for sorbentmaterialet, og derfor virker ligesom en tracer.

Sammenholdes de opnåede udløbskoncentrationer for de enkelte stoffer i tabel 5 med de krav, der gælder for grundvand, drikkevand og udledning til ferskvand optræder følgende stoffer i kritiske koncentrationer: Cr(VI), de to PAH-forbindelser acenaphthen og naphthalen og de tre tilsatte pesticider glyphosat, MCPA og mechlorprop, mens samtlige øvrige stoffer tilbageholdes. Når det tages i betragtning af stofferne er tilsat i høje koncentrationer og på opløst form, og at anionformen af krom sjældent ses i regnafstrømning, er det især pesticidet mechlorprop, der står tilbage som problematisk. De øvrige reduceres markant og vil typisk optræde i lavere koncentrationer i det indkommende vejvand og desuden være delvist tilknyttet det suspenderede stof.

Bilag 1: DPF-Mårslet, hydraulik

Formålet med bilaget er at give en hydraulisk karakterisering af forsøg med DPF-Mårslet. I karakteriseringen er hændelse 1 brugt som eksempel i grafer. For øvrige hændelser er tilsvarende grafer placeret sidst i bilaget.

Indsamlede hændelser og nedbør i perioden

Ved DPF-Mårslet blev der indsamlet og analyseret 11 hændelser i perioden 3. august – 13. november 2014. En hændelses varighed er defineret som tidspunktet for første registrerede nedbør til tidspunktet for udtagning af vandprøver. Sluttidspunktet kan derfor ligge efter at flow gennem filteret er stoppet. Som det fremgår af Tabel 1 var hændelsernes varighed fra 16,9 til 142,5 timer. I hændelse 11 er der ikke noget starttidspunkt, da der ikke er nedbør i perioden, og vandet i hændelsen sandsynligvis er drænvand fra bydelen.

Fra og med hændelse 5 er hydraulikken i høj grad påvirket af eftervirkninger fra et stort, ikke-prøvetaget nedbør. Dette nedbør starter efter hændelse 4 den 14. oktober kl 20:29 og giver 24,6 mm på 9 timer med en maks. 10 min intensitet på 0,26 mm/minut. Det ser ud til at vandbremsen i pumpebrønden (se BiV-notat 2) stopper til under dette nedbør, så størstedelen af afstrømning fra byen i resten af hændelserne skal forsinkes i bassin, og ledes igennem DPF-Mårslet i stedet for gennem vandbremsen til grøft. Derudover ses efter hændelsen tiltagende drænafløb fra byen, som må skyldes stigende (sekundært) grundvandspejl. I hændelse 11 er drænafløb fra byen så kraftigt, at det giver fuldt flow gennem DPF-Mårslet.

Tabel 1: Hændelsernes varighed. Starttidspunkt er ved første målte nedbør efter klargøring af prøvetagerne. Sluttidspunkt er ved udtagning af vandprøver til analyse af vandkvalitet. "Kode" er analysefirmaets prøvemærkning (ÅÅMMDD).

	Hændelse	Hændelse start Første nedbør	Hændelse slut prøvetagning	Hændelse varighed
Hændelse	Kode	Tid	Tid	h
1	140805	03-08-14 12:40	04-08-14 08:10	19,5
2	141001	26-09-14 16:50	01-10-14 09:50	113,0
3	141010	07-10-14 11:41	10-10-14 09:00	69,3
4	141014	13-10-14 10:32	14-10-14 10:00	23,5
5	141020	15-10-14 16:36	20-10-14 09:30	112,9
6	141022	21-10-14 15:36	22-10-14 08:30	16,9
7	141028	22-10-14 12:51	28-10-14 11:20	142,5
8	141103	29-10-15 08:15	03-11-15 11:00	122,8
9	141110	05-11-14 09:54	10-11-14 11:00	121,1
10	141112	10-11-15 10:51	12-11-15 09:30	46,7
11	141113	12-11-14 09:50	13-11-14 08:30	22,7

Note: Ingen nedbør i hændelse 11. Som start på hændelsen er valgt tidspunkt for første drænvand i Indprøvetager

Nedbør og flow

I perioden var der 92 nedbørshændelser med en samlet nedbør på 257 mm. De prøvetagede nedbør fremgår af Tabel 2.

Det akkumulerede vandvolumen gennem udløb fra DPF var i perioden på 1065 m³. I dette volumen er kun inkluderet flow under 0,15 m³/h, idet der var målestøj ved lavere flow. Vandvolumen hørende til de enkelte hændelser fremgår af Tabel 2. Heraf fremgår også maksimalt flow, der ses at ligge i intervallet 1,3 til 1,7 m³/h. Det dimensionerede maksimale flow, der forventedes ved fuld løbende DPF-anlæg var 1,8 m³/h.

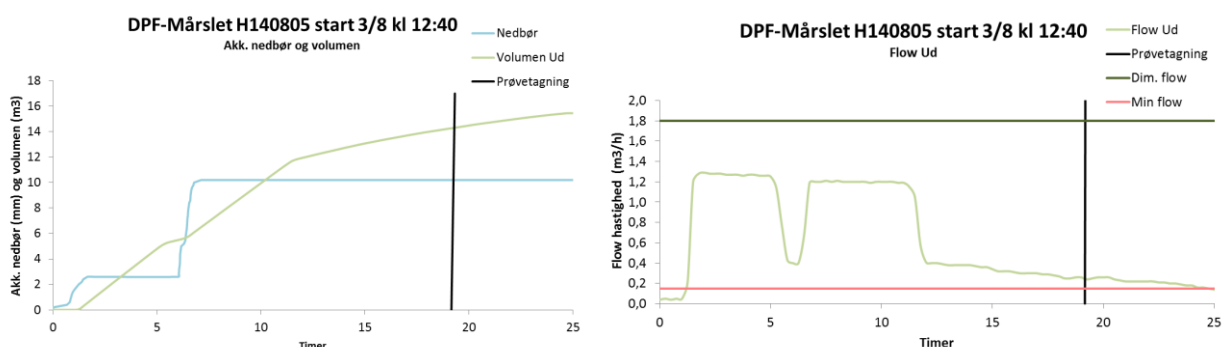
Tabel 2. Karakterisering af Nedbør og flow gennem DPF-Udløb

Hændelse	Nedbør				Udløb	
	Tør periode	Uge nedbør	Akk.	Maksimum	Volumen	Max flow
			nedbør	10 min intensitet		
døgn til <1 mm	mm før start	mm	mm/minut	m3	m3/h	
1	19,9	0,0	10,2	0,270	15,6	1,3
2	7,2	7,2	6,8	0,048	38,5	1,7
3	6,0	7,0	20,4	0,066	69,3	1,7
4	1,4	30,4	3,4	0,028	23,5	1,4
5	0,3	47,6	15,6	0,107	112,9	1,4
6	1,5	46,0	6,8	0,040	16,9	1,4
7	0,9	22,4	13,0	0,165	169,8	1,4
8	3,9	8,8	2,6	0,061	72,1	1,4
9	1,1	10,0	4,8	0,035	73,3	1,3
10	0,0	3,0	0,8	0,033	21,3	1,3
11	Ingen nedbør	Ingen nedbør	Ingen nedbør	Ingen nedbør	24,7	1,4

Flowforløb gennem hver hændelse

I den følgende gennemgang benyttes hændelse 1 som eksempel. Forløbet for de øvrige hændelser præsenteres samlet bagerst i bilaget.

Figur 1 viser akkumuleret nedbør og akkumuleret flow gennem DPF-anlægget for den første hændelse, samt tidspunktet for prøvetagning. Af Figur 1 og i Tabel 2 ses, at der i hændelse 1 (140805) har været to nedbør på i alt 10,2 mm. Mellem de to nedbør var flowet langsommere i ca. 1 time, svarende til at DPF-anlægget dræner af og ikke er fuldt løbende. Det akkumulerede flow, der er repræsenteret i den indsamlede udløbsprøve (Udløb), er på 15,6 m³.



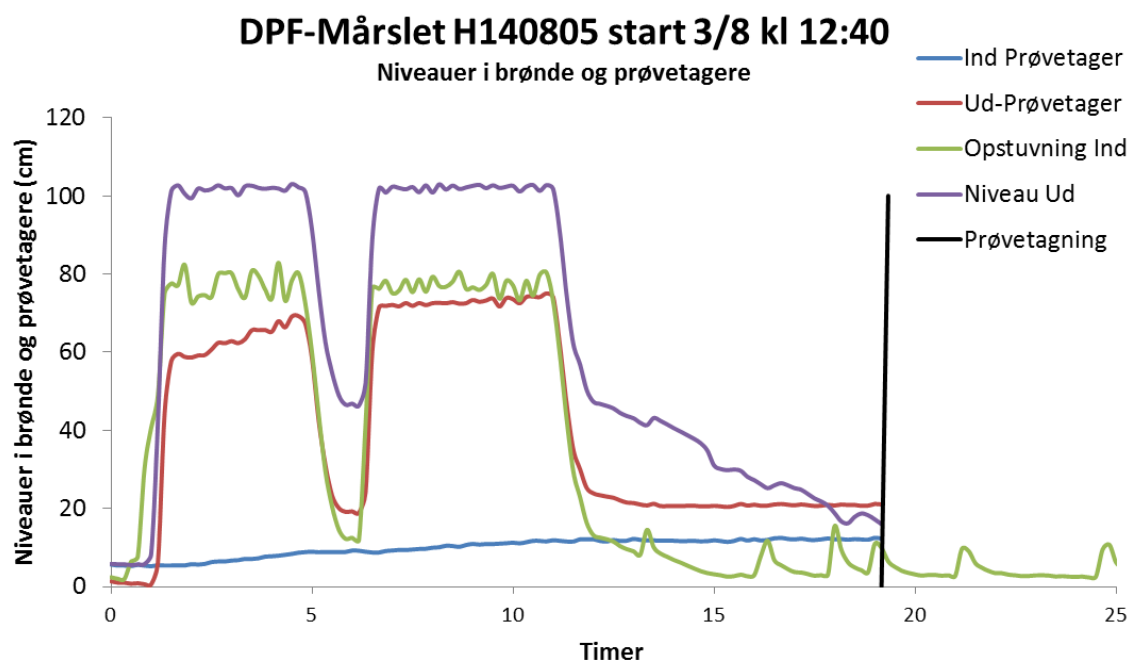
Figur 1. Hydraulisk karakterisering af hændelse 1 (140805). Tv: Graf over akkumuleret nedbør, akkumuleret flow gennem DPF-udløb og tidspunkt for indhentning af prøver. Th: Graf over flowhastighed. Her er også vist minimums målbart flow på 0,15 m³/h og maksimalt dimensioneret flow på 1,8 m³/h, samt igen tidspunkt for indsamling af prøver.

Vandstand i udløb og fyldning af prøvetagere

Analyse af prøvetagerens fyldningsforløb i Indløb og Udløb er vigtig i forhold til vurdering af, hvor repræsentative prøverne er i forhold til såvel regnafstrømningen fra Maarslet som strømning gennem DPF. Det ideelle er at prøvetagerne ikke løber over samtidig med at der indsamles vand nok til at analyserne kan gennemføres. Prøvetagerens manuelle indstilling for fyldningshastighed er en udfordring, da små nedbør let resulterer i for lidt vand til analyse, mens store nedbør let giver overfyldte prøvetagere. Som kompromis er begge prøvetagere indstillet til fyldning på ca. 5 timer.

Den passive prøvetager i indløb går i overløb når den er fuld. Overløb kan påvirke hvor repræsentativ prøven er, idet en del af indløbsvandet til prøvetageren da går tabt. Prøven kan muligvis blive fejlagtigt beriget med suspenderet stof, idet noget af det suspenderede stof fra overløbsvandet kan nå at blive opfanget i den allerede fyldte prøvetager. Tilført vand til en fyldt prøvetager har dog en kort opholdstid, så fejlen forventes ikke at være betydelig.

Prøvetageren i udløb har kun tilstrømning, når filteret er fyldt så meget at indløb står under vand, og der er intet flow til prøvetageren, når den er fuld. Derfor repræsenterer vandet i beholderen kun vand fra perioden med fyldning af prøvetageren. Da vandniveau i prøvetageren måles med tryktransducer, kan niveauet ikke måles direkte når indløb er under vand, fordi det giver et forhøjet vandtryk på prøvetageren som øger trykket i prøvetageren. I Figur 2 og Tabel 3 er niveau i prøvetageren ikke korrigeret for det forhøjede vandtryk. På Figur 3 ses målte vandniveauer i prøverne samt indløbs- og udløbsbrønd for hændelse 1. Der er god overensstemmelse mellem nedbør og flow i figur 1 og målte niveauer i figur 2. For niveau i udløb ses at kurve for målt tryk i beholderen har samme form som for niveau i udløbsbrønden, når prøvetagerens indløb står under vand. Fra 5 til 6 time er vandstand under prøvetagerens indløb, og man kan på grafen aflæse at der i det tidsrum er ca. 20 cm vand i prøvetageren.



Figur 2. Hændelse 1 (140805). Niveauer i prøvetagere samt ind- og udløbsbrønd. For Ud-prøvetager er der ikke korrigeret for forhøjet vandtryk fra vandstand over prøvetageren i udløbsbrønd.

Hydrauliske nøgletal for prøvetagerne i hændelserne ses i tabel 3. Tidspunkt for første vand angiver hvornår det første vand er løbet til prøvetager efter klargøring. I mange hændelser sker det inden start på hændelsen dvs. før første nedbør. Efter hændelse 4 er der betydelige mængder vand i prøvetager inden nedbør. For både Ind- og Ud-prøvetager kan det skyldes drænafstrømning fra byen og tilførsel af stående vand fra forsinket vand i rørledninger og forsinkelsesbassin. For Ud-prøvetager kan det også skyldes filteret ikke er drænet fuldt af ved klargøring til ny hændelse.

Hændelserne 1- 4 er som ønsket domineret af regnafstrømning fra byen. Hændelse 5 ser ud til at være domineret af vand fra forsinkelsesbassinet efter det store nedbør den 14. oktober. Hændelserne 6,7,8 og 9 indeholder sandsynligvis betydelige mængder drænvand. I hændelse 10 starter nedbør umiddelbart efter klargøring af prøvetagerne. Hændelsen indeholder kun 0,8 mm nedbør, så den må også være domineret af drænvand. Hændelse 11 er som nævnt ren drænvand. Af graferne bagerst i bilaget fremgår, at prøvetagerne i de fleste tilfælde blev fyldt inden hændelsen var slut. Som nævnt kan dette have medført en fejlagtig mindre berigelse af prøverne med især suspenderet stof.

Tabel 3:

Hændelse	Hændelse start		Ind Prøvetager		Ud Prøvetager		
	Første nedbør	Første Vand	Hændelse start niveau	Hændelse slut niveau	Første Vand	Hændelse start niveau	Hændelse slut niveau
	Tid	Tid	cm	cm	Tid	cm	cm
1	03-08-14 12:40	03-08-14 12:40	5,6	12,6	03-08-14 13:50	6,1	21,0
2	26-09-14 16:50	26-09-14 14:00	5,6	57,9	26-09-14 17:40	5,9	20,5
3	07-10-14 11:41	06-10-14 14:20	8,3	58,8	07-10-14 12:30	23,5	104,4
4	13-10-14 10:32	13-10-14 10:00	5,7	57,3	13-10-14 12:00	5,7	54,2
5	15-10-14 16:36	15-10-14 09:40	58,1	59,6	15-10-14 10:50	1,8	54,7
6	21-10-14 15:36	21-10-14 08:20	58,1	59,6	15-10-14 09:50	1,8	54,7
7	22-10-14 12:51	22-10-14 08:40	30,5	58,6	22-10-14 08:10	105,9	73,8
8	29-10-15 08:15	28-10-14 11:40	59,1	59,4	28-10-14 11:30	105,9	85,1
9	05-11-14 09:54	03-11-14 11:50	59,4	58,1	04-11-14 09:00	42,8	54,3
10	10-11-15 10:51	10-11-14 11:00	2,7	58,6	10-11-14 11:00	54,3	31,2
11	Ingen nedbør	12-11-14 09:50	2,8	60,2	12-11-14 09:50	10,8	91,8

Akkumulering af sediment

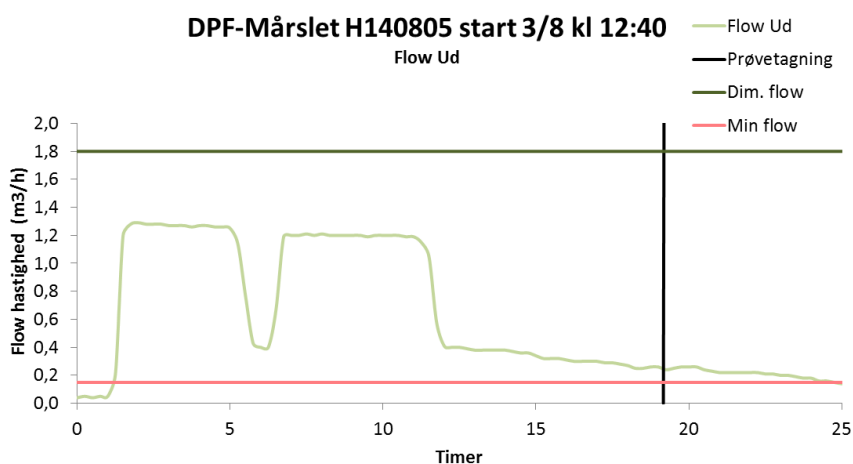
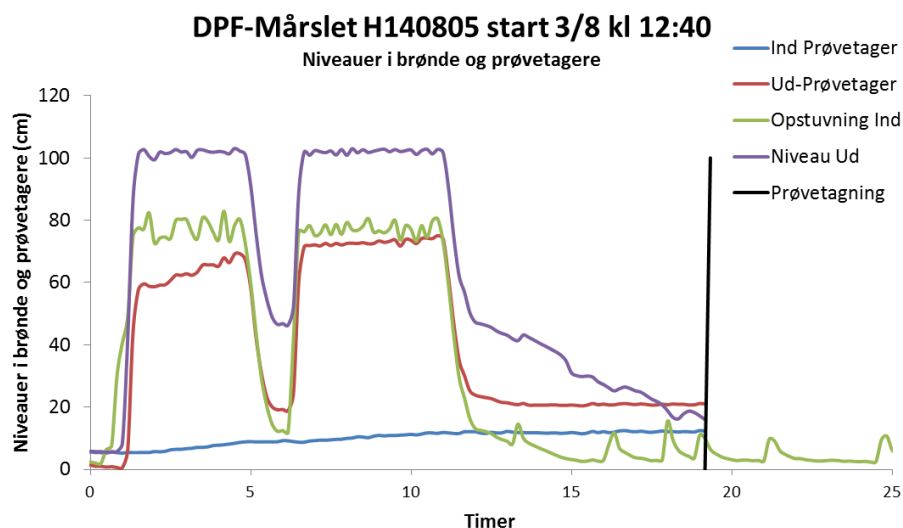
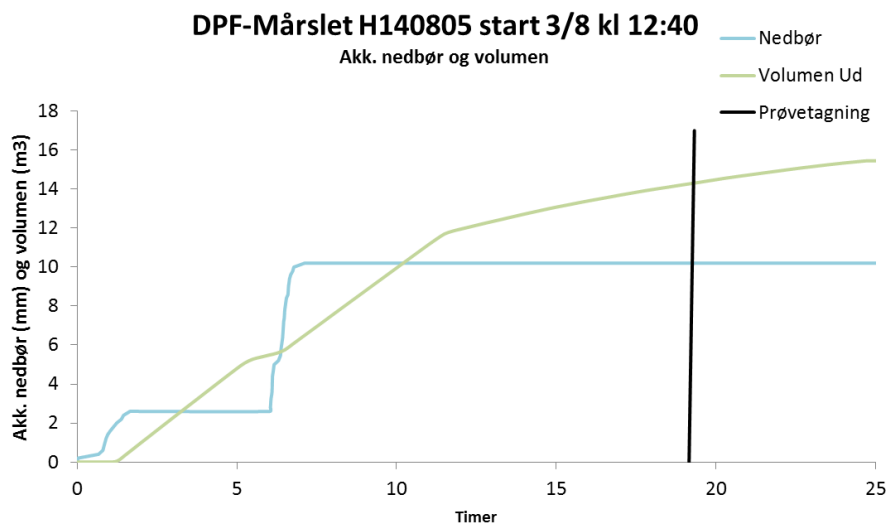
Teoretisk beregning af akkumuleret sediment i filter baseret på gennemsnitlige koncentrationer af suspenderet stof i indløb og udløb(SS):

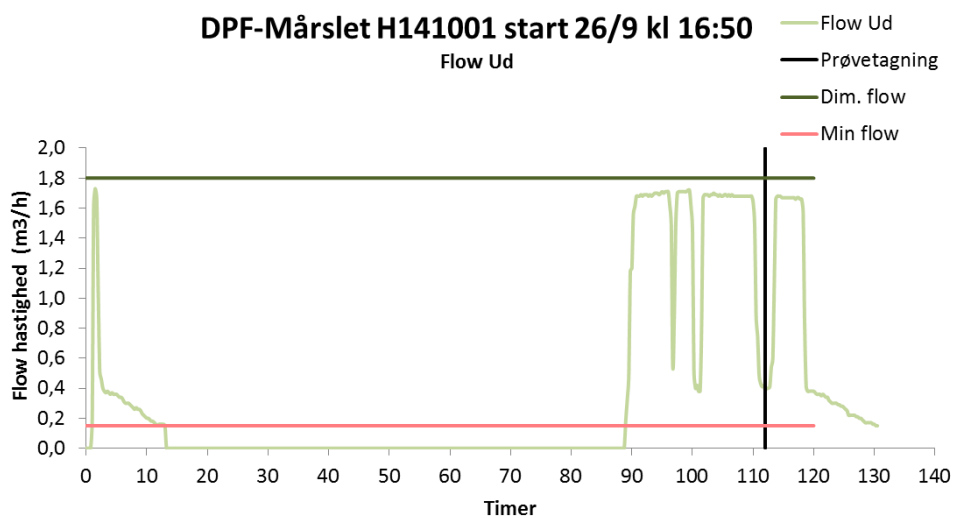
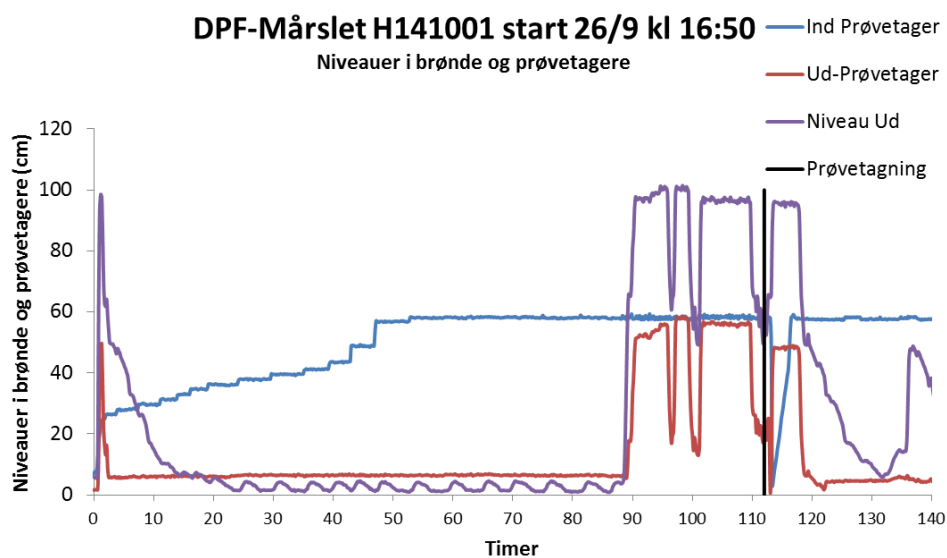
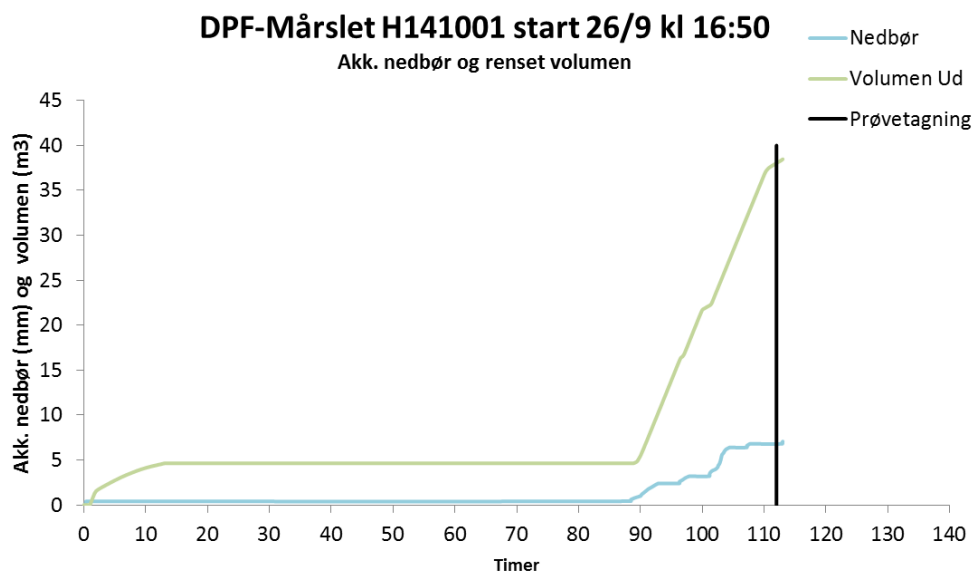
$$1065000 \text{ L} * (41-3)\text{mg SS/L} \approx 40 \text{ kg sediment}$$

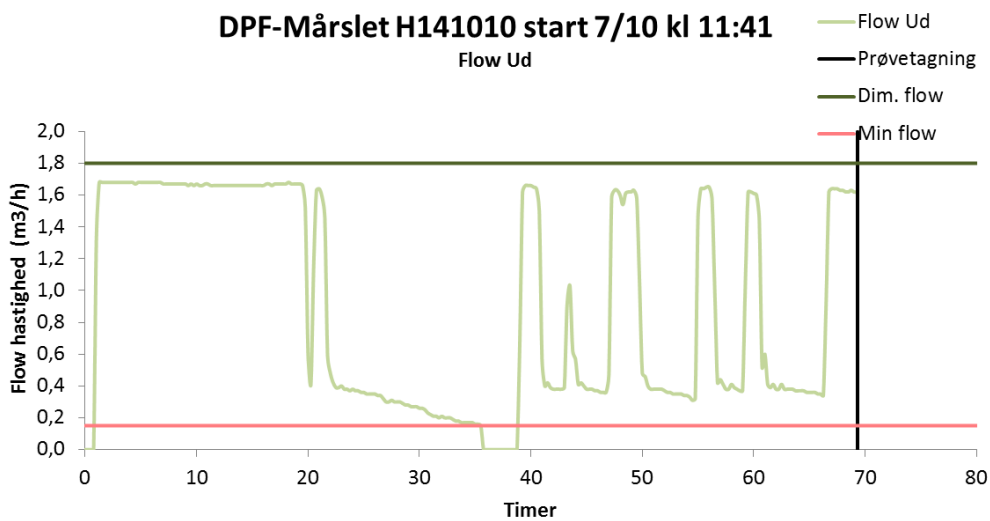
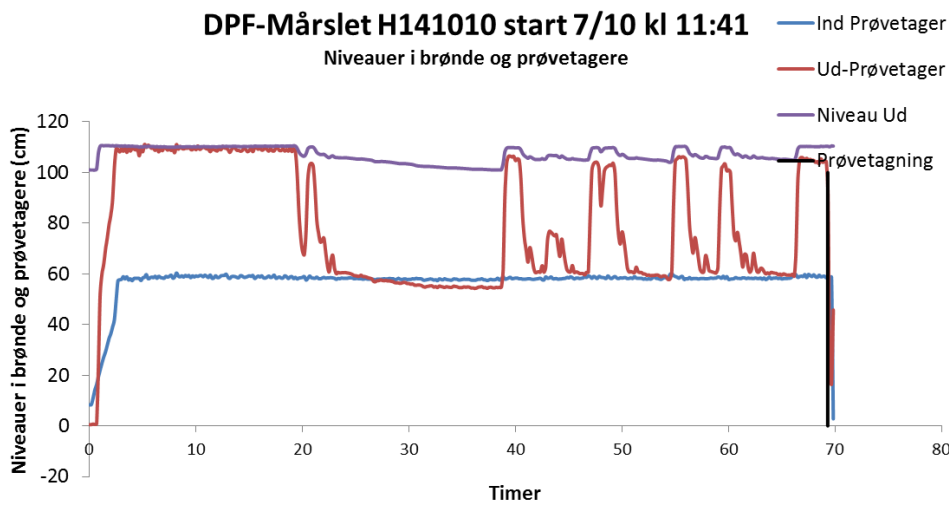
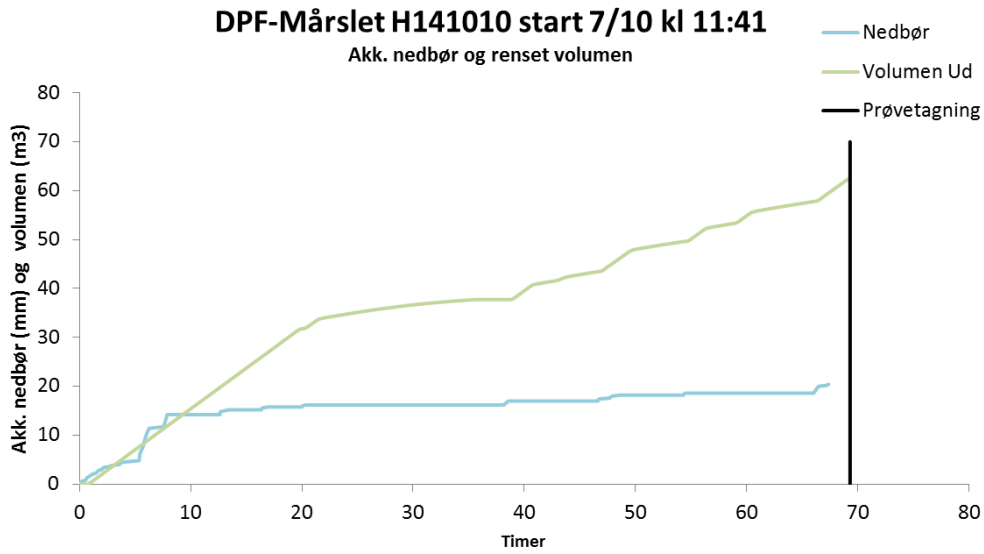
Vurdering af flow gennem DPF-Mårslet er baseret på flowmåler. Flow under 0,15 m³/h er således ikke medregnet. Evt. vandtab i DPF-Mårslet er heller ikke med i beregningen. Det betyder at flow gennem indløb og dermed akkumulering af sediment forventes at være lidt højere end i denne beregning.

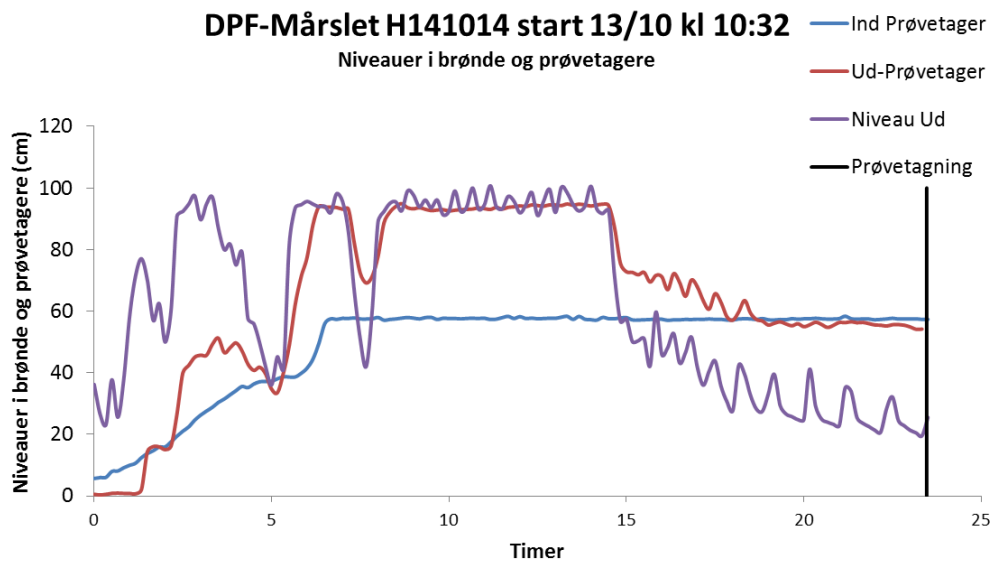
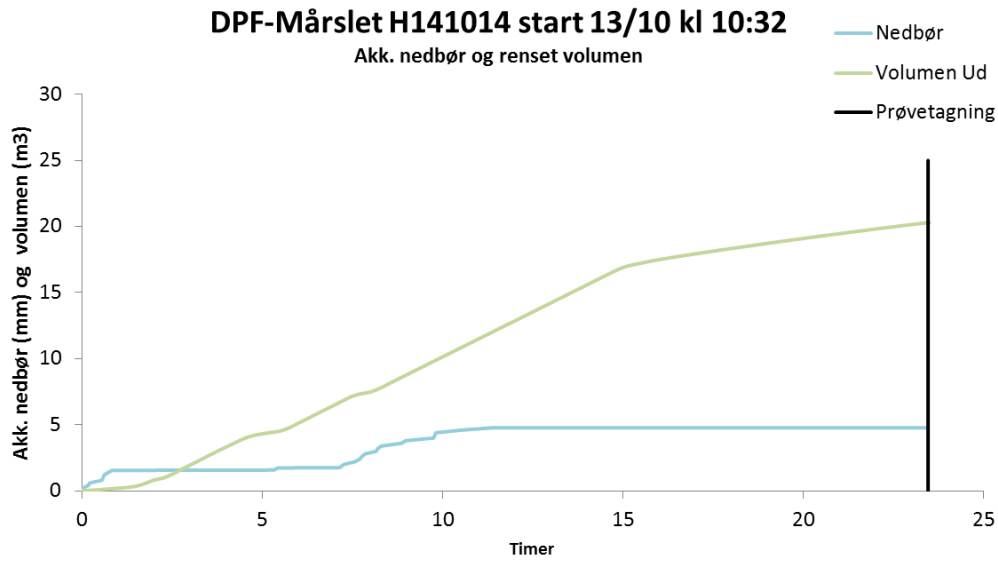
I forbindelse med nedtagning af DPF-Maarslet anlægget er mængden af suspenderet stof tilbageholdt i forfilteret estimeret til xx kg. Estimatet er baseret på måling af sedimentdybde i udvalgte kassetter, nemlig nr. 1....og x, regnet fra indløbet, og ekstrapolering til hele filteret herudfra. Et foto fra åbningen af kassetterne ses i figur 3. Dette estimat ses at være i overensstemmelse med ovenstående estimat baseret på reduktion i indhold af suspenderet stof.

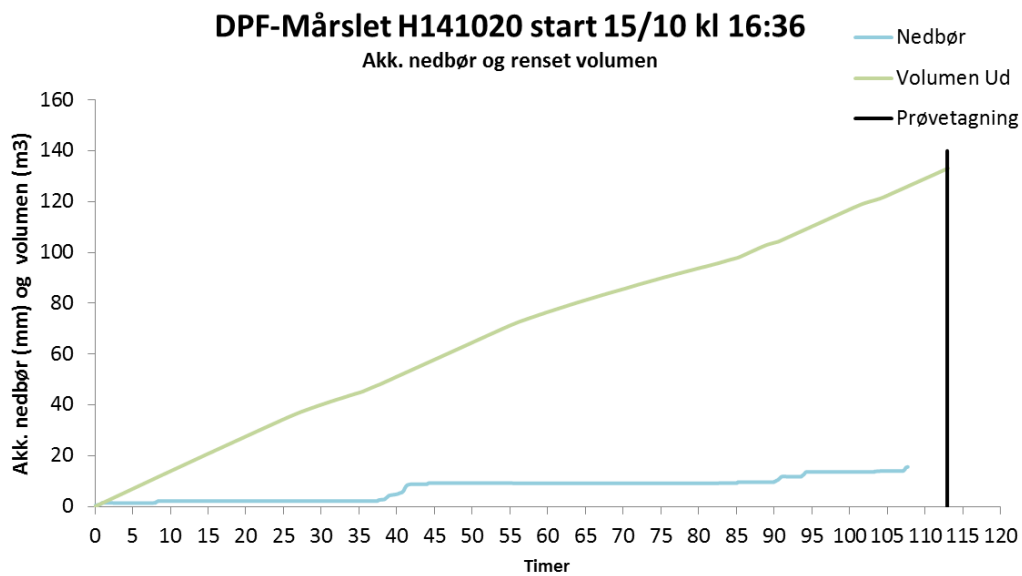
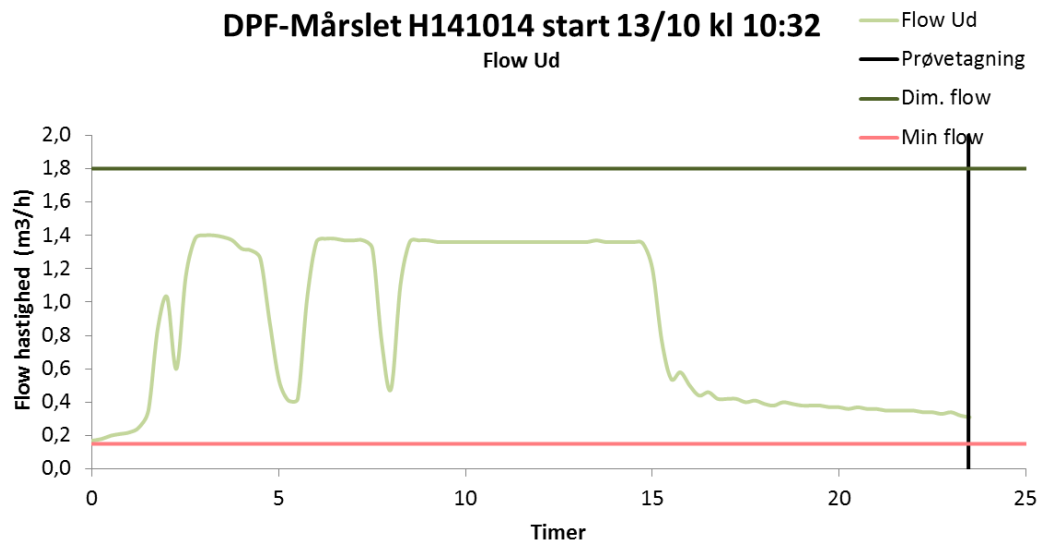
Figurer med nedbør, flow og niveauer for hver hændelse

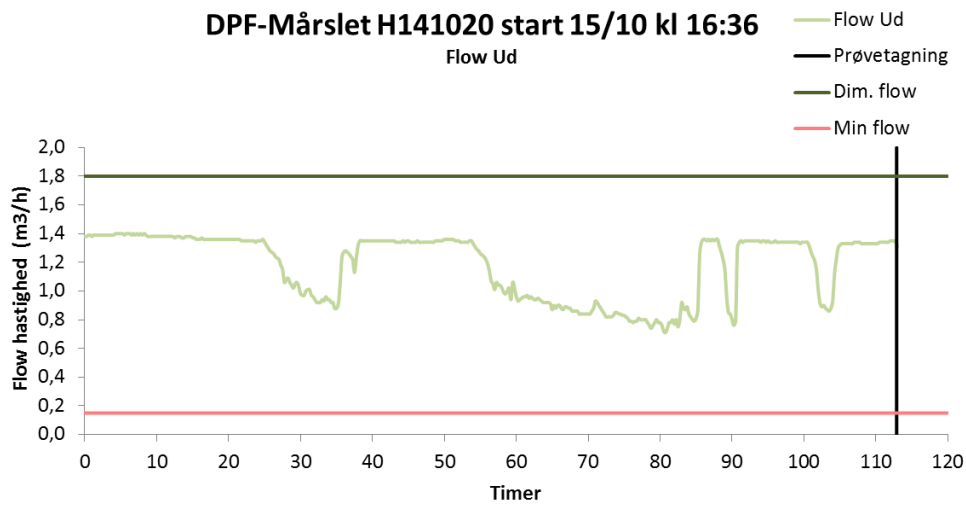
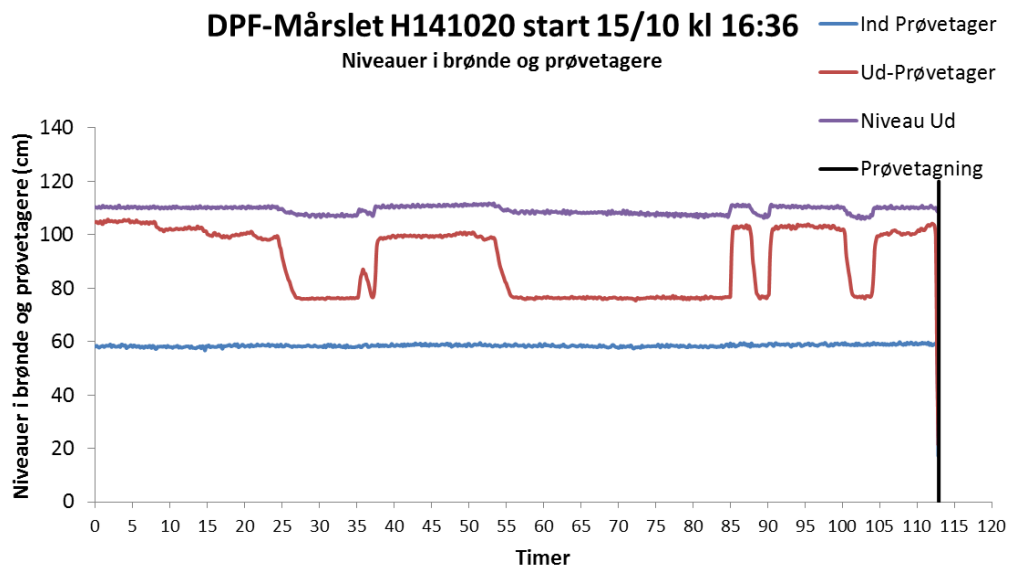


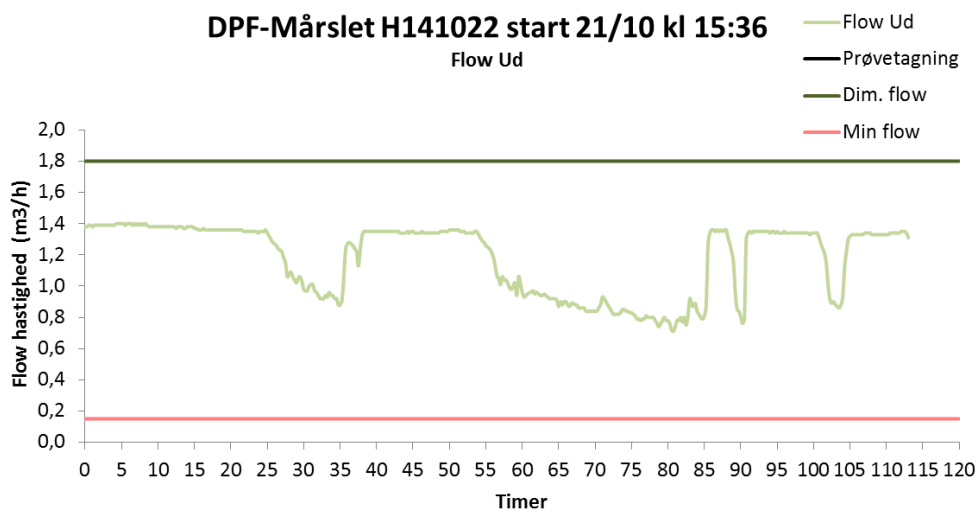
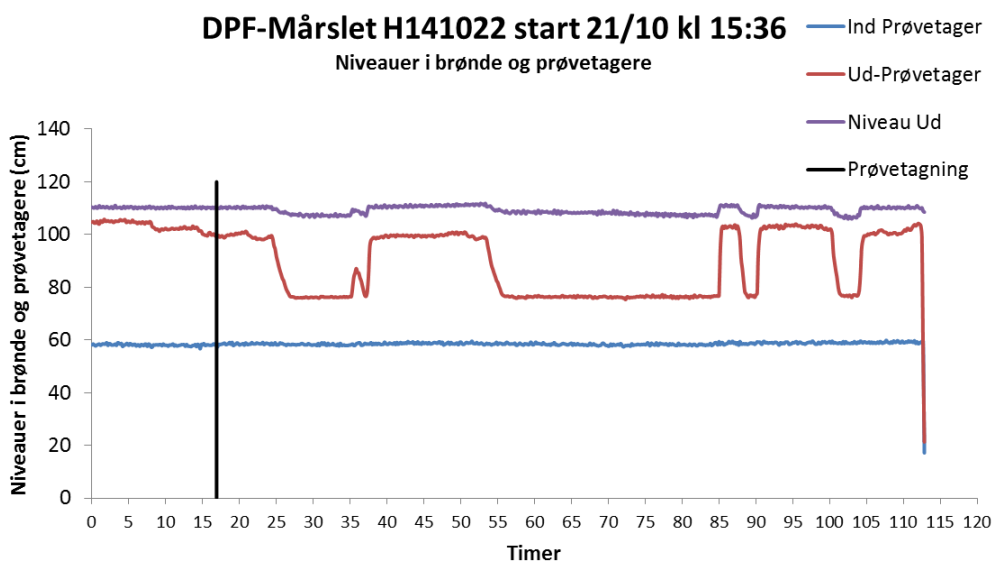
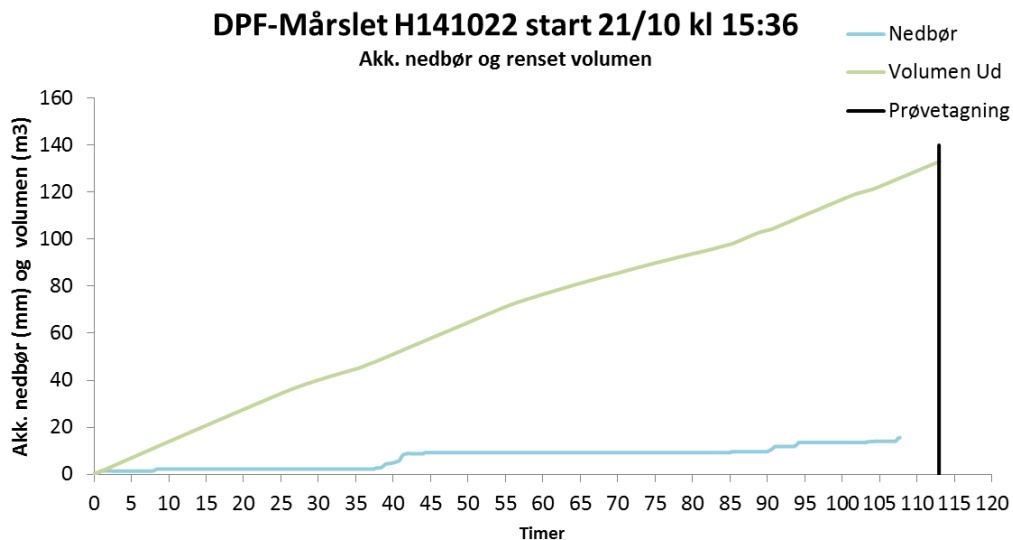


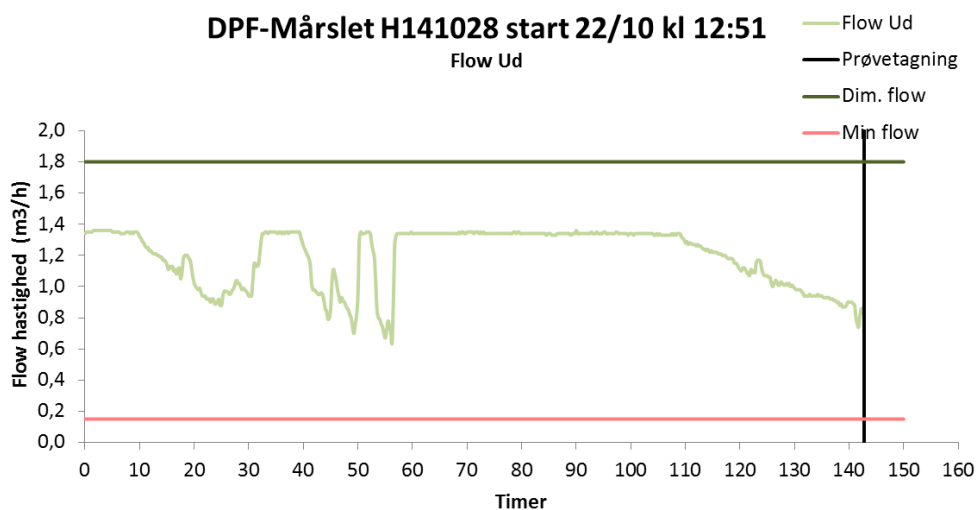
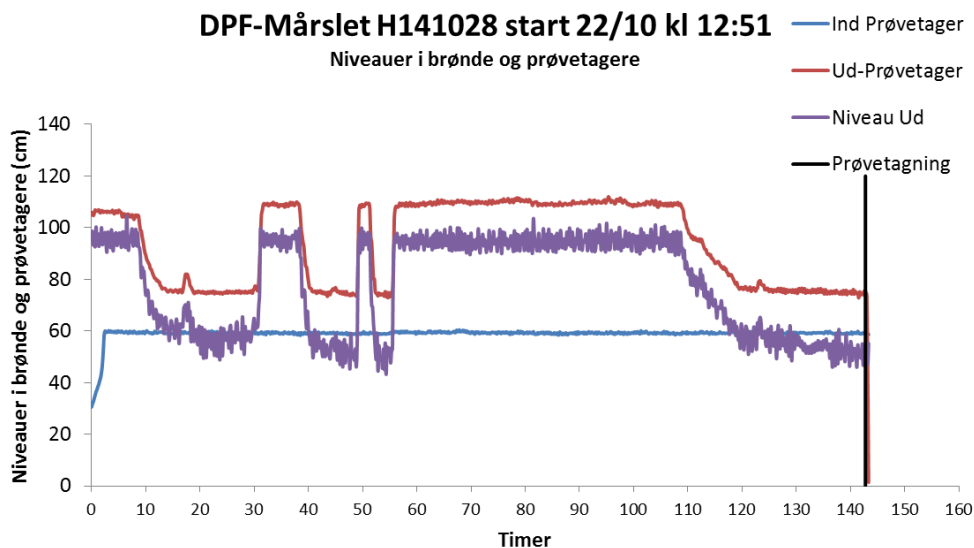
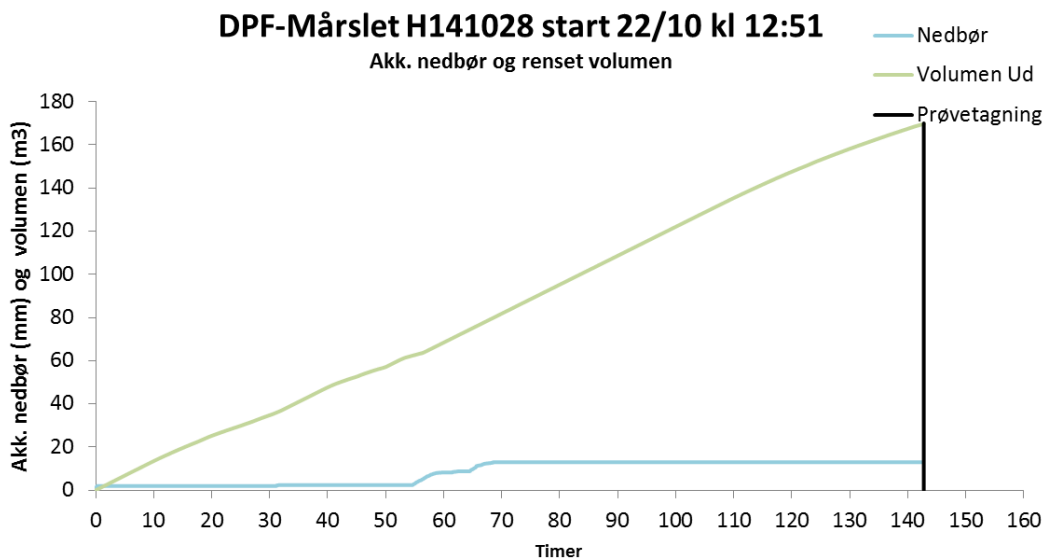


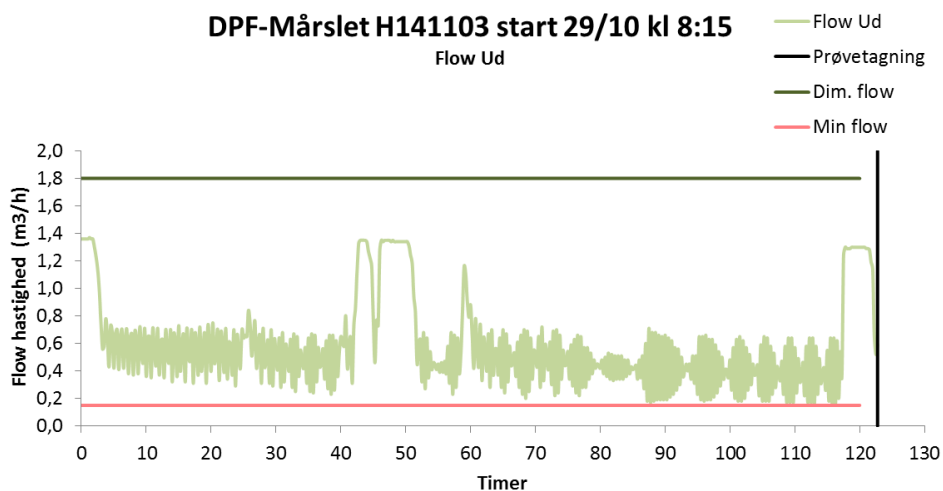
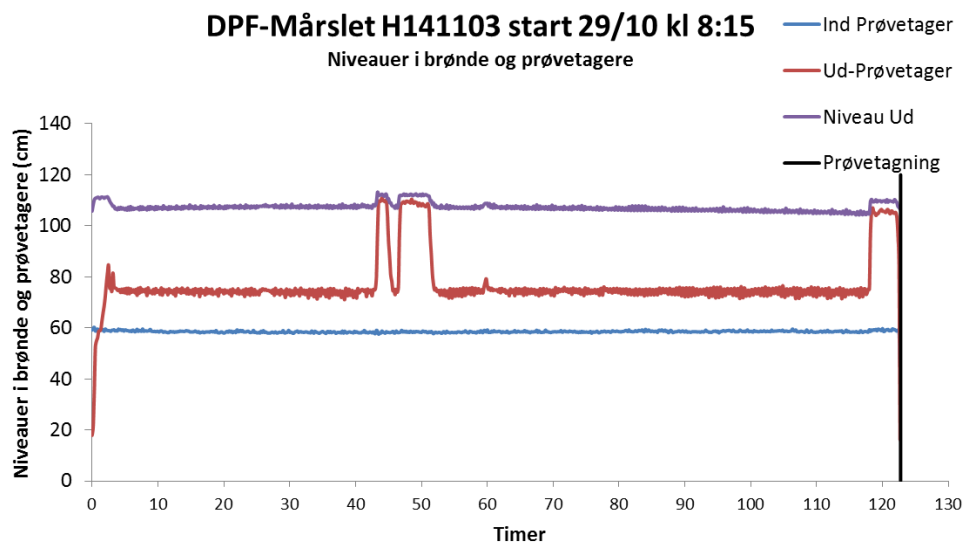
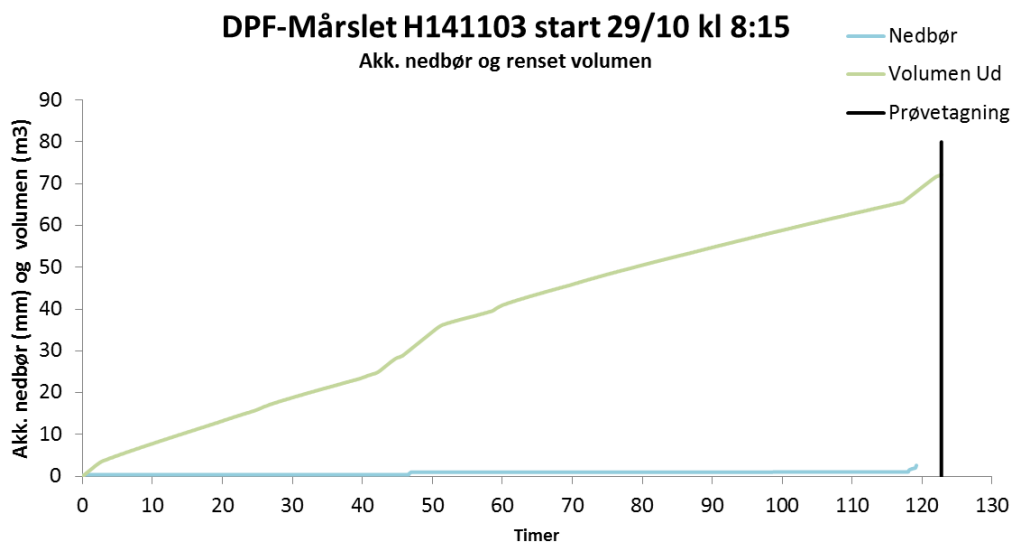


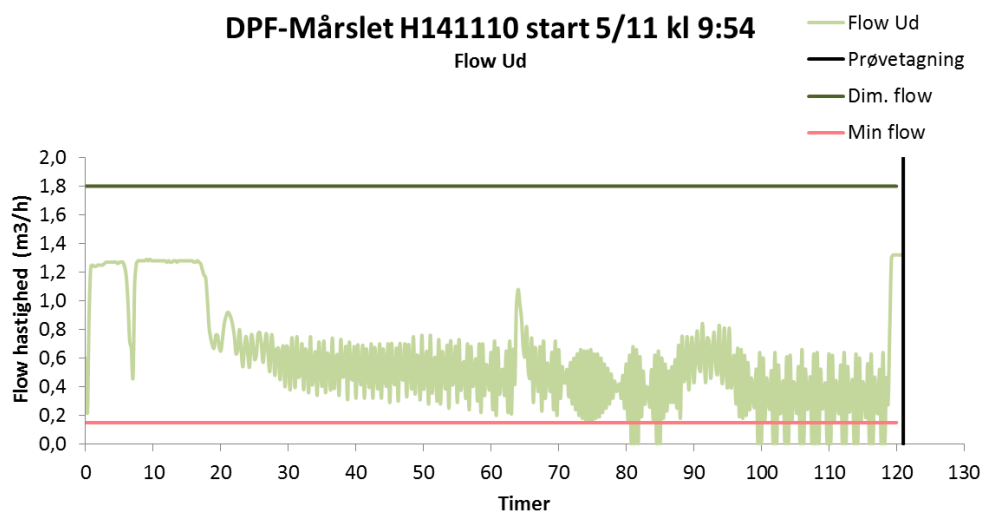
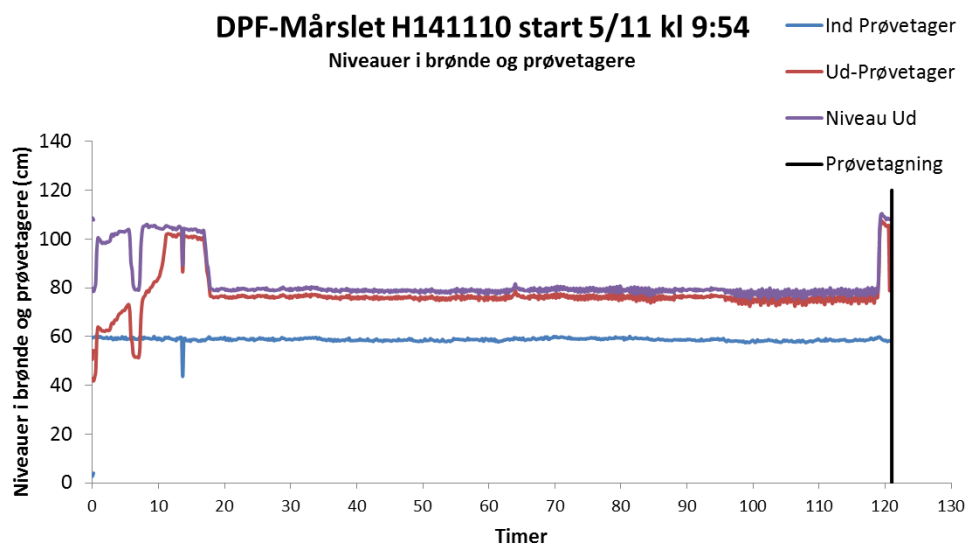
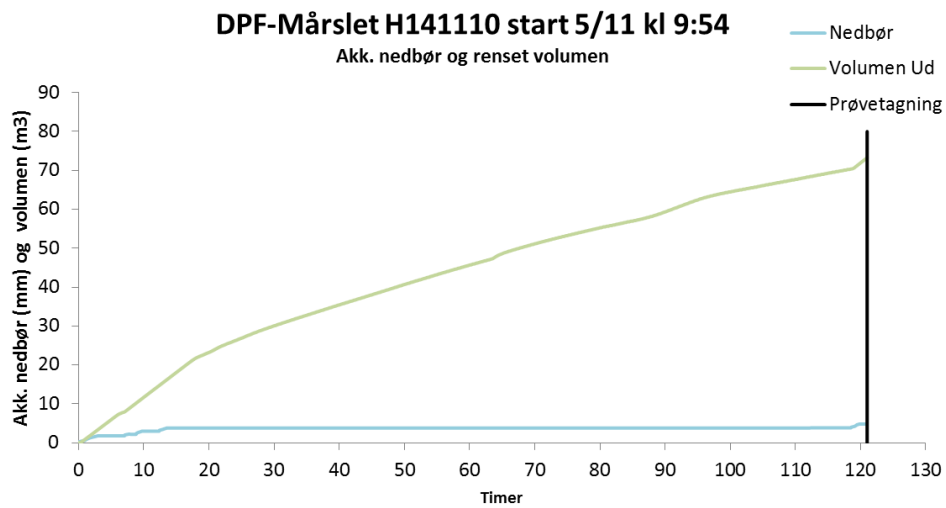


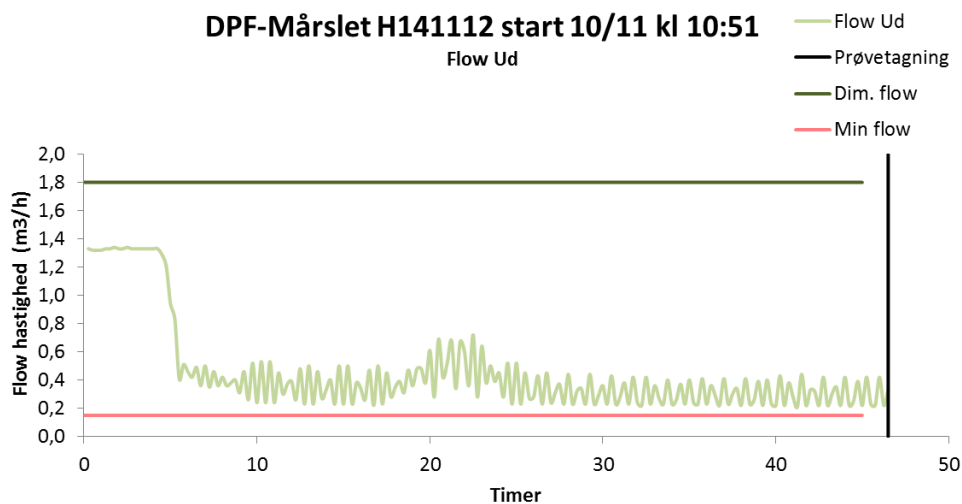
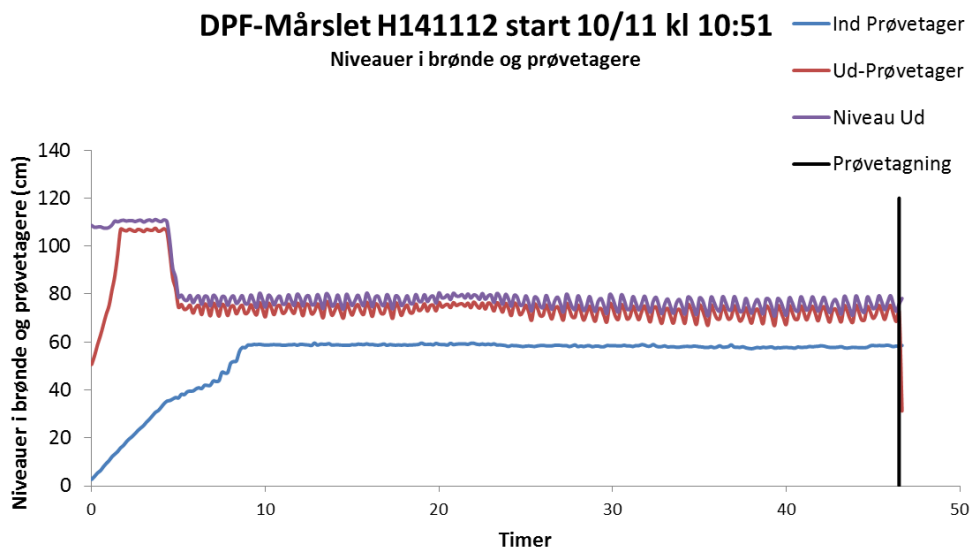
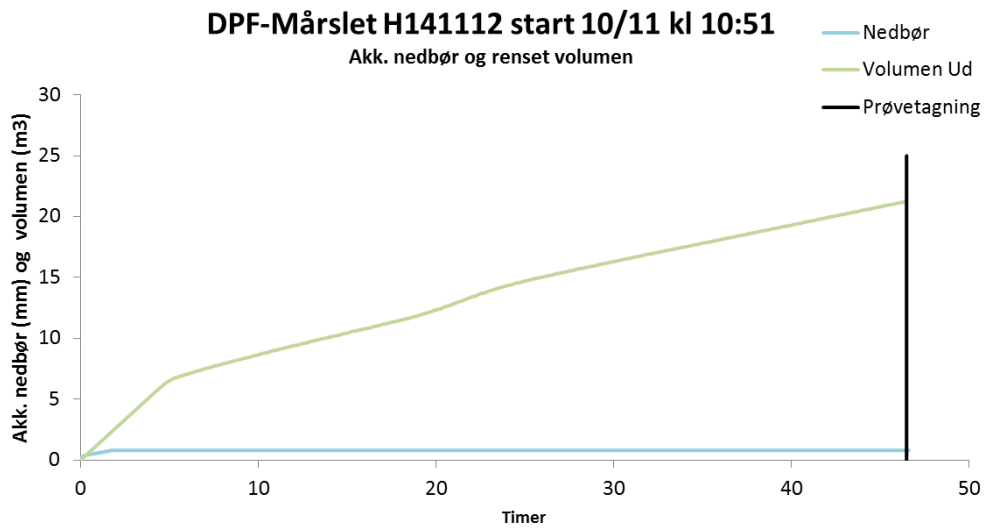


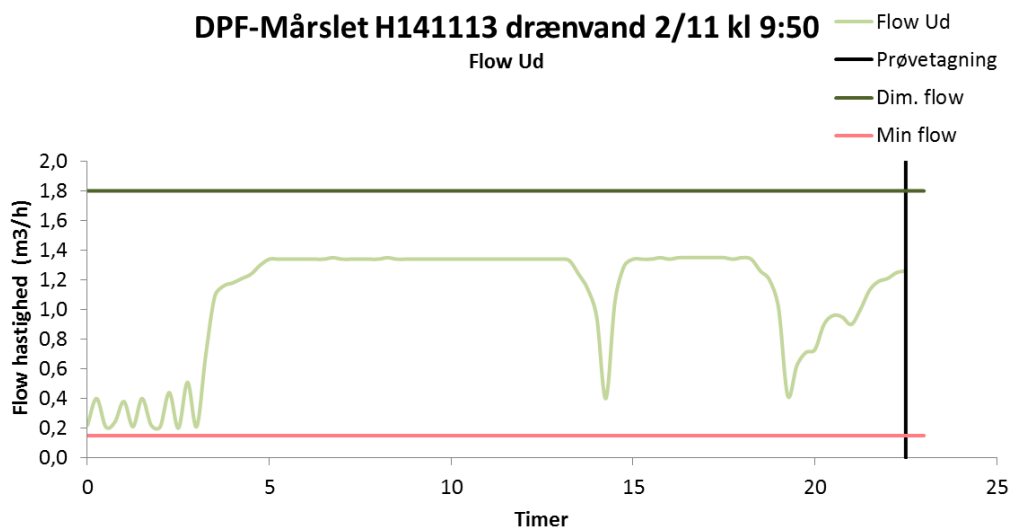
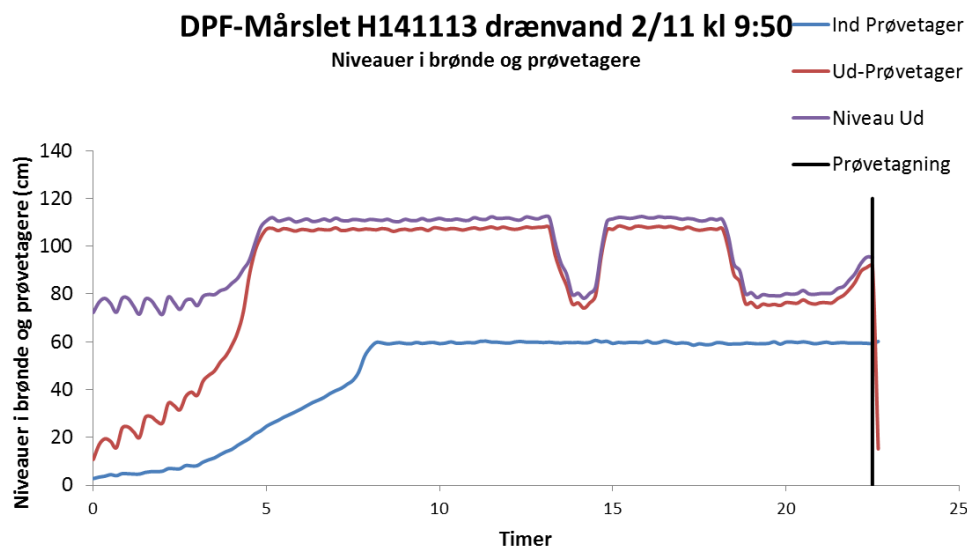
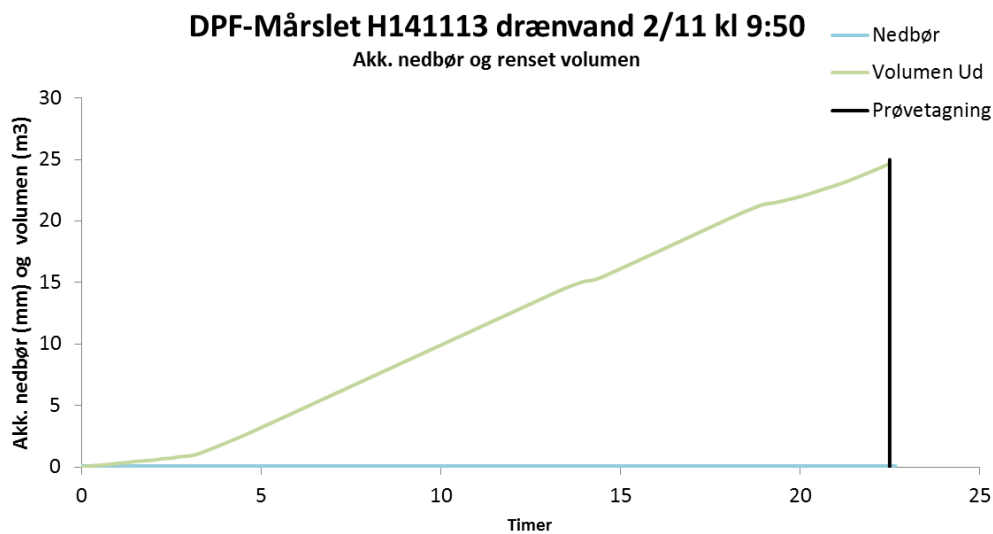












Bilag 2: DPF-Krogebjerg, Nedbør og hydraulik

Formålet med dette bilag er at give en hydraulisk karakterisering af forsøg med DPF-Krogebjerg. For en enkelt hændelse, hændelse 1 er nedbør og fyldningsforløb vist grafisk, mens øvrige data er vist i tabel.

Indsamlede hændelser og flow gennem DPF-udløb

Ved DPF-DPF-Krogebjerg blev der indsamlet og analyseret 10 hændelser i perioden 7. maj – 13. december 2014. En hændelses varighed er defineret som tidspunktet for første registrerede nedbør til tidspunktet for sidste delprøve i ISCO Ud prøvetager. Sluttidspunktet har således sammenfaldt med tidspunkt for afdræning af hovedfilter eller når ISCO Ud har fyldt den sidste delprøve = 24 delprøver taget. Som det fremgår af Tabel 1 var hændelsernes varighed fra 6,0 til 75,4 timer.

Tabel 1: Hændelsernes varighed. Starttidspunkt er ved første målte nedbør efter klargøring af prøvetagerne. Sluttidspunkt er ved sidste delprøve i ISCO Ud. "Kode" er analysefirmaets prøvemærkning (ÅÅMMDD).

	Hændelse	Hændelse start Første nedbør	Hændelse slut ISCO-ud	Hændelse varighed
Hændelse	Kode	Tid	Tid	h
1	140509	07-05-14 05:13	09-05-14 01:33	55,9
2	141001	09-05-14 16:08	12-05-14 06:37	67,5
3	141010	08-08-14 14:00	11-08-14 00:51	75,4
4	141014	29-08-14 16:39	30-08-14 23:05	34,5
5	141020	30-09-14 16:32	01-10-14 03:30	27,5
6	141022	07-10-14 13:12	07-10-14 17:13	14,4
7	141028	13-10-14 10:56	13-10-14 17:46	10,2
8	141103	24-11-14 07:02	24-11-14 11:20	6,0
9	141112	05-12-14 11:39	06-12-14 02:00	7,3
10	141113	12-12-14 07:55	12-12-14 15:21	8,7

Nedbør og flow

I prøvetagningsperioden var der 150 nedbørshændelser med en samlet nedbør på 523 mm. Nedbør i DPF-hændelserne fremgår af Tabel 2. Den samlede nedbør i det tilkoblede areal kan estimeres til 823 m³. I denne beregning er der taget højde for øgning af vejareal i perioden. Registreret volumen i indløbsbrønd er 214 m³ i alt. En del af denne forskel kan forklares med initialtab, samt det faktum at flowmåleren i indløbsbrønden i perioden 23. oktober til 16. november ikke fungerede på grund af for lav elektrisk ledningsevne i vandet, og at små tilløb ikke blev registreret på grund af flow-cut-off for at undgå elektrisk støj og dermed falsk flowmåling i tørvejr. Disse faktorer kan dog ikke forklare hele forskellen og det må konkluderes at reel afstrømning fra tilkoblet vejareal er markant mindre end forventet. En årsag kan være at en del af vandet siver igennem sprækker og utætheder undervejs til indløbsbrønden.

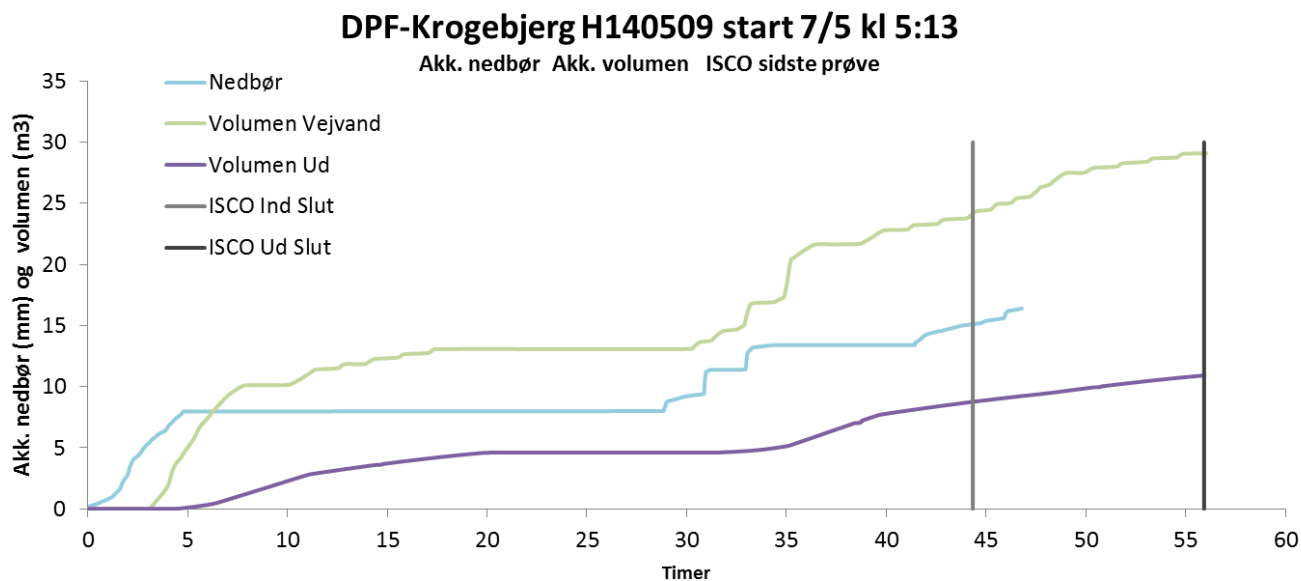
Det registrerede udløbsvolumen fra DPF i den samlede måleperiode er 206 m³. Dette tal svarer nogenlunde til indløbsmængden, men det skal her bemærkes at filteret ikke var 100 % tæt og at den lækede vandmængde sandsynligvis modsvarer af det ikke registrerede indløb ved lave flow. Flow i indløb til DPF-forfilter er indstillet til 1,8 m³/h og blev kontrolleret flere gange i forsøgsperioden. Det ses i tabel 2, at maks. flow gennem udløb er væsentligt lavere i alle hændelse, hvilket dels skyldes at filteret ikke er fuldtløbende, dels ovennævnte lækage.

Tabel 2. Karakterisering af Nedbør og flow gennem DPF-Udløb. Tørvejr er registreret som antal døgn med under 1 mm samlet nedbør forud for hændelsen. Uge nedbør er akkumuleret nedbør syv dage forud for hændelsen. Akk. Nedbør er samlet dybde nedbør i hændelsen og Maksimum 10 min intensitet er den maksimale intensitet observeret i et 10 min interval. Udløb viser det samlede volumen af vand gennem DPF i hændelsen og det maksimale flow.

Hændelse	Nedbør				Udløb	
	Tør periode	Uge nedbør	Akk. nedbør	Maksimum 10 min intensitet	Volumen	Max flow
	døgn til <1 mm	mm før start	mm	mm/minut	m ³	m ³ /h
1	12,7	0,0	16,4	0,183	10,4	0,57
2	0,0	17,9	12,8	0,106	8,5	0,41
3	4,1	30,4	19,8	0,380	9,9	1,00
4	6,5	5,2	10,9	0,182	8,0	0,88
5	5,6	7,0	9,0	0,029	4,9	ingen data
6	6,1	9,2	8,6	0,100	4,3	1,03
7	1,2	11,2	16,1	0,048	4,3	1,25
8	1,2	8,2	6,2	0,085	1,8	0,97
9	11,1	0,0	3,6	0,045	0,9	0,33
10	1,8	14,0	12,6	0,075	2,4	1,03

Karakterisering af hændelse 1

Nedbør og flow er analyseret for hændelse 1 og vist på figur 1. Det ses hvorledes afstrømning fra vej er forsinket i forhold til nedbør, og at flow gennem udløb fra DPF forsinkes markant i forhold til afstrømning fra vej. Det ses at der i hændelsen er flow af vejvand selv om der ikke er nedbør. Dette flow skyldes tilbageløb af vand fra DPF-forfilter når pumpen stopper. Tilbageløbet går fra indløbsbrønd BR03 baglæns gennem flowmåleren til Ø300 rørledning, og dette bliver målt igen når pumpen starter og pumper vandet frem til DPF-forfilter igen. Mellem time 10 og time 17 var der 5 tilbageløb + genstart af pumpe før tilstrækkeligt med vand er løbet til DPF-hovedfilter i forhold til at undgå genstart af pumpe. Dette problem blev løst den 10/6-14 ved etablering af et forhøjet indløb til DPF-forfilter (figur 2). Dermed er der ikke tilbageløb fra og med hændelse 3.



Figur 1. Hydraulisk karakterisering af hændelse 1 (140509). Tv: Graf over akkumuleret nedbør samt akkumuleret flow af vejvand og gennem DPF-udløb. Tidspunkt for sidste delprøve i ISCO Ind og ISCO Ud er vist med lodrette streger.



Figur 2. Forhøjet indløb i form af Ø110 rør blev monteret 10/6 for at forhindre tilbageløb af vand fra DPF-forfilter, når pumpe i BR03 stopper.

Fyldning af ISCO-prøvetagere

Analyse af prøvetagernes fyldningsforløb i ISCO Ind (vejvand) og ISCO Ud (renset vand efter DPF) Udløb er vigtig i forhold til vurdering af, hvor repræsentative prøverne er i forhold til såvel afstrømningen fra vej og strømning gennem DPF. Det ideelle er at ISCO ikke er fyldt dvs mindre end 24 delprøver og at der er nok delprøver til at analyserne kan gennemføres.

Vandvolumen pr delprøve kan indstilles ved programmering af Telemetri-modulerne og blev tilpasset til observerede flow undervejs. Det ses at prøvetagerne blev fyldt i ca 1/3 af hændelserne. I de sidste tre hændelser blev prøvetagningsmetode ændret fra flowproportional til tidsproportional – hvert 10. minut, fordi der efter den 23. oktober var den nævnte en periode med manglende måling af flow som følge af for lav ledningsevne i vandet.

Hændelse	Hændelse start	Ind Prøvetager			Ud Prøvetager		
	Første nedbør	Første delprøve	Sidste delprøve	Delprøver	Første delprøve	Sidste delprøve	Delprøver
Hændelse	Tid	Tid	Tid	stk	Tid	Tid	stk
1	07-05-14 05:13	07-05-14 08:54	09-05-14 01:33	24	07-05-14 11:40	09-05-14 13:08	22
2	09-05-14 16:08	09-05-14 16:56	12-05-14 06:37	22	09-05-14 18:42	12-05-14 11:35	18
3	08-08-14 14:00	08-08-14 15:39	11-08-14 00:51	10	09-08-14 15:36	11-08-14 17:26	22
4	29-08-14 16:39	29-08-14 16:53	30-08-14 23:05	10	29-08-14 18:34	31-08-14 03:11	17
5	30-09-14 16:32	30-09-14 17:07	01-10-14 03:30	6	30-09-14 18:30	01-10-14 20:04	13
6	07-10-14 13:12	07-10-14 14:04	07-10-14 17:13	9	07-10-14 18:19	08-10-14 03:34	10
7	13-10-14 10:56	12-10-14 11:40	13-10-14 17:46	12	09-10-14 10:35	13-10-14 21:05	9
8	24-11-14 07:02	24-11-14 07:30	24-11-14 11:20	24	24-11-14 09:10	24-11-14 13:00	24
9	05-12-14 11:39	05-12-14 13:20	06-12-14 02:00	16	05-12-14 15:09	05-12-14 18:59	24
10	12-12-14 07:55	12-12-14 08:51	12-12-14 15:21	24	12-12-14 12:50	12-12-14 16:39	24

Akkumulering af sediment

Teoretisk beregning af prøvetagningsperiodens akkumuleret sediment i DPF baseret på gennemsnitlige koncentrationer af suspenderet stof (SS) i indløb og udløb :

$$206000 \text{ L} * (24-6,9)\text{mg SS/L} \approx 3,5 \text{ kg sediment}$$

Akkumuleret flow er baseret på flowmåling i udløb fra DPF. Det reelle flow gennem indløb til DPF-forfilter er betydeligt højere fordi der sker et vist vandtab fra hovedfilteret ud i den omkringliggende jord, på grund af utætheder. Dermed må akkumulering af sediment forventes at være væsentligt højere end i denne beregning.