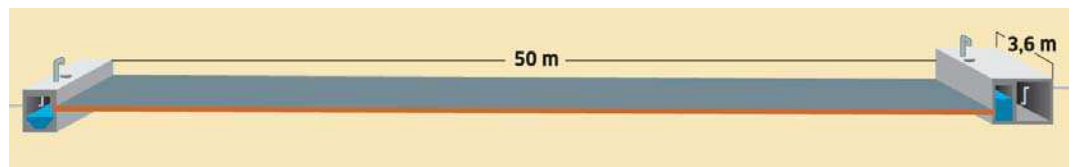


Ny banebrydende teknik til rensning af regnvand

Dobbeltporøse filtrering (DPF) er en ny teknologi til vandrensning, målrettet samtidig fjernelse af finpartikulært materiale og opløste forureninger. DPF er velegnet til vand med en bred og variabel forureningsprofil og forventes anvendt til rensning af byernes regnafstrømning, hvor formålet kan være beskyttelse af recipient eller rekreativ brug af det rensede vand.

/ Af Marina Bergen Jensen,
Skov & Landskab, KU-LIFE

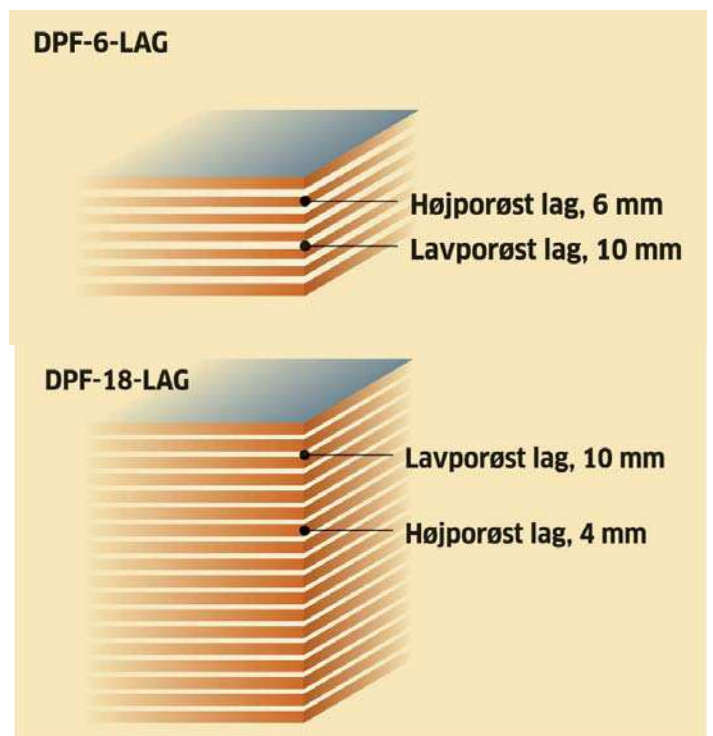
Et dobbeltporøst filter er et filter med to porøsiteter – en høj og en lav. Vandet strømmer frit i det højporøse lag (strømningslaget) og afsætter undervejs sit indhold af forurening til det underliggende lavporøse lag (fangstlaget). En enkelt dobbeltporøs enhed består således af netop ét højporøst og ét lavporøst lag.



Figur 1: Principskitse af DPF-pilotanlæg i Ørestad, den ene af 2 versioner. Vejvandet modtages i indløbsbygværket i venstre side og løber i tynde, parallelle højporøse lag de 50 m til udløbsbygværket, hvorfra det pumpes til recipienten. Indskudt mellem de højporøse lag ligger de lavporøse lag, der akkumulerer forureningen.

Det lavporøse lag fyldes med et velvalgt filtermateriale, der effektivt kan tilbageholde de uønskede opløste stoffer. Vandet drives gennem filteret af tyngdekraften. Når det lavporøse lag er fyldt med vand, foregår strømmingen altovervejende i det højporøse lag.

Vandet renses ved to processer, sedimentation og adsorption: Partikler sedimenterer (bundfælder) fra det højporøse lag ned i det underliggende lavporøse lag og lejrer sig mellem filtermaterialet, der derfor skal have en vis hulrumskapacitet. Opløste forureninger adsorberer (hæfter sig) til overfladen af filtermaterialet. Graden af rensning vokser med filterets længde; jo længere filter, desto renere vand. Efter hver nedbørshændelse dræner filteret af. Det luft, der dermed trækkes ind i filteret, fremmer biologisk omsætning af akkumuleret organisk materiale.



Figur 2: Det dobbeltporøse filters hydrauliske kapacitet justeres ved at placere flere dobbeltporøse enheder oven på hinanden. Vandet, der skal renses, strømmer i de højporøse lag, mens forureningen tilbageholdes i de lavporøse lag.



DPF-18 under opbygning i pilotanlægget i Ørestad. Øverst ses et lavporøst lag, bestående af kalk indsyet mellem to geotextiler. De højporøse lag, der er etableret vha. et hvælvet nylonnet, anes som sorte linjer mellem kalkmåtterne. For hver 10 m er der indlagt en tynd slange (ses som en hvid streg) i to udvalgte højporøse lag, med det formål at kunne udtage prøver af vandet under dets passage fra indløb til udløb (se Foto 1).

Et dobbeltporøst filter vil typisk bestå af flere dobbeltporøse enheder over hinanden. Dermed fremstår det samlede filter som horisontale højporøse lag indskudt i en matrix af lavporøst materiale (Figur 1 og 2).

Et filter, der ikke stopper til

Det "geniale" ved DPF er, at partikler kun akkumuleres i de lavporøse lag. Dermed friholdes strømningsvejene skabt af de højporøse lag, og den initiale, høje hydrauliske kapacitet opretholdes gennem hele filterets levetid. Man står dermed med et filter, der ikke stopper til, og hvor tilbageskylning eller lignende løbende drift er overflødig.

DPF har derudover følgende fordele:

- Samtidig fjernelse af både partikelbåren forurening og opløst forurening.
- Lavt energiforbrug. Pumpe vil dog ofte være nødvendig for at føre det rensede vand videre i systemet.
- Ingen brug af kemikalier. Der til sættes hverken fædningmidler, flokkuleringsmidler eller andet.
- Hydraulisk kapacitet kan øges

ved at stable flere dobbeltporøse enheder oven på hinanden.

- Kan placeres under jorden, indbygges i byinventar eller på anden vis tillade flersidig brug af det beslaglagte areal.
 - Ingen risiko for at dyr eller mennesker kommer i kontakt med den akkumulerede forurening.
 - Virker fra første sekund, når vandet ankommer, og rensegraden er uafhængig af årstid (rensere ligegodt sommer som vinter).
- Københavns Universitet udvikler

ideen i samarbejde med Rambøll, Københavns Energi, By & Havn, Københavns Kommune og Realdata. Ideen er IPR-beskyttet af universitetet.

Afprøvning i Ørestad

Siden 2006 har DPF-teknologien været under afprøvning i et pilotanlæg i Ørestad, placeret underjordsk under plænen i Byparken. Pilotanlægget behandler vand fra et areal på 1,3 reduceret hektar bestående af veje og parkeringspladser.



Visuelt proof of concept. Prøver af vejvand udtaget før, under og efter rensning i DPF-pilotanlægget i Ørestad. Når regnvand strømmer af fra trafikerede overflader har det en dårlig kvalitet. Flasken længst til venstre indeholder vejvand udtaget under tilstrømning til DPF-indløbsbygværket, dvs. efter passage af olieudskiller og sandfang. Vandet i de 6 midterflasker er udtaget med en tynd sugeslange (se foto) i stigende afstand fra indløbet; 1 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, og 49 m. Flasken længst til højre er det færdigtrensede vand, klar til forsyning af Ørestads kanaler. Kemiske analyser bekræfter en samtidig markant reduktion i den 'usynlige' forurening (Tabel 1).

Det afstrømmende regn, der dermed kan karakteriseres som vejvand, passerer olieudskiller og sandfang, før det løber til pilotanlæggets indløbsbygværk. I pilotanlægget afprøves to versioner af det dobbeltporøse filter: "DPF-18", der består af 18 dobbeltporøse enheder, og "DPF-6", der består af 6 dobbeltporøse enheder. Begge versioner er 3,6 m brede og 50 m lange.

I DPF-6 har de højporøse lag en spaltehøjde på 6 mm, mens den kun er 4 mm i DPF-18. De lavporøse lag er 10 mm høje i både DPF-6 og DPF-18. Den samlede tykkelse af DPF-6 er dermed 9,6 cm, mens DPF-18 er 25,2 cm tykt. Begge versioner har omtrent samme hydrauliske kapacitet, nemlig $9 \text{ m}^3/\text{t}$, idet de tre gange så mange lag i DPF-18 kompenserer for den lavere spaltehøjde af de højporøse lag i denne version.

Som filtermateriale i de lavporøse lag benyttes kalkkorn fra Faxe kalkbrud med diameter 1-3 mm.. Kalken er en hård bryozokalk af samme type, som anvendes ved iltning af grundvand på vandværker. Kalken pakkes med en hulrumsprocent på ca. 50. Dvs. at ca. halvde-



DPF-pilotanlægget i Ørestad. Bag indløbsbygværket ses de to test-filtre, DPF-6 og DPF-18, begge indpakket i en PE-membran. Bagerst skimtes udløbsbygværket. Efter opfyldning med grus og muld retableres plænen.

len af volumenet i de lavporøse lag står til rådighed for akkumulering af partikler. Da vejvand har pH omkring 7, opløses kalken ikke.

DPF-6 er billigere at anlægge end DPF-18, der til gengæld har et større volumen for akkumulering og dermed en længere levetid og desuden resulterer i en bedre rensning. Den ekstra rensning i DPF-18 skyldes to forhold: Dels har de højporøse lag en mindre spaltehøjde, så partiklerne skal falde en kortere afstand før de havner i de lavporøse fangstlag. Dels er vandets opholdstid tre gange længere. Filtrene forventes at have en levetid på 15 – 20 år.

First proof of concept

Pilotanlæggets renssevne er dokumenteret ved analyse af 25 regnhændelser opsamlet januar – juli 2007 (se tabel 1). Den tilhørende arbejdsrapport kan downloades fra http://www.sl.life.ku.dk/upload/basis_rapport_event_samlet.pdf

Udløbskoncentrationer af suspenderet stof, zink, bly, og fosfor fra både DPF-6 og DPF-18 overholder kravene fra Københavns Kommune. For kobber og krom ligger de gennemsnitlige koncentrationer fra DPF-6 lidt over kravene, mens de i DPF-18 tangerer kravene. Der køres i øjeblikket forsøg med coat-

ning af kalkkornene i DPF-6 med en belægning af humus og jern, der forventes at øge tilbageholdelsen af de vanskelige tungmetaller kobber og krom samt sikre fjernelsen af organiske, miljøfremmede forbindelser, bl.a. PAH'er.

Perspektiver for DPF

I Ørestad er ambitionen at forsyne bydelens 10 kilometer kanalsystem

med såvel tagvand som rensset vejvand. Hvis DPF-teknologien - udover at levere rent vand - kan opnå en fornuftig anlægs- og driftsøkonomi, er det tanken, at der skal opføres to fuldskala DPF-anlæg i Ørestad, ét i Ørestad Syd og ét i Ørestad City, til rensning af vejvand fra de to oplande. Der er afsat 20 mio. kr. til formålet i Københavns Spildevandsplan 2008.

På baggrund af de lovende resultater har Rambøll og Skov & Landskab med held ansøgt Miljøministeriets pulje til Miljøeffektiv Teknologi om støtte til udvikling af en DPF-prototype. Københavns Energi og By & Havn bidrager fortsat. Så her i 2009 gennemføres et udviklingsprojekt, hvor slutmålet er en DPF-prototype, der kan fremstilles industrielt. Designet skal optimeres, så filtreringsprocessen understøttes bedst muligt, og anlæg og drift kan gøres effektivt, både teknisk og økonomisk.

Parallelt med produktudviklingen etableres en innovationsgruppe, bestående af potentielle interessenter, der skal bistå med krav og ideer til, hvor dobbeltporøse filtre kan være aktuelle, og hvordan de kan indpasses i den eksisterende afvandingstruktur.

Vejen til at kunne tilbyde dobbeltporøs filtrering til det danske marked forventes herefter at være kort.

Deltagelse

Hvis din organisation er interesseret i at deltage i innovationsgruppen omkring den aktuelle DPF-produktmodning, så kontakt artiklens forfatter (mbj@life.ku.dk) eller projektchef Frank Hallig, Rambøll (frh@ramboll.dk).

		SS	Zink	Kobber	Krom	Bly	Fosfor
		mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
	<i>Krav fra KK</i>	25,0	110,0	12,0	10,0	3,2	100,0
Indløb	Gns.	123	105	26	21	9	180
	Min-max	23-393	31-255	11-61	8-83	2-28	70-658
	Std.afv. (n)	88,3 (25)	60,8 (25)	12,1 (25)	16,9 (25)	6,1 (25)	117,8 (25)
DPF-6	Gns.	10,5	32,4	13,4	12,2	1,1	47,9
	Min-max	1,4-25,8	10,6-75,3	7,8-22,6	3,3-38,5	0,2-2,9	19,2-100,8
	Std.afv. (n)	6,2 (23)	16,1 (23)	3,7 (23)	10,3 (23)	0,7 (23)	18,1 (23)
	% fjernet	91,5	69,2	49,2	42,0	87,9	73,4
DPF-18	Gns.	1,4	13,4	10,3	10,7	0,2	39,6
	Min-max	0,4-4,4	2,4-30,3	5,0-26,5	2,8-38,4	0,1-0,4	16,0-79,1
	Std.afv. (n)	0,8 (24)	7,6 (24)	4,8 (24)	10,0 (24)	0,1 (24)	13,7 (24)
	% fjernet	98,9	87,3	60,9	49,1	97,8	78,1

Tabel 1: Test af dobbeltporøs filtrering. Måling af forurening i vejvand før og efter passage af filteret. 25 regnhændelser, fordelt januar – juli 2007, opsamlet flowproportionalt. SS = suspenderet stof. Zink, kobber, krom, bly og fosfor er totalmængder. Gns = koncentrationsgennemsnit for de 25 hændelser. KK er Københavns Kommune. Min-max = laveste og højeste koncentration blandt de 25 hændelser. Std.afv = Standardafvigelse. (n) = antal hændelser gennemsnit er baseret på (det lykkedes ikke for alle 25 hændelser at tage prøver af begge udløb). % fjernet = gennemsnitlig udløbskoncentration i procent af gennemsnitlig indløbskoncentration.