

ROCKWOOL/LAPINUS

ANVENDELSE AF ROCKFLOW TIL NEDSIVNING, MAGASINERING OG RENSNING AF REGNVAND





ANVENDELSE AF ROCKFLOW TIL NEDSIVNING, MAGASINERING OG RENSNING AF REGNVAND

ROCKWOOL/LAPINUS

PROJEKTNUMMER.: 3692000035

DATO: 12-04-2021

RÅDGIVER: WSP A/S

PROJEKTLEDER: SØREN GABRIEL

KVALITETSSIKRET AF: THOMAS H. LARSEN

GODKENDT AF: CARSTEN ROSTED PETERSEN

WSP DANMARK A/S

WSP.COM

INDHOLD

1	INDLEDNING	1
2	HVAD ER ROCKFLOW?	2
2.1	Produkter fra Rockflow	2
3	FORUNDERSØGELSER OG VALG AF ANLÆGSTYPE	3
4	MYNDIGHEDSKRAV OG FORUNDERSØGELSER	5
4.1	Sandfang før tilløb til Rockflow og rensning af fordelingskanaler	5
4.2	Nedsivningsanlæg	5
4.3	Forsinkelse før afledning til kloak	5
4.4	Rensning før udledning til recipient	5
4.5	Forsinkelse og rensning før udledning til recipient	6
4.6	Skybrudsmagasinerings	6
5	UDFORMNING AF NEDSIVNINGS-, FORSINKELSES- OG RENSELØSNINGER MED ROCKFLOW	7
5.1	Generelt om opbygning af faskiner, magasiner og filtre i Rockflow	7
5.2	Udformning af tilløb, udluftning og rensebrønde	9
5.3	Nedsivningsanlæg	11
5.4	Forsinkelse før afledning til kloak	11
5.5	Rensning før udledning til recipient	13
5.6	Forsinkelse og rensning før udledning til recipient	13
5.7	Skybrudsmagasinerings	14
6	DIMENSIONERING AF NEDSIVNINGSANLÆG, FORSINKELSES- OG RENSELØSNINGER MED ROCKFLOW .	18
6.1	Dimensionering af nedsivningsanlæg	18
6.1.1	Dimensioneringseksempel for nedsivning	19
6.2	Dimensionering af lokal forsinkelse før afledning til kloak	20

6.2.1	Dimensioneringseksempel for forsinkelse	20
6.3	Dimensionering af renseløsninger	21
6.4	Dimensionering af skybrudsmagasiner	22
6.4.1	Dimensioneringseksempel for skybrudsmagasiner	22
7	DRIFT OG LEVETID	23
8	INSPIRATION OG ANLÆGSEKSEMPLER	24
8.1	Wadi: Heel, Holland	24
8.2	Forsinkelses bassin: Hedemora, Sverige	24
8.3	Vejbede, Odense, Danmark	25
8.4	Filter, Nivå, Danmark	26
9	REFERENCER	27
10	BILAG OM RENSNING: VURDERING AF RENSEEFFEKT I ROCKFLOW FORSINKELSESFASKINER OG ROCKFLOW RENSEFILTRE	28
10.1	Gældende BAT for rensning af regnvand	28
10.2	Renseforsøg med regnvand i Rockflow	29
10.3	Øvrige rensforsøg med Rockflow	32
10.4	Hydraulisk belastning af filtre og magasiner under drift	32
10.5	Renseeffekt i Rockflow under drift	33

1 INDLEDNING

Denne anvisning omhandler nedsivning af regnvand i Rockflow™-faskiner, forsinkelse af regn og skybrud i magasiner af Rockflow™ og rensning af regnvand i anlæg opbygget af Rockflow. Beskrivelserne omfatter ikke nedsivning eller magasinering af spildevand.

I anvisningen dækker begrebet hverdagsregn over en statistisk fem- eller tiårshændelse, som bruges ved dimensionering af anlæggene. Skybrud er i synonym med regnhændelser, der er så intense, at de overskrider de fem- eller tiårshændelser, afløbssystemerne normalt dimensioneres til. Ved dimensionering af anlæg til skybrud skal man præcisere den hændelse, der skal håndteres.

Anvisningen rummer en beskrivelse af, hvordan anlæg til nedsivning, rensning og forsinkelse af regnvand i Rockflowfaskiner kan indpasses i afløbssystemet, opbygges og dimensioneres. I anvisningen indgår eksempler på anvendelse af Rockflow™ til regnvandshåndtering og et bilag, hvor Rockflows anvendelse til rensning af regnvand vurderes og sammenlignes med rensning i våde regnvandsbassiner, der er gældende standard (BAT).

Anvendelse af Rockflow i regnvandshåndtering er en relativt ny teknologi, og eksempler og dokumentation hviler derfor på et datagrundlag, der løbende bliver udviklet. Denne udgave af anvisningen er udarbejdet på baggrund af tilgængelig viden og data i 2020.

Anvisningen er udarbejdet af WSP-Danmark for Lapinus (ROCKWOOL). Anvisningen er baseret på gældende regler og vejledninger for magasinering og nedsivning af regnvand samt på materiale og dokumentation, der er udarbejdet for Rockflow™. WSP har foretaget en faglig vurdering af baggrundsmaterialet men tager ikke ansvar for baggrundsmaterialets kvalitet og de konsekvenser, det måtte have for funktionen af anlæg udført med brug af Rockflow.

2 HVAD ER ROCKFLOW?

Rockflow er et stenuldsmateriale, der har et effektivt porevolumen på 90 procent. Produktet kan bruges til at magasinere regnvand i forbindelse med nedsivnings- eller forsinkelsesanlæg. Regnvandets indhold af partikler og en del af den opløste forurening holdes tilbage i stenulden, og det sker på en måde, så stenuldens evne til at transportere og magasinere vand kun påvirkes marginalt.

Materialet kan skæres til og fyldes efter i forbindelse med etablering eller ved senere projekter, hvor man graver i faskinen eller magasinet. Materialet er formstabilt, nedbrydes ikke og har stor bæreevne. Dette giver stor fleksibilitet, når anlæg med Rockflow skal indpasses under f.eks. fortov eller vej.

Rockflow kan efterlades i jorden, når anlægget tages ud af drift, eller det kan genanvendes.



Figur 1: Rockflow fås som bats, der kan bygges sammen til et magasin. Bats fås både med og uden udfræsning af fordelingskanal

2.1 PRODUKTER FRA ROCKFLOW

Rockflow markedsføres og forhandles via Lapinus, der er et datterselskab af ROCKWOOL.

Produkter fra Rockflow udvikles løbende. En oversigt over produkterne og deres egenskaber findes her: <https://lapinus.showpad.com/share/SNF1Xm0jSUo395Kk9gZIn/0>

3 FORUNDERSØGELSER OG VALG AF ANLÆGSTYPE

Rockflow er et relativt nyt produkt, og de seneste års udvikling har vist, at det kan anvendes på mange forskellige måder til håndtering af regn og skybrud. Der sker en løbende udvikling af metoderne til at håndtere regnvand og klimatilpasse afløbssystemerne, og derfor vil der også blive udviklet nye anvendelser af Rockflow.

Nedenstående tabel sammenfatter de gængse anvendelser af Rockflow til regnvandshåndtering og beskriver anlæggenes funktion, anvendelsesområder, fordele og ulemper. Anlæggenes forskellige funktioner og fordele og ulemper er detaljeret i de følgende kapitler.

	FUNKTION OG ANVENDELSESOMRÅDER	FORDELE OG ULEMPER
Nedsivningsanlæg til regnvand	Rockflow etableres som en nedgravet faskine, hvor det tilførte regnvand magasineres indtil det er sivet ned. Anvendes i private haver eller i større nedsivningsanlæg for tag- og vejvand i forbindelse med byudvikling og klimatilpasning	Optager ikke plads på terræn Kan etableres uden geotekstil Tåler vægtbelastning Fordelingskanal skal kunne spules Levetid afhængig af partikelbelastning og rensning af indløbskanaler
Lokal forsinkelse af regnvand før afledning til kloak	Rockflow etableres som et underjordisk magasin. Anvendes til lokal forsinkelse af tag- og vejvand i forbindelse med byudvikling og klimatilpasning, hvor der er brug for at overholde et fast afløbstal	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Tilløb kan være begrænset af hydraulisk kapacitet Fordelingskanalen skal kunne inspiceres og spules Levetid afhængig af partikelbelastning og rensning af indløbskanaler
Forsinkelse og rensning af regnvand før udledning til recipient	Rockflow forsinker og renser regnvandet, så det levet op til udledningskrav. Anvendes som alternativ til regnvandsbassiner til forsinkelse og rensning af separatkloakeret regnvand før afledning til recipient	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Fordelingskanalen skal kunne spules Levetid afhængig af partikelbelastning og rensning af indløbskanaler
Rensning af regnvand før udledning til recipient	Rockflow fungerer som rent filter, der renser regnvandet, så det lever op til udledningskrav. Anvendes til rensning af regnvand, hvor rensbassiner og filterløsninger i terræn ikke kan indpasses.	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Tilløb er begrænset af hydraulisk kapacitet en skal kunne spules Levetid afhængig af partikelbelastning og rensning af indløbskanaler

Magasinering af skybrud	Rockflow fungerer som magasin for skybrudsvand, når afløbssystemet er overbelastet. Anvendes til skybrudsmagasinering i områder, hvor magasiner ikke kan indpasses på terræn	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Tilløb er begrænset af hydraulisk kapacitet Fordelingskanalen skal kunne spules Levetid afhængig af partikelbelastning og rensning af indløbskanaler
-------------------------	--	---

I eksempelsamlingen i kapitel 8 findes eksempler på anlæg inden for de forskellige anvendelsesområder.

4 MYNDIGHEDSKRAV OG FORUNDERSØGELSER

Arbejde på kloakken må kun gennemføres af autoriserede kloakmestre. Man må dog selv etablere nedsivningsanlæg på egen grund, forudsat at en autoriseret kloakmester foretager en eventuel afpropning af den oprindelige kloak.

4.1 SANDFANG FØR TILLØB TIL ROCKFLOW OG RENSNING AF FORDELINGSKANALER

For at undgå tilstopning af stenuldsmatricen skal det vand, der tilføres faskiner, filtre og magasiner af Rockflow ledes ind i anlægget gennem en sandfangsbrønd. Det materiale, der aflejres i Rockflow vil primært samles i fordelingskanalerne. Derfor skal der etableres brønde, så kanalerne kan inspiceres og spules.

4.2 NEDSIVNINGSANLÆG

Forud for etablering af nedsivningsanlæg skal der gennemføres en række forundersøgelser. Det gælder nedsivningsevne, afstand til recipienter, boringer og grundvandsspejl, afstand til bygninger, recipient og skel, forurenede jord mm. Før arbejdet påbegyndes, skal man søge nedsivningstilladelse hos Kommunen. Derudover kan man ansøge Forsyningen om tilbagebetaling af tilslutningsbidrag eller reduceret tilslutningsbidrag for de arealer, der er afkoblet fra kloakken og ledt til nedsivningsanlægget.

For en uddybning af myndighedskrav og forundersøgelser i forbindelse med etablering af nedsivningsanlæg henvises til Rørcenteranvisning 016 /1/ og Rørcenteranvisning 026 /2/.

4.3 FORSINKELSE FØR AFLEDNING TIL KLOAK

Behovet for forsinkelse før afledning til kloak opstår, hvis man befæster mere, end forudsat i spildevandsplanen, eller hvis man overskrider det afløbstal, der fremgår af tilslutningstilladelsen til kloakken. Den nødvendige forsinkelse skal dokumenteres over for Kommunen.

4.4 RENSNING FØR UDLEDNING TIL RECIPIENT

Der vil normalt blive stillet krav om rensning af regnvand ved BAT (Best Available Technology) før afledning til recipient. Det er kun våde regnvandsbassiner, der er accepteret som BAT, men på baggrund af bilag 1 vurderes, at rensning gennem et Rockflowfilter sikrer en rensning svarende til BAT. Indtil rensning gennem Rockflow accepteres som BAT, vil det kræve særskilt tilladelse fra Kommunen at benytte Rockflow som alternativ til våde regnvandsbassiner.

4.5 FORSINKELSE OG RENSNING FØR UDLEDNING TIL RECIPIENT

Ved udledning til recipient skal både renseeffekt og forsinkelse dokumenteres. Forsinkelsen skal sikre, at afløbstallet i udledningstilladelsen overholdes. Dette dokumenteres med beregninger jf. kapitel 6.

4.6 SKYBRUDSMAGASINERING

Skybrudsmagasinerings omfatter magasinering af nedbør, der kommer så intenst, at den ikke kan håndteres i afløbssystemet. Volumen til skybrudsmagasinerings kan indbygges som et ekstra volumen i anlæg til forsinkelse af hverdagsregn eller som selvstændige magasiner, der kun belastes hydraulisk under skybrud.

5 UDFORMNING AF NEDSIVNINGS-, FORSINKELSES- OG RENSELØSNINGER MED ROCKFLOW

Nedenstående beskrivelser omfatter anlæg til nedsivning, forsinkelse og rensning af hverdagsregn og magasinering af skybrud.

I kapitel 6 findes beskrivelser af og eksempler på metoder til dimensionering af nedsivnings- og magasineringsløsninger med Rockflow, mens kapitel 8 rummer eksempler på udformning af anlæg.

Beskrivelse af, hvordan faskiner og magasiner anlægges med Rockflow kan hentes via hjemmesiden www.lapinus.com

5.1 GENERELT OM OPBYGNING AF FASKINER, MAGASINER OG FILTRE I ROCKFLOW

Før vandet ledes til faskiner, magasiner eller rensefiltre af Rockflow, skal vandet passere en sandfangsbrønd. I både faskiner, magasiner og rensefiltre af Rockflow tilføres vandet via en fordelingskanal i stenuddselementerne. Disse indløb er placeret i bunden for alle løsninger på nær filterløsningen, hvor indløbet sker i toppen. Fordelingskanalerne er ø110 mm og elementernes mål er 120x100x15 eller 120x50x15cm (se Figur 2). Anvendes Rockflow i magasiner eller renseløsninger, skal der placeres en tilsvarende fordelingskanal som afløb i bunden af anlægget.

Fordelingskanalerne vil under almindelig brug af anlægget med tiden blive fyldt af aflejret SS som en del af rensefunktionen i et filteranlæg. Aflejringerne vil gradvist nedsætte den hydrauliske kapacitet af anlægget. Anlægget skal derfor udformes, så fordelingskanalerne kan spules. Dette kræver, at der etableres en rensebrønd for enden af fordelingskanalerne.



Figur 2: Rockflow fås med dimensioner på 120x100x15 eller 120x50x15 som vist på billedet. Fordelingskanalen er udskåret, så den ligger i samlingen mellem to bats. Til brug for filtre skal der være en fordelingskanal i toppen af anlægget og en tilsvarende fordelingskanal i bunden til at tømme anlægget.

Den hydrauliske belastning af rockflowelementerne er begrænset af fordelingskanalens kapacitet og af, at vandet skal kunne spredes i rockflowelementet, og dette er med til at sætte rammerne for udformning og dimensionering af faskiner, magasiner og filtre af Rockflow. På baggrund af /6/ gælder følgende begrænsninger for Rockflow

- Fordelingskanalen, der leder vandet ind i faskinen, har under forudsætning af et fald på 10 promille en kapacitet på 5 l/s målt som strømning på langs gennem kanalen. Idet det forudsættes, at kanalerne skal kunne lede en 10-minutters maksimal toårshændelse, svarende til 140 l/s ha, er kapaciteten i Rockflowelementer begrænset til 350 m² opland pr. fordelingskanal.
- Rockflowelementernes hydrauliske ledningsevne (udstrømningen gennem fordelingskanalens vægge og ud i battet) sætter grænsen for, hvor hurtigt vandet kan ledes ind i anlægget og er derved afgørende for anlæggets kapacitet. På baggrund af praktiske erfaringer og /6/ forudsættes permeabiliteten at være 1 l/s/m² filteroverflade (kanaloverflade), svarende til en permeabilitet på 10-3 m/s. Hvis en to-årshændelse på 140 l/s ha skal kunne ledes ind i filteret betyder det, at den hydrauliske belastning af filteret ikke må overskride 25 m² opland pr. løbende meter fordelingskanal. Dette svarer ca til 70 m² opland pr. m² horisontalt filterareal, hvis fordelingskanalerne placeres med 35 cm mellemrum.

I praksis er det vandets fordeling igennem stenulden, der er dimensionerende for magasiner og filtre af Rockflow. Her gælder, at hver løbende meter filterkanal maksimalt må belastes med vand fra 25 m² opland. Dette svarer til, at en kvadratmeter filter må belastes med vand fra 70 m² opland, hvis filteret opbygges med en fordelingskanal pr. 35 cm filter.

5.2 UDFORMNING AF TILLØB, UDLUFTNING OG RENSEBRØNDE

Anlæg af Rockflow skal som udgangspunkt etableres, så afstanden mellem fordelingskanalerne ikke overstiger 35 cm.

For at forlænge levetiden og reducere driftsbehovet skal tilløb til Rockflowanlæg ske via en sandfangsbrønd. Det er vigtigt, at sandfangsbrønden tømmes løbende, og at de arealer, der afleder til faskinen fejles jævnlige. Der må ikke anvendes grus som glatførebekæmpelse i oplandet til Rockflowanlæg, da dette vil medføre risiko for, at anlæggene stopper til.

I magasiner og faskiner ledes vandet fra sandfangsbrønden til fordelingskanalerne i bunden af anlægget. Når vandet ledes ind i anlægget, skal den luft, der står i stenulden, kunne komme ud. Det sker gennem en kanal i toppen af anlægget. Denne kanal kan forbindes til tilløbsbrønden. Hvis der er risiko for, at tilløbet oversvømmes med stående vand på terræn, skal udluftningen forbindes til en separat udlufningsbrønd, der ikke kan oversvømmes. Princippet for opbygning af en faskine findes beskrevet i denne video: <https://lapinus.showpad.com/share/NW1VZ6mOnYJPRmPHGyarA>

Hvis Rockflow etableres som et rensefilter, skal vandet ledes ind i kanalen i toppen af filteret og ud gennem den nederste fordelingskanal, der også skal forbindes til en udlufningsbrønd. Herved sikres det, at alt vand filtreres gennem stenuldsmatricen.

For at sikre mulighed for inspektion og rensning af fordelingskanalerne skal der anlægges spulebrønde. Tilløbsbrønde og udlufningsbrønde kan også anvendes som spulebrønde.





Figur 3: Faskine af Rockflow med fordeling af vand via dræn. Vandet afledes via en sandfangsbrønd (ikke vist) til fordelingskanalen i bunden af anlægget, mens den øverste kanal fungerer som udluftning for den luft, der skal ud, når faskinen bliver fyldt med vand.



Figur 4: Vandet kan også fordeles i anlægget ved at lægge en plastfaskine (sort) mellem sektioner med Rockflow-bats. Den blå tilløbsbrønd fungerer som sandfangsbrønd og giver mulighed for at spule plastfaskinen.

5.3 NEDSIVNINGSANLÆG

Faskiner af Rockflow kan anvendes til nedsivning af regnvand. Det kan både være relevant i forbindelse med nyudstyknings, hvor der ikke etableres kloak til regnvandet og i forbindelse med byfortætning, hvor man øger befæstelsesgraden, så kapaciteten af den eksisterende kloak eller afløbсталlet til Forsyningens afløbssystem bliver overskredet. Desuden benyttes nedsivning som en løsning ved klimatilpasning af afløbssystemerne i eksisterende by, hvor man ønsker at begrænse den hydrauliske belastning af kloakken ved at nedsive vand, der tidligere løb i kloakken. Løsningen med nedsivning af regnvand i faskiner er almindelig brugt, og kravene til nedsivningsanlæg er derfor velbeskrevet. De regler og standarder, der gælder for etablering af nedsivningsanlæg findes beskrevet i /1/ Rørcenteranvisning 016 – Anvisning for håndtering af regnvand på egen grund og /2/ Rørcenteranvisning 026. LAR-ANLÆG - Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift af LAR-anlæg. Baseret på disse anvisninger gives i det følgende en kort beskrivelse af opbygning af nedsivningsanlæg. Der henvises til anvisningerne for en mere detaljeret beskrivelse.

Der er ikke faste krav om afstand mellem grundvandsspejlet og faskiner til nedsivning af regnvand. Rockflow anbefaler selv mindst 15 cm's afstand fra faskinens bund til grundvandsspejlet, mens man i Danmark generelt anbefaler, at bunden af faskinen placeres mindst 1 meter over højeste grundvandsspejl for at sikre sig mod at faskinen står fyldt med grundvand i perioder med langvarig regn.

Der er der ud over nogle særlige forhold, der gør sig gældende for faskiner af Rockflow:

- Hulrumsprocenten i en faskine er udtryk for, hvor stor en andel af en faskines volumen, der kan fyldes med vand. I Rockflowfaskiner er den effektive hulrumsprocenten 90 procent.
- Normalt skal faskiner pakkes ind i en vandgennemtrængelig geotekstil for at undgå, at de bliver fyldt med jord. Dette gælder ikke for Rockflow, som i sig selv har en struktur, der holder jorden ude af faskinen.
- På grund af regnvandets indhold af partikler, vil nedsivning gennem bunden af almindelige faskiner med tiden blive dårligere. Det gælder ikke for Rockflowfaskiner, idet regnvandets indhold af partikler holdes tilbage i fordelingskanalerne.

Ved etablering af faskiner skal den generelle grænse på 70 m² opland pr. m² rockflowelement overholdes og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 350 m². Faskiner udformes og dimensioneres normalt, så de kan håndtere hverdagsregn. Det nødvendige volumen af en Rockflowfaskine er bestemt af, hvilken regnhændelse, der skal håndteres, hvor stort et areal der leder vand til faskinen, af jordens nedsivningsevne og af faskinens geometri. Derfor er det nødvendigt at kende jordens nedsivningsevne, når faskinen skal dimensioneres.

Faskiner dimensioneres med Spildevandskomiteens dimensioneringsværktøj /4/. Se kapitel 6 for dimensionering.

5.4 FORSINKELSE FØR AFLEDNING TIL KLOAK

I områder, hvor det ikke er muligt at nedsive regnvand, kan der være behov for at magasinere vandet, så det afledes forsinket til kloakken. Det gælder f.eks. ved klimatilpasning af eksisterende afløbssystemer, hvor et magasin med Rockflow kan etableres for at forsinke regnvand og derved reducere intensiteten af den hydrauliske belastning af kloakken.

Tilsvarende kan der være behov for forsinkelse af regnvand ved byomdannelse eller udvikling af nye grunde. Her kan Kommunen via tilslutningstilladelsen sætte grænser for, hvor stort et areal, der må befæstes, så det afleder regnvand til kloakken uden forsinkelse. Dette angives som afløbstal, afløbskoefficient eller befæstelsesgrad. Hvis man ønsker at befæste yderligere areal, og det ikke er muligt at nedsive vandet, skal der etableres et tilsvarende forsinkelsesvolumen, der f.eks. kan anlægges som et Rockflowmagasin.



Figur 5: Principskitse for faskine etableret af Rockflow. Tilløb til fordelingskanalerne i bunden af anlægget sker via en vejbrønd med indbygget sandfang. Udluftning sker gennem kanalerne i toppen af anlægget

For at opnå en forsinkelse af vandet skal afløbet fra magasinet forsynes med en vandbremse.

Hvis man ønsker en ren forsinkelsesløsning, pakkes Rockflow-magasinet ind i en vandtæt membran som anvist af leverandøren af membranen. I det tilfælde er det kun den del af magasinet, der ligger over den nederste fordelingskanal, der kan indregnes i magasinvolumen. Pakker man ikke magasinet ind i en tæt dug, vil der foruden det forsinkede afløb til kloak ske nedsivning fra magasinet samtidig med, at hele magasinets volumen aktiveres.



Figur 6: Figur: Rockflowmagasin anlagt som forsinkelse før afledning til kloak. Hedemora, Sverige.

Ved etablering af forsinkelsesmagasiner med Rockflow skal det sikres, at magasinerne kun bliver belastet med regnvand. I separatkloakerede områder giver det sig selv, men i fælleskloakerede områder skal magasinerne etableres, så det kun er regnvand, der kan løbe til magasinet, og så der ikke kan ske tilbagestuvning af spildevand fra kloakken til magasinet.

Det nødvendige volumen af forsinkelsesmagasinet er bestemt af hvilken regnhændelse, der skal håndteres, hvor stort et areal, der leder vand til magasinet og det tilladte afløbstal til kloakken. Magasiner dimensioneres med Spildevandskomiteens bassinregneark /3/ og med udgangspunkt i forsinkelsesbehovet og en effektiv hulrumsprocent i Rockflow på 90 %. Se også kapitel 6 om dimensionering. Desuden skal de generelle dimensioneringskriterier for anlæg af Rockflow i afsnit 5.1 respekteres, så den hydrauliske belastning ikke overskrider 70 m² opland pr. m² filter og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 350 m².

5.5 RENSNING FØR UDLEDNING TIL RECIPIENT

Når separatkloakeret regnvand udledes til søer, vandløb og lukkede marine områder, stilles der normalt krav om, at vandet skal renses før udledning. Rensningen skal beskytte recipienten mod forurening med partikulært materiale, næringsstoffer og miljøfremmede stoffer. Kravet er et funktionskrav, der ikke gælder en specifik vandkvalitet men derimod rensemetoden, der skal leve op til BAT (Best Available Technology). I 2020 er det kun korrekt udformede og dimensionerede regnvandsbassiner udformet efter /5/, som lever op til BAT-kravet uden yderligere vurderinger.

I Bilag 1 findes en vurdering af Rockflows renseevne og en sammenligning mellem rensning af separatkloakeret regnvand i magasiner af Rockflow med gældende BAT (rensning i bassiner). På baggrund af denne sammenligning vurderes det, at der kan opnås en renseeffekt svarende til BAT i korrekt udførte rensmagasiner af Rockflow. I ansøgning om udledningstilladelse kan det derfor med udgangspunkt i bilaget argumenteres for, at et korrekt udformet og dimensioneret filter af Rockflow svarer til BAT

Filtre af Rockflow kan etableres, så vandet fordeles gennem en fordelingskanal i toppen af filteret, mens udløb og udluftning sker i en fordelingskanal i bunden af filteret. Det er tilstrækkeligt at etablere filteret som et lag Rockflow, svarende til en filterdybde på 100 cm. Hvis man ikke ønsker nedsivning fra filteret, pakkes filteret ind i en vandtæt membran.

Ved etablering af rensfiltre af Rockflow skal det sikres, at filtrene kun bliver belastet med regnvand. Filteret skal opbygges, så man sikrer, at vandet passerer gennem stenuldselementerne og ikke kortslutter filterets ind og udløb der, hvor elementerne støder op til hinanden eller langs filterets sider. Det skal desuden sikres, at filteret ikke sættes under tryk.

For at sikre, at vandet fordeles ligeligt over hele filterets areal, kan der etableres halv-slidsede rør med åbningen opad i indløbskanalen. Herved fordeles det tilløbende vand i hele filterets længde og sikrer maksimal udnyttelse af filterkapaciteten.

Rensfiltre dimensioneres normalt, så de kan rense en andel af årsnedbøren. Det betyder, at det nødvendige filterareal er bestemt af, hvilken regnhændelse, der skal renses, og hvor stort et areal, der leder vand til filteret. Filteret dimensioneres med udgangspunkt i afsnit 5.1, så den hydrauliske belastning ikke overskrider 70 m² opland pr. m² filter og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 350 m².

Mindre partikler vil kunne afsættes i selve filtermatricen og med tiden tilstoppe filteret. Hvis det observeres, at SS ikke længere tilbageholdes i tilstrækkelig høj grad, skal fordelingskanalen spules. Afhjælper det ikke problemet, bør stenuldselementerne derfor udskiftes.

5.6 FORSINKELSE OG RENSNING FØR UDLEDNING TIL RECIPIENT

Ved udledning af separatkloakeret regnvand til vandløb stilles normalt både krav om forsinkelse og rensning af vandet. Forsinkelsen skal sikre, at der ikke sker erosion i vandløbet og at der ikke kommer oversvømmelser længere nede i vandløbssystemet. Rensningen skal leve op til BAT og sikre, at regnvandets indhold af partikulært stof, næringsstof og

miljøfremmede stoffer reduceres til et acceptabelt niveau. Forsinkelse og rensning sker normalt samtidigt i regnvandsbassiner, der etableres som en del af Forsyningens regnvandssystem.

I tæt by eller industriområder kan det være svært at finde plads til regnvandsbassiner. Dette gælder både, når man anlægger ny by, men i særdeleshed, når behovet for forsinkelse og rensning opstår i forbindelse med separatkloakering af eksisterende by.

Der findes en række tekniske løsninger til forsinkelse af regnvand i underjordiske anlæg, men blandt de lavteknologiske løsninger er det kun Rockflow, der både kan leve op til kravet om at forsinke og rense regnvandet.

Magasiner til forsinkelse og rensning af regnvand før afledning til recipient udformes og dimensioneres hydraulisk efter samme principper som rene forsinkelsesmagasiner (se afsnit 5.3 og 5.4 **Error! Reference source not found.**). Dog vil der normalt være krav om forsinkelse til lavere afløbstal (typisk mindre end 1,5 l/s ha) og derved større magasiner (typisk mere end 500 m³/ha opland), når man afleder til vandløb, end hvis man som privat skal forsinke før afledning til Forsyningens afløbssystem. Med denne dimensionering bliver magasinet langt større end en ren renseløsning til det samme opland, hvorved det er sikret, at magasinet renser regnvandet til BAT.

Når man laver kombinerede magasiner og filtre, bør tilløbet til anlægget etableres på samme måde som til filtre, hvor vandet føres til anlægget gennem den øverste drækanal og afledes gennem den nederste. Herved sikres, at alt vand renses ved passage af filteret.

Mindre partikler vil kunne afsættes i selve filtermatricen og med tiden tilstoppe filteret. Hvis det observeres, at SS ikke længere tilbageholdes i tilstrækkelig høj grad, skal fordelingskanalen spules. Afhjælper det ikke problemet, bør stenuldselementerne derfor udskiftes.

Ligesom for de øvrige magasinerings- og renseløsninger, gælder det for er magasiner før udledning til recipient, at den hydrauliske belastning af magasinet ikke må overskride 70 m² opland pr. m² filter, og at der ikke bør kobles mere end 350 m² filter på hver fordelingskanal.

Hvis magasinet etableres med membran, er det kun del af magasinet, der ligger over den nederste fordelingskanal, der kan indregnes i magasinvolumen.

5.7 SKYBRUDSMAGASINERING

Når det regner så kraftigt, at afløbssystemet ikke kan håndtere vandet, kan der være behov for at magasinere skybrud, så det ikke forvolder skader på bygninger og anlæg. Skybrudsmagasiner kan opbygges af Rockflow og afløbet fra dem kan enten ske ved forsinket afledning til eksisterende kloak eller ved nedsivning.

Tilløbet til skybrudsmagasiner sker typisk ved, at vand, der allerede strømmer på terræn, skal ledes ned i magasinerne. I og med, at afløbssystemet er overbelastet under skybrud, vil skybrudsvand i fælleskloakerede områder som udgangspunkt være forurenet med spildevand og materiale, der er revet med fra overfladen, og dette materiale risikerer at ende i skybrudsmagasinerne.

For at undgå at der på den måde sker en tilstopning af skybrudsmagasinerne, skal vandet så vidt muligt renses, før det når magasinerne. Under skybrud vil sandfangsbrønde blive hydraulisk overbelastet. Derfor kan det være en god ide at lede vandet til skybrudsmagasinet gennem en permeabel belægning. Det skal dog fortsat sikres, at der etableres en udluftning, så luften kan komme ud i takt med, at magasinet fyldes med vand.

Skybrudsmagasiner dimensioneres ud fra hvor meget vand, der skal håndteres. Kapaciteten bestemmes derfor ud fra hvor stort et opland, der afledes til skybrudsmagasinet, hvor stor en hændelse, der skal håndteres (f.eks. en 100-årshændelse om 100 år), og hvor meget vand, der er tilbage til skybrudsmagasiner, når hverdagsregnen er afledt til f.eks. regnvandskloakken. I beregning af vandmængder under skybrud indgår både afstrømning fra befæstede arealer og fra grønne arealer.

Ligesom for de øvrige magasineringsløsninger, gælder det for skybrudsmagasiner, at den hydrauliske belastning af magasinet ikke må overskride 70 m² opland pr. m² filter, og at der ikke bør kobles mere end 350 m² filter på hver fordelingskanal. Hvis magasinet etableres med membran, er det kun del af magasinet, der ligger over den nederste fordelingskanal, der kan indregnes i magasinvolumen.



Figur 7: Rockflow som skybrudsmagasin. Langelands Plads, Frederiksberg. Magasinet er dimensioneret til en 100-årshændelse).

For små simple skybrudsoplande, f.eks. en baggård eller en have uden kloak, kan det være tilstrækkeligt at dimensionere magasinet ved at fastlægge oplandet til skybrudsmagasinet ved hjælp af den digitale terrænmodel. For mere komplekse oplande, hvor kloakken kan transportere vand på tværs af topografiske vandskel, skal der gennemføres en mere kompliceret modelberegning for at fastlægge det nødvendige magasinvolumen.

Ved dimensionering af skybrudsmagasiner bør man tage stilling til, hvor meget vand, det reelt er nødvendigt at magasinere, og det afhænger af skybrudsmagasinet's placering og funktion. Hvis det f.eks. handler om at beskytte en lukket baggård, kan man måske godt leve med at der står et nogle centimeter vand på terræn, og så kan man spare det volumen i sit skybrudsmagasin. Har man derimod en situation, hvor alt vand på terræn løber hen et sted, hvor det forvolder skade, gælder det om at magasinere det fulde skybrudsvolumen.



Figur 8: Ved afledning gennem en permeabel belægning vil vandet blive filtreret før det når det underliggende magasin samtidig med, at magasinet kan etableres med en stor overflade og derved med en stor hydraulisk kapacitet og et stort magasinvolumen

NEDSIVNINGSANLÆG SOM SKYBRUDSMAGASINER

Skybrudsmagasinering kan oplagt etableres ved at indbygge ekstra volumen i allerede planlagte anlæg til nedsivning eller magasinering af hverdagsregn. Dette sker automatisk, når man dimensionerer et nedsivningsanlæg i områder med dårlig nedsivningsevne.

Størrelsen af et nedsivningsanlæg er bestemt af jordens nedsivningsevne og af, hvor meget vand, anlægget skal håndtere. Når man dimensionerer nedsivningsanlæg på de lerede jorde, der er dominerende i Østdanmark, dimensioneres der med en dårlig nedsivningsevne (typisk i størrelsesorden 10-6 m/s). I den type anlæg vil det være de lange koblede efterårsregn, der udfordrer anlæggene hydraulisk. Det betyder til gengæld, at anlæggene har rigelig kapacitet til de korte, intense sommerregn, og at de derfor i praksis har kapacitet til også at håndtere skybrud af en vis størrelse. Derfor vil mange nedsivningsanlæg med en lille ekstra kapacitet samtidig kunne fungere som skybrudsmagasiner.



Figur 9: Eksempel på vejbed, hvor regnen siver ned gennem filtermulden til en underliggende faskine eller et magasin, som kan etableres i Rockwool. I områder med leret dårlige nedsivningsforhold vil en faskine, der kan rumme en 10-årshændelse, af hensyn til de lange efterårsregn være så stor, at den også kan rumme en væsentlig del af et skybrud. Anlægget kan på den måde både nedsive hverdagsregn og bidrage til skybrudshåndtering.

6 DIMENSIONERING AF NEDSIVNINGSANLÆG, FORSINKELSES- OG RENSELØSNINGER MED ROCKFLOW

Som beskrevet i afsnit 5.1, er det i praksis vandets fordeling igennem fordelingskanalerne og stenulden, der er dimensionerende for filteret. Her gælder, at hverløbende meter fordelingskanal maksimalt må belastes med vand fra 25 m² opland og at hver fordelingskanal maksimalt kan forsyne 350 m² filter.

6.1 DIMENSIONERING AF NEDSIVNINGSANLÆG

Hvis man ønsker at nedsive regnvand i en Rockflowfaskine, skal anlægget udformes med udgangspunkt i principperne i /1/ Rørcenteranvisning 016, Anvisning for håndtering af regnvand på egen grund og /2/ Rørcenter-anvisning 026. LAR-ANLÆG. Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift af LAR-anlæg. Anvisningerne beskriver flere typer af nedsivningsanlæg på terræn og i faskiner, og Rockflow er i den sammenhæng at betragte som faskineløsninger.

Følgende forudsætninger skal være opfyldt for at nedsive regnvand:

- Jordbunden skal være velegnet til nedsivning. Vær opmærksom på, at massive lerlag kan begrænse grundvandsdannelsen, så nedsivning af større vandmængder kan føre til øget grundvandsspejl
- Vejledende afstandskrav til bygninger, skel samt den lovpligtige afstand til vandboringer skal overholdes med mindre myndighed accepterer reduceret afstand
- Der må ikke nedsives gennem forurenede jord, der medfører risiko for grundvandsforurening
- Grundvandsspejlet bør ligge min. 1 meter under bunden af det fremtidige anlæg
- Det skal sikres, at vandet ikke strømmer ind mod bygninger, ud på vejen eller giver gener for naboer, når nedsivningsanlægget overbelastes.

Der kan desuden gælde særlige krav ved nedsivning af vand fra trafikbelastede arealer og områder, hvor der benyttes salt til glatførebekæmpelse.

For dimensionering nedsivningsanlæg for regnvand gælder følgende:

- Til dimensionering af nedsivningsanlæg for regnvand benyttes Spildevandskomiteens LAR-regneark. Seneste version af LAR-dimensioneringsregnearket (maj 2019) findes her: <https://ida.dk/media/3003/opdateret-lar-dimensionering-regneark.xlsm>. Opdateringer af regnearket vil kunne findes via Spildevandskomiteens hjemmeside: <https://ida.dk/om-ida/spildevandskomiteen/skrifter#se-og-hent-skrifter>.
- Hvis nedsivningsanlægget ved overbelastning har overløb til et separatkloakeret område, dimensioneres det til T=5. Hvis overløb sker til fælleskloakeret område, dimensioneres det til T=10. Da nedsivningsanlæg har begrænset levetid anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,1
- Hulrumsandelen skal for en Rockflowfaskine sættes til 0,9.
- Rockflow oplyser, at der sker nedsivning gennem bunden i deres faskiner. Nedsivningen gennem faskinens bund kan vælges til i dimensioneringsregnearket og vil resultere i mindre faskinebehov.
- Vær opmærksom på, at LAR-dimensioneringsregnearket bør benyttes med forsigtighed, hvis jordbundens nedsivningsevne er dårligere end 10⁻⁶ m/s, da effekten af koblede regn bliver underestimeret på grund af meget lange tømmetider.
- Tømmetiden af anlægget bør ikke overskride 72 timer. Tømmetiden kan reduceres ved at ændre nedsivningsanlæggets geometri (lange, smalle anlæg).

- Der skal i forbindelse med dimensionering af anlægget gennemføres nedsivningstests
- For større anlæg skal der udarbejdes en vurdering af anlæggets effekt på de lokale grundvandsforhold

Den maksimale belastning af anlæggene på 25 m² opland pr. løbende meter filterkanal (70 m² opland pr. m² anlæg ved tre fordelingskanaler pr. m) og maksimalt 350 m² opland pr. fordelingskanal skal overholdes. De fleste faskiner vil dog være så store, at de rigelig lever op til dette krav.

6.1.1 DIMENSIONERINGSEKSEMPEL FOR NEDSIVNING

Erhvervsområde med afledning til nyetableret regnvandsledning i kombination med lokal nedsivning

En virksomhed ønsker at befæste et større areal, end der kan gives tilladelse til at aflede. Dette løses ved at afskære en del af det befæstede areal til nedsivning. Når nedsivningsanlægget overbelastes, vil der ske overløb til offentlig vej i et separatloakeret område. Derfor skal anlægget dimensioneres til T=5.

Beregning af den vandmængde der må afledes

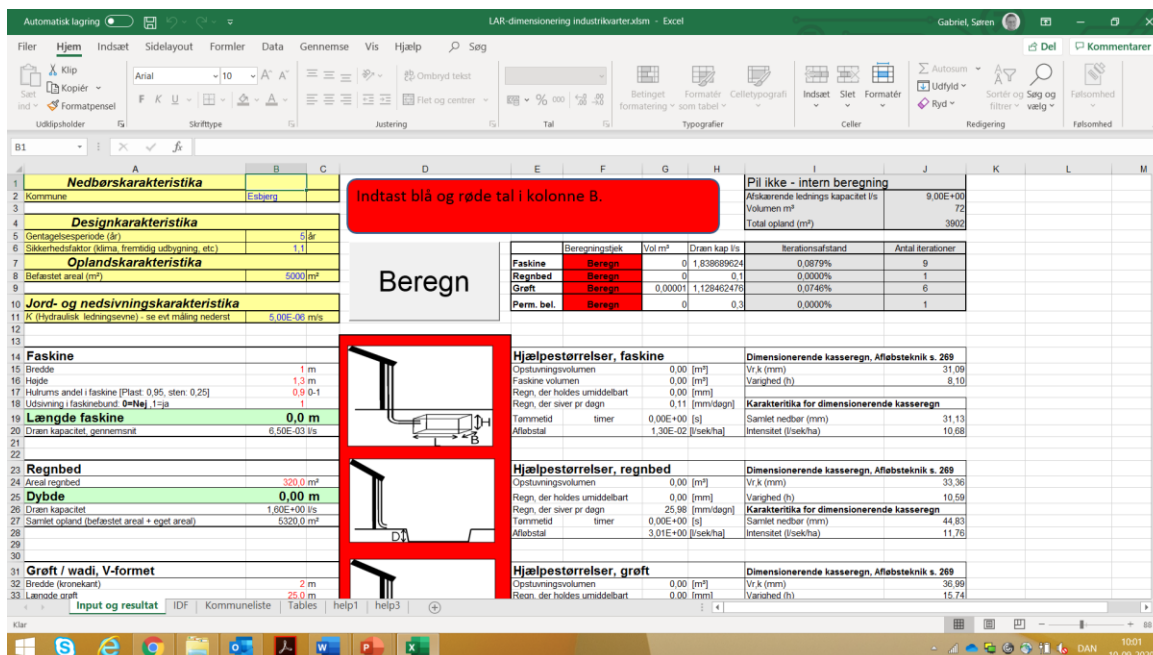
- Grundareal: 20.000 m² (2 ha)
- Afløbskoefficient for erhvervsområder: $\phi = 0,6$, svarende til, at der må afledes fra 12.000 m²
- Befæstet areal 17.000 m²

Beregning af nødvendigt nedsivningsvolumen

- Befæstet areal til nedsivning: $17.000 \text{ m}^2 - (0,6 \cdot 20.000 \text{ m}^2) = 5.000 \text{ m}^2$
- Nedsivningsevne (målt eller fastsat værdi på baggrund af geologien): $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
- Sikkerhedsfaktor 1,1 (til dimensionering af nedsivningsløsning)

Med udgangspunkt i placeringen i Esbjerg beregnes den nødvendige faskinelængde til 160 m med en dybde på 1,3 m og en bredde på 1 m.

Dette svarer til en belastning på 31 m² opland pr. m² faskine.



Figur 10: Screenshot af LAR-regnearket for det beskrevne eksempel

6.2 DIMENSIONERING AF LOKAL FORSINKELSE FØR AFLEDNING TIL KLOAK

Hvis det ikke er muligt at afskære regnvand til nedsivning, kan der alternativt etableres et bassin volumen til forsinkelse af afløbet, så afløbstallet/afløbskoefficienten kan overholdes. Formelt beregnes forsinkelsesvolumener på privat grund efter DS432, hvor overbelastningshyppigheden bestemmes af, hvad konsekvenserne af en oversvømmelse er – f.eks. oversvømmelse af have eller kælder. Dette forudsætter dog, at oversvømmelsen ikke kan brede sig fra privat grund til nabomatrikler eller vej.

Forsinkelsesvolumen beregnes med udgangspunkt i Spildevandskomiteens anvisninger. Her gælder følgende:

- Til dimensionering af bassin volumen benyttes Spildevandskomiteens regneark. Seneste version af regnearket (maj 2019) findes her: https://ida.dk/media/3007/regionalregnearke_ver_4_1.xls. Opdateringer af regnearket vil kunne findes via Spildevandskomiteens hjemmeside: <https://ida.dk/om-ida/spildevandskomiteen/skrifter#se-og-hent-skrifter>
- Der skal altid laves en kortlægning af, hvor vandet strømmer hen, når bassinet overbelastes og oversvømmes. Hvis bassinet ved overbelastning har overløb til et separatkloakeret område, dimensioneres det til $T=5$. Hvis overløb sker til fælleskloakeret område, dimensioneres det til $T=10$.
- Vær opmærksom på, at regnearket ikke bør benyttes, hvis afløbstallet fra forsinkelsesbassinet er mindre end 1 l/s ha red, da effekten af koblede regn bliver underestimeret på grund af meget lange tømmetider.
- For at sikre bassinets hydrauliske funktion skal der i tilslutningen til kloakken etableres en vandbremse f.eks. en afløbsregulator eller en anden form for neddrøsling af afløbet, der sikrer overholdelse af afløbstallet

Beregning af det nødvendige bassin volumen:

- Hvis tilslutningstilladelsen er givet som et fast afløbstal, beregnes det nødvendige bassin volumen for det samlede befæstede areal med udgangspunkt i det tilladte afløbstal.
- Hvis tilladelsen er givet som en maksimal afløbskoefficient (befæstelsesgrad), beregnes afløbstallet som det tilladte befæstede areal x den maksimale nedbørsintensitet. Herefter beregnes det nødvendige bassin volumen for det planlagte befæstede areal med udgangspunkt i det beregnede afløbstal.

Afløbstallet, der indsættes som "Afskærende lednings kapacitet" i SVK's bassinregneark, fremgår af tabel 3.

Vær opmærksom på, at der fra kommune til kommune kan gælde forskellige forudsætninger for dimensionering af forsinkelsesbassiner på privat grund.

I oplande med nyetableret kloak (både fælles og separat) udgør den maksimale nedbørsintensitet svarende til $T=2$ med en sikkerhedsfaktor på 1,2. Der er lokale variationer i, hvor stor denne regnhændelse er, men den ligger i størrelsesorden 170 l/s ha.

Ved tilslutning til **ældre kloaksystemer** angives "Afskærende lednings kapacitet" på baggrund af den maksimale nedbørsintensitet, kloakken er dimensioneret til. Hvis andet ikke er angivet, dimensioneres med en intensitet på 110 hhv. 140 l/s ha i separatkloakerede og fælleskloakerede områder.

6.2.1 DIMENSIONERINGSEKSEMPEL FOR FORSINKELSE

Erhvervsområde med afledning til nyetableret regnvandsledning i kombination med lokal forsinkelse

En virksomhed i et område med et nyt kloaksystem ønsker man at befæste et større areal, end der kan gives tilladelse til at aflede. Dette løses ved at etablere lokal forsinkelse, så afløbstallet overholdes. Når bassinet overbelastes, vil der ske overløb til offentlig vej i et separatkloakeret område. Derfor skal anlægget dimensioneres til $T=5$.

Beregning af den vandmængde der må afledes

6.4 DIMENSIONERING AF SKYBRUDSMAGASINER

Skybrudsmagasiner dimensioneres, så de kan håndtere det vand, der er i overskud, når hverdagsregnen er håndteret i afløbssystemerne. Dimensioneringen kræver, at man kender det areal, der bidrager med vand under skybrud, og at man lægger sig fast på, hvor stor en skybrudshændelse, man ønsker at håndtere (f.eks. en 100-årshændelse om 100 år).

6.4.1 DIMENSIONERINGSEKSEMPEL FOR SKYBRUDSMAGASINERING

I dette eksempel ønsker man at magasinere skybrud i en lukket baggård. Målet er at sikre, at der ikke står vand på terræn ved en 100-årshændelse om 100 år (klimafaktor 1,4). I eksemplet regnes med en hændelse af fire timers varighed i København.

Den beskrevne 100-årshændelse svarer til, at der falder 89 mm på fire timer. Vi antager, at afløbssystemet kan håndtere en 10-årshændelse om 100 år (klimafaktor 1,2), som svarer til 44 mm på de befæstede arealer. Tilsvarende antages det, at de grønne arealer i gården kan rumme 44 mm, før de er vandmættede, så vandet begynder at strømme af. Det betyder, at der samlet set er et nedbørsoverskud på 45 mm (89 minus 44 mm) fra en 100-årshændelse om 100 år.

Det nødvendige skybrudsvolumen bestemmes herefter ved at gange 45 mm med det areal, der skal håndteres (gårdrummet og de tilstødende tagflader). For en karré med et samlet areal på 10.000 m² vil det nødvendige magasinvolumen til skybrud ud fra denne beregning udgøre 450 m³. Hvis man kan leve med, at der står f.eks. 2 cm vand på terræn, trækkes 20 mm ud af beregningen, så det nødvendige magasinvolumen reduceres til 250 m³.

Ved dimensionering af skybrudsmagasiner af Rockflow kan udfordringen være at fylde magasinet op, lige så hurtigt som vandet strømmer til. Men modsat de magasiner til hverdagsregn, der er beskrevet ovenfor, kan man acceptere, at der sker opstuvning af vand på terræn under skybrud. Den konkrete dimensionering vil derfor både være afhængig af denne mulighed for at lade vand stå på terræn og hvor hurtigt, vandet kan fordeles i magasinet.

7 DRIFT OG LEVETID

Det er nødvendigt at tømme sandfangsbrønde og spule fordelingskanaler i faskiner, magasiner og rensefiltre af Rockflow. Det skyldes, at separatkloakeret regnvand erfaringsmæssigt indeholder omkring 100 mg suspenderet stof pr. liter med mulighed for lidt højere værdier for vejarealer og lidt lavere for tage. Når partiklerne vaskes med af regnvandet, aflejres det som slam i fordelingskanalerne.

Med en årlig afstrømning på omkring 500 mm nedbør vil hver kvadratmeter opland forurene regnvandet med 50 g partikler, svarende til 100 ml vådt slam, hvis man konservativt antager, at det aflejres med 50 procent tørstof og en densitet på 1.

Under forudsætning af, at anlæggene etableres med en belastning svarende til 25 m² opland pr. løbende meter fordelingskanal, betyder det, at der årligt aflejres knap 2,5 liter slam pr. løbende meter fordelingskanal. Det svarer til, at ca. 25 % af fordelingskanalens volumen (Ø110) bliver fyldt op med slam i løbet af et år. En del af slammet vil blive tilbageholdt i sandfangsbrønden før anlægget, men erfaringsmæssigt tager sandfangsbrønde kun en meget lille del af partikelbelastningen. Derfor bør der ske en tømning af sandfangsbrønden hvert år og spuling af fordelingskanalerne hvert tredje år. Hvis den hydrauliske belastning af anlægget øges eller hvis afvandingen sker fra overflader med stor partikelbelastning, skal rensefrekvensen øges tilsvarende.

Ovenstående er i overensstemmelse med driftserfaringer og anbefalinger fra filteranlægget i Risvang Allé /6/, hvor TV-inspektioner viste tilslamning af fordelingskanalerne. Undersøgelser af filteret viste til gengæld, at kun en meget lille del af partiklerne trængte ind i selve filtermatricen, og der var ikke tegn på videre transport af partiklerne i stenulden. Derfor forventes filteret at have en lang levetid, forudsat at fordelingskanalerne renholdes som forudsat.

8 INSPIRATION OG ANLÆGSEKSEMPLER

I dette afsnit gennemgås fire anlægseksempler til inspiration. Det første er et LAR anlæg i form af en wadi fra Holland, herefter et forsinkelsesbassin i Sverige og afslutningsvis et vejbed og et filteranlæg i Danmark.

8.1 WADI: HEEL, HOLLAND

I byen Heel i Holland, var der problemer med vand på terræn. De grønne wadier var stoppet til og der manglede bassin volumen i området. Wadierne med deres trug havde også vist sig svære at slå græsset i, hvilket fordyrede driften. Rockflow blev installeret som erstatnings volumen for trugene og den nye græsflade, gav et bedre udtryk, samt nemmere og billigere drift.



Figur 12. TV: Rockflow elementerne blev anlagt som et aflangt bassin, da det passede med området. Bassinet afvander ved nedsivning. MIDT: Efter elementerne er sat, tilføres fyldmaterialer rundt om og over anlægget. TH: Afslutningsvis blev der sået græs og sat træer.

8.2 FORSINKELSES BASSIN: HEDEMORA, SVERIGE

I byen Hedemora i Sverige, var der efter mange års byudvikling og fortætning af byen problemer med oversvømmelse i bunden af en dal i byen. Løsningen blev, at lægge et Rockflow bassin under en parkeringsplads nede i dalen. Væsentlig for bygherren, Hedemora Energi, var bæredygtighed og Rockflows stivhed, som gjorde det muligt med et mindre dæklag og dermed et mindre gravearbejde.



Figur 13. Det 600 Rockflow bassin blev anlagt på 20 arbejdstimer. Efter elementerne var sat, kunne der bygges jord ind omkring bassinet og anlægges parkeringsplads. Bemærk, der ikke skal bruges geotekstil.

8.3 VEJBEDE, ODENSE, DANMARK

I Odense, har VandCenterSyd etableret flere LAR og forsinkelsesløsninger med Rockflow. I dette eksempel, som er anlagt i Skibhuskvarteret i Odense, er Rockflow anlagt som et sammenhængende bassin. Overfladen skifter mellem vej, indkørsler og vejbede. Fordelene ved Rockflow i dette projekt, var især fleksibiliteten som produktet giver under anlægsarbejdet. Krydsende kabler kunne tilpasses undervejs og medførte færre forsinkelser i anlægsarbejdet for entreprenøren. Plante huller, kan også nemt sættes undervejs.



Figur 14. TV: Under anlægsarbejdet blev fjernvarmerør tilpasset ved at udskære traceer i Rockflow elementerne. Et Plante hul er sat tv. for fjernvarmeledningerne. TH: Det færdige og beplantede vejbed, hvor træet står i det viste plante hul (billede tv).

8.4 FILTER, NIVÅ, DANMARK

En byggemodning i Nivå, stod overfor en udfordring med at sikre rensning af overfladevandet før udlednings til en følsom sø-recipient. Udfordringen var at finde plads til filteret og samtidig sikre at det opsamlede overfaldevand kunne føres til filteret uden pumpning. Løsningen blev at sætte et Rockflow filter under en kommende vej og p-plads og med direkte udledning fra filteret til søen. Filteret blev designet efter bygherres ønsker til levetid og myndighedernes renskrav.



Figur 15. Rockflow filter anlagt under byggemodningsindledning og klar til at få udlagt jord og etableret vej- og p-plads.

9 REFERENCER

/1/ Rørcenteranvisning 016 – Anvisning for håndtering af regnvand på egen grund, Teknologisk 2012

<https://www.teknologisk.dk/ydelser/roercenter-anvisninger-og-rapporter-fra-roercentret/486>

/2/ Rørcenteranvisning 026. LAR-ANLÆG. Vejledning i projektering, dimensionering, udførelse og drift af LAR-anlæg, Teknologisk 2018 <https://www.teknologisk.dk/ydelser/roercenter-anvisninger-og-rapporter-fra-roercentret/486>

/3/ Spildevandskomiteens bassinregneark

/4/ LAR-regnearket

/5/ www.separatvand.dk

/6/ Filtertechnologi til rensning af regnvand i tætbebyggede områder, Miljøstyrelsen 2020

10 BILAG OM RENSNING: VURDERING AF RENSEEFFEKT I ROCKFLOW FORSINKELSESFASKINER OG ROCKFLOW RENSEFILTRE

WSP er af Lapinus blevet anmodet om at udarbejde en anvisning for anvendelsen af produktet Rockflow i rensning af regnvand. Rockflow er et stenuldsprodukt, der både kan anvendes som opmagasinering til nedsivning og/eller udledning, og herudover også er i stand til at rense vand for forskellige komponenter.

Dette bilag sammenfatter de rensetekniske forsøg, der er angivet i referencerne og kobler dem til den dimensionering, der anbefales i forhold til anvendelse overfor afløb af tag og vejvand. Renseevnen sammenlignes med gældende BAT (Best Available Technology) i efteråret 2020, dvs. våde bassiner dimensioneret efter retningslinjerne på <http://separatvand.dk/>.

Bilaget omfatter to anvendelser af Rockflow:

- Rensning uden forsinkelse, f.eks. ved udledning i marin recipient eller stor sø uden hydrauliske begrænsninger.
- Kombineret forsinkelse og rensning ved udledning i hydraulisk følsom recipient, f.eks. vandløb.

Drift og rensning i forbindelse med nedsivning er af mindre interesse, da vandet typisk også renses ved gennemstrømning gennem jordlagene og kravene til renseseffektiviteten alene af den grund vil være mindre. Levetidsdiskussion ift. udskiftning, hvis man bruger Rockflow til opmagasinering/faskiner er selvfølgelig stadig relevant i dette tilfælde.

Udformning og dimensionering af nedsivningsanlæg, magasiner og rensfiltre indgår ikke i dette bilag, idet disse emner behandles i hovedrapporten.

10.1 GÆLDENDE BAT FOR RENSNING AF REGNVAND

Den accepterede teknologi til rensning af regnvand i dag (2020) er basinløsninger, der skal være dimensionerede til et konstant vådt volumen på 250 m³/red ha (200-300 m² med en middeldybde på 1-1,5 meter). Hertil kommer volumen til opstuvning, hvis der er krav om at forsinke vandet før afledning. Renseeffektivitet i våde bassiner er stort set knyttet til sedimentation af partikulært stof, dvs. opløste komponenter reduceres kun i meget begrænset omfang. I /2/ er der givet en oversigt over indhold i separat regnvand og effekten overfor udvalgte parametre af våde bassiner. Data er gengivet i Tabel 1.

Tabel 1 Renseeffektivitet af våde bassiner. Omarbejdet fra /2/.

STOF	TYPISKE INDHOLD	RENSEGRAD %	UDLØBSKONCENTRATION
SS (mg/l)	90 (30-300)	80 (70-90)	12 (5-20)
Total-P (mg/l)	0,3 (0,1-0,5)	70 (60-80)	0,09 (0,05-0,2)
Opløst P (mg/l)	0,15 (0,03-0,3)	70 (50-75)	0,05 (0,03-0,1)
COD (mg/l)	55 (20-100)	45 (30-60)	30 (10-60)

BOD (mg/l)	6 (2-10)	30 (20-40)	4 (1-8)
Tot-N (mg/l)	2 (1-3)	40 (20-60)	1,2 (2-8)
Tot-Cu (µg/l)	15 (5-100)	75 (60-80)	5 (2-8)
Tot-Zn (µg/l)	100 (50-200)	75 (40-85)	30 (5-60)

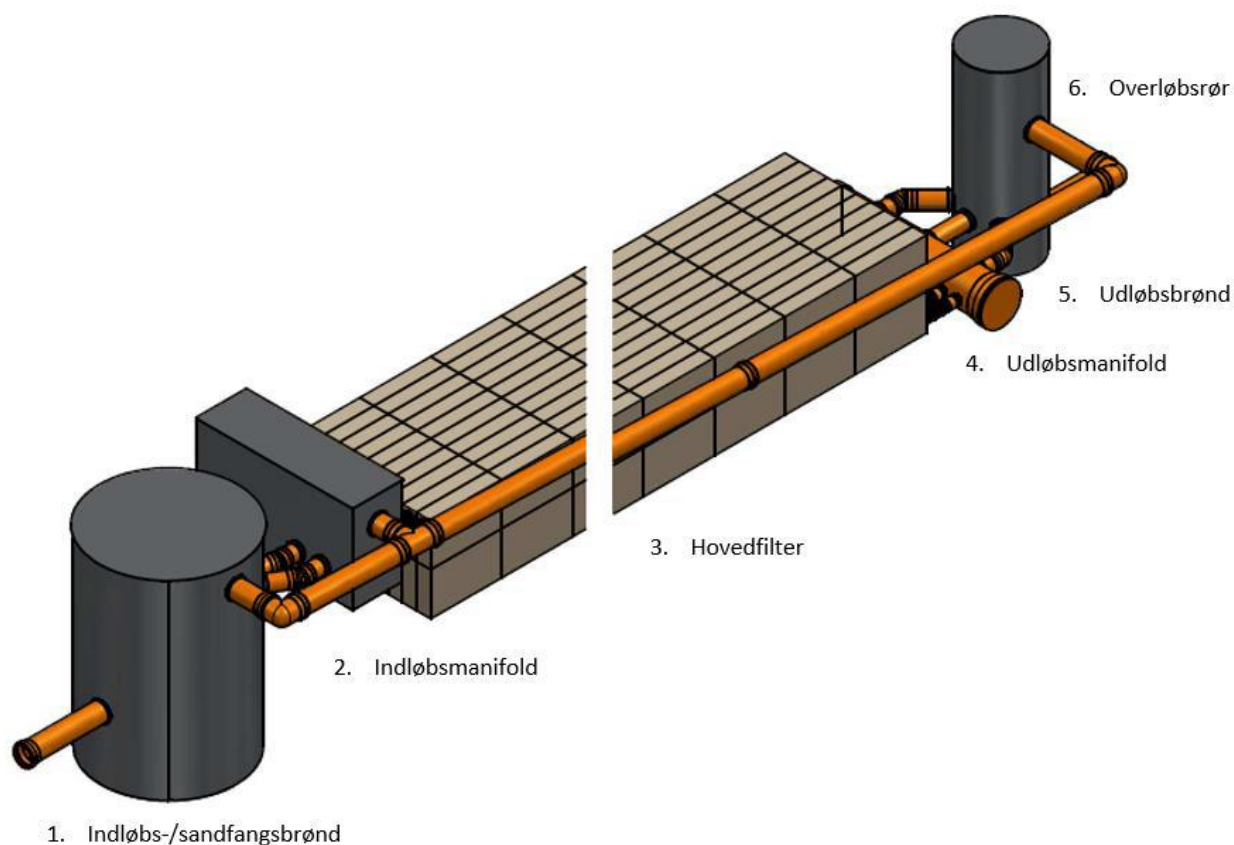
10.2 RENSEFORSØG MED REGNVAND I ROCKFLOW

Der er udført en række forsøg med renseeffekten af Rockflowelementerne både under laboratorieforhold og i egentlige feltopstillinger. Elementerne virker i princippet med tre forskellige renseprincipper:

- 1 Fysisk filtrering, hvor partikler tilbageholdes i fibre og på overfladen af disse pga. af deres størrelse.
- 2 Sorption. Metaller kan i et vist omfang bindes til overfladerne af stenulden og den tilsatte phenolharpikspolymer. Organiske stoffer, med lav vandopløselighed som PAH, kan sorberes til phenolharpikspolymer.
- 3 Mikrobiologisk omsætning. Blokkene kan tjene som substrat for etablering af biofilm, der kan omsætte opløst organisk stof. Effekten af omsætningen er formentlig stærkt afhængig af både sammensætning og belastningsstruktur, da de mikrobiologiske vækstprocesser generelt er forholdsvis langsomme og som hovedregel fungerer bedst, når belastningen af et filter er relativt ensartet, hvilket er i modsætning til den måde belastningen optræder ved regnvejrshændelser.

I det følgende er de væsentligste forudsætninger og resultater for forsøgene gengivet.

Som en del af et MUDP-projekt med Teknologisk Institut som udførende er elementerne testet over en længerevarende periode i et fuldskalaprojekt /3/. En figur af selve anlægskonstruktionen er vist i Figur 16.



Figur 16 Konstruktion af filteranlæg, figur fra /3/.

Oplandsarealet til filteret var omkring 1 red ha. Anlægget blev af Lapinus designet til som minimum at kunne håndtere 75 l/s svarende til, at godt 95 procent af årsnedbøren blev renset gennem filteret. Det samlede filtervolumen var dimensioneret til lige knap 29 m³, da der ikke var noget større krav til opmagasinering af vand. I dette tilfælde er opholdstiden i filteret dermed relativt kort. Som det fremgår af Figur 16 er anlægget etableret med en større sandfangsbrønd inden indløb i filteret, hvilket fjerner de groveste partikler inden introduktion af vandet i Rockflowelementerne. Tømningen af filteret sker hurtigt i starten, hvor gradienten er størst, og falder herpå med tiden. Filterets renseevne er undersøgt på 4 datasæt i perioden ultimo 2019 til primo 2020. I er de gennemsnitlige rensegrader opgjort for en række relevante parametre.

Tabel 2 Renseeffektivitet for udvalgte komponenter i Risvang filteret, data fra /3/, værdier i parentes angiver variationsbredden.

KOMPONENT	INDLØB, GENNEMSNI	UDLØB, GENNEMSNI	RENSEGRAD (%)	TYPISK UDLØB BASSIN
Suspenderet stof (mg/l)	64 (10-180)	10 (5-22)	84 (19-88)	5-20
COD (mg/l)	63 (10-180)	17 (5-22)	73 (19-88)	10-60
Total-P (mg/l)	0,6 (0,2-1,4)	0,22 (0,13-0,31)	63 (32-78)	0,05-0,2
Opløst-P (mg/l)	0,11 (0,07-0,15)	0,10 (0,09-0,11)	12 ((-44-43)	0,03-0,1
Total-N (mg/l)	2 (1,0-3,5)	1,3 (0,9-1,6)	37 (13-59)	2-8
Cu (µg/l)	38 (10-110)	13 (7-22)	65 (14-80)	2-8
Zn (µg/l)	111 (27-310)	36 (19-52)	67 (17-83)	5-60
C5-C10 (µg/l)	<25	<25	#	#

C10-C25 (µg/l)	115 (56-160)	58 (<50-68)	41 (48-100)	#
C25-C40 (µg/l)	487 (170-670)	220 (120-320)	55 (52-100)	#
C5-C40 (µg/l)	597 (220-790)	250 (<100-380)	58 (52-100)	#

Som det ses, er der i dette tilfælde konstateret rensegrader som er sammenlignelige med våde bassiner for hovedparten af parametrene, hvor der kan laves en sammenligning. Generelt vurderes det på baggrund af de præsenterede data i /3/, at de højeste rensegrader opnås, når indløbet har de højeste koncentrationer.

Umiddelbart er udløbskoncentrationerne af Cu relativt høje i afprøvningen, men indløbskoncentrationen er også i den høje ende af skalaen for vejvand i et villakvarter. Herudover er der i en del datamateriale udfordringer i at skelne mellem filtrerede og ufiltrerede prøver for metaller, hvilket giver hhv. opløst og totalindholdet af metallerne, hvilket gør sammenligning besværlig.

Oliestofferne har en fjernelsesgrad på 50-60 % i Rockflowfilteret, hvilket sandsynligvis er i nogenlunde samme størrelse som et vådt bassin. Der foreligger dog kun et meget spinkelt datagrundlag for olie i våde bassiner. Baseret på de opnåede data vurderer Orbicon, at hovedparten af rensningen skyldes fjernelsen af suspenderet stof og kun i mindre grad sorption og biologisk omsætning af stofferne. Udover de konkrete målinger fra Risvang anlægget refereres i /3/, at reduktionen af SS efter 6 års drift på et andet filter på Strandvejen er 90% og filteret ikke viser tegn på tilstopning. For metallerne, P og N er rensegraderne sammenlignelige for Strandvejen ift. Risvangen. For oliekomponenterne er reduktionen lidt lavere, dvs. i intervallet 40-50%. På Strandvejen viste tidligere målinger /8/ en PAH fjernelse for et udvalg på 16 PAH'et fjernelsesrater omkring 50 %.

Et separat forsøg viste /3/, at partikler (0,8-120 µm), der kommer til filteret, primært ender i fordelingsrørene, samt de slidser der er skåret til disse i filtermaterialet. Kun ganske lidt (3%) blev transporteret igennem sprækker mellem elementerne og endte i udløbet. Tilstopningen af rørene betyder, at fordelingssystemet skal spules med jævne mellemrum.

I /5/ blev sorptionsevnen undersøgt i laboratorieforsøg for udvalgte PAH, Zn, Cu og fosfat. Forsøgene blev udført som batchforsøg, dvs. ved udrystning og efterfølgende analyse af vandfasen. Resultaterne er samlet i Tabel 3. Som det fremgår af tabellen, er tilbageholdelsen (Kd værdien) for PAH forbindelserne sammenlignelige med, hvad man finder i dybere jordlag med et beskedent indhold af organisk kulstof. I modsætning til dette er metallerne, der kun tilbageholdes i begrænset omfang sammenlignet med et jordmedie. Dette skyldes lerminerale i jorden, der har meget større evne til at sorbere metaller sammenholdt med stenulden. Opløst fosfat udfældes/tilbageholdes i jord af jern og aluminiumsforbindelser. Det er derfor vanskeligt at tale kun om en "sorptionskoefficient". Værdien i tabellen stammer fra /6/. Som det fremgår, tilbageholder Rockflow materialet ikke fosfat i målbart omfang.

Tabel 3 Fundne Kd værdier for Rockflow sammenlignet med typiske værdier for jord under pløjelaget. Kd værdier i l/kg.

STOF	KD I ROCKWOOL	KD TYPISKE VÆRDIER I JORD (0,1-1% KULSTOF)
Acenaphtene	16±2	2-20
Phenantrene	75±2	6-60
Cu	6.1±1.1	1000-6000
Zn	16±2	4000-6000
Opløst P	No sorption	5-20 /6/

Yderligere en række af PAH blev undersøgt af samme team /10/ hvor bl.a. naphthalen, fluoranthen og benz(a)anthracen blev testet med Kd værdier omkring hhv. 3,5, 180 og 170 l/kg. Sammenfattende vurderes det på baggrund af resultaterne at sorptionen i materialet primært er knyttet til phenolharpikspolymeren og kun i begrænset omfang til fibermaterialet. Det organiske indhold i Rockflow er ikke rapporteret i det tilgængelige materiale, men i Rockwool, der er sammenligneligt, er det baseret på /10/ omkring 2 %, hvilket er i den lave ende af overjord men højt i forhold til råjord (ler og sand), der typisk har indhold omkring 0,1 %.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at Rockflowfiltre kun har begrænset renseseffekt på opløst forurening i separatkloakeret regnvand.

10.3 ØVRIGE RENSEFORSØG MED ROCKFLOW

I /4/ er det dokumenteret grundigt, at Rockflow mediet kan supportere olienedbrydende bakterier ved kontinuert flow igennem med indhold af opløste kulbrinter. Setuppet i forsøget var recirkulering af en opløsning med oliekomponenter igennem en længere periode (7 døgn) med en opholdstid i kolonnen på omkring en time i hver cirkulering. Filteret blev podet. Koncentrationerne blev typisk reduceret med knap 2 størrelsesordener over de 7 døgn gående fra op til omkring 1,5 mg benzen/l i starten ned til omkring 30 ug/l efter de 7 døgn. Lignende resultater er dokumenteret i /7/ hvor der blev udført forsøg med syntetisk spildevand tilført til mættede kolonner batchvis over en længere periode. I /9/ er nedbrydeligheden af en lang række biocider (og andre stoffer) også testet på et Rockflow filter. Filteret blev før forsøgene podet med spildevandsslam fra et aktivt renseanlæg, hvor nedbrydningsforsøg blev udført efter forskellige opformeringsperioder af biofilmen. Resultater ift. nedbrydning var blandede de forskellige biocider imellem, nogle blev omsat stort set komplet og andre passerede filteret fuldstændig pga. manglende bionedbrydning. En generel konklusion var, at bionedbrydningen øgedes med alderen på biofilmen, og at tilstedeværelsen af lettere omsætteligt substrat ikke øgede omsætningen af biociderne, for nogle stoffer tværtimod pga. lave iltspændinger i biofilmen. Ligeledes blev det konstateret, at filteret løbende skulle holdes vådt for at biofilmen forblev aktiv.

Forsøget vurderes ikke at være relevant i forhold til rensning af separatkloakeret regnvand.

10.4 HYDRAULISK BELASTNING AF FILTRE OG MAGASINER UNDER DRIFT

Den maksimale hydrauliske belastning af Rockflow er bestemt i /11/, hvor permeabiliteten over en række forsøg er bestemt mellem 3 og 4×10^{-3} m/s, svarende til hvad man finder i groft sand. I rapporten anbefales det, at man dimensionerer med en permeabilitet på 1×10^{-3} for at beskytte mod tilstopning. Rapporten anbefaler desuden, at stenulden beskyttes mod tilstopning med partikler ved at lade vandet strømme ind i filteret gennem en geotekstilmembran. WSP vurderer, at dette kun vil accelerere tilklogningen, da man går fra at filtrere gennem stenuld, der er meget porøs og derved har en meget stor filteroverflade og til kun at filtrere gennem det areal, geotekstilen udgør.

Til brug for fuldskalatest blev der i forbindelse med udarbejdelse af /3/ anlagt et filter med et volumen på 29 m³ og et horisontalt filterareal på 24 m². Vandet blev efter passage af en sandfangsbrønd fordelt i filteret gennem 10 fordelingskanaler.

Filteret var anlagt med en planlagt kapacitet på 75 l/s, hvilket svarer til en filterhastighed på godt 3 mm/s.

Forsøget er mundet ud i en anvisning for dimensionering af filtre, hvor det antages, at stenuldselementernes maksimale hydrauliske kapacitet (lodret strømning) er 2 mm/s (2 l/s/m² filteroverflade). For at undgå hydraulisk overbelastning af filteret i takt med, at filteret bliver tilstoppet, anbefales det at designflow reduceres til 0,5 mm/s, svarende til 25 % af denne kapacitet.

Under forudsætning af, at filteret skal kunne håndtere en klimafremskrevet 10-minutters 2-årshændelse, som er dimensionerende for afløbssystemet, skal det have en kapacitet på 140 l/s pr. ha opland.

For sammenhængen mellem den hydrauliske kapacitet i filtermaterialet og det nødvendige filterareal fremgår af nedenstående tabel. Samme tal er gældende som minimumsdimensionering for faskiner og forsinkelsesbassiner.

Tabel 4 Sammenhæng mellem Rockflowfilterets hydrauliske kapacitet og det nødvendige filterareal under forudsætning af, at filteret skal kunne håndtere en belastning på 140 l/s ha, svarende til den hændelse, der normalt er dimensionerende for afløbssystemer.

HYDRAULISK KAPACITET	NØDVENDIGT FILTERAREAL PR. HA	
	BEFÆSTET OPLAND	OPLANDSAREAL PR. FILTERAREAL

3 mm/s	47 m ²	215
2 mm/s	70 m ²	140
1 mm/s	140 m ²	70
0,5 mm/s	280 m ²	35

Da meget af filtreringsevnen er knyttet til fordelingssystemet, er det vigtigt, at der spules regelmæssigt for at bevare evnen til filtrering, da anlægget ellers vil kunne gå i overløb. På grund af den hurtige gennemstrømning i filteret ved en høj hydraulisk belastning spiller sorption og bionedbrydning sandsynligvis en begrænset rolle og er effektmæssigt i forhold til den fysiske filtrering insignifikante.

10.5 RENSEEFFEKT I ROCKFLOW UNDER DRIFT

Som det fremgår af det foregående afsnit, er der udført forsøg på en række skalaer inkl. fuld skala.

Der er påvist en række forskellige processer ift. rensning i Rockflow filtrene:

- Fysisk filtrering
- Sorption
- Bionedbrydning

I forhold til den fysiske filtrering viser Rockflowfiltre sig forholdsvis effektive med en fjernelse af suspenderet stof med en gennemsnitlig rensgrad på ca. 85% selv ved et filter, der overskrider den anbefalede belastning på 0,5 mm/s med en faktor seks. Hovedparten af frafiltreringen sker umiddelbart ved fordelerrørene. Som det fremgår af de tidligere afsnit, reducerer Rockflow filteret på 25 m³/red ha metaller, PAH'er og fosfor i nogenlunde samme omfang som et vådt bassin (med de variationsbredder der er).

Filtre af Rockflow kan således leve op til de rensniveauer, der findes i våde bassiner, som er gældende BAT.

Hvis man har krav om reduktion i udledningstallet til fx 1 l/s red ha, vil filtervolumenet blive meget større end det der er afprøvet i fuldskala. Det må forventes, at et sådan filter har en fysisk filtreringsevne, der er mindst lige så stor (og sandsynligvis bedre på grund af mindre strømningshastigheder) som det testede fuldskalaanlæg. I et sådan filter vil der herudover være en større effekt af sorption, dvs. der må forventes en noget større reduktion af tungmetallerne og PAH'er og de tungere oliekomponenter, end det der er observeret ved det testede fuldskalaanlæg på Risvangen. Samtidig vil der være en potentiel bedre mulighed for, at der etableres en vis biomasse i filteret, der kan fjerne nogle af de lettere omsættelige opløste komponenter under tømningen. Effekten af bionedbrydningen er dog svær at estimere, da det afhænger meget af selve belastningsstrukturen om bakterierne overlever og er "klar" når der kommer en ny hændelse. De udførte forsøg, der dokumenterer, at der kan etableres en biofilm er udført på kontinuert eller batchvis tilførsel, hvor filteret er vandmættet 100% af tiden, hvilket ikke vil være tilfældet i en driftssituation. Det vil derfor være fordelagtigt at indsamle data om nedbrydning under forhold, der minder mere om det et filter vil blive udsat for med varierende belastning af både stof og vandmængder med længere tørre perioder imellem.

Filteret vil dog stadig være mindst lige så godt som den nuværende BAT løsning og sandsynligvis bedre end et vådt bassin i dette tilfælde.

KONKLUSION

På baggrund af de gennemgåede referencer kan det konkluderes:

- Rockflowfiltre dimensioneret med en hydraulisk belastning på 3 mm/s (eller mindre) har en effekt overfor SS, COD, PAH, tungmetaller, næringssalte og PAH'er, der er på niveau med den nuværende BAT løsning med våde bassiner på mindst 250 m³ permanent vådt volumen/red ha.

- Hvis der stilles krav om reduceret udløbstal til fx 1 l/s red ha vurderes det, at rensegraden af et korrekt dimensioneret Rockflow filter vil være større end en løsning med våde bassiner. Dette skyldes tilstedeværelsen af et stort overfladeareal, der både kan facilitere etablering af en biofilm, der kan nedbryde opløste organiske stoffer og sorption i filteret. Sorptionsevnen er formentlig primært knyttet de harpikspolymerer (organisk stof), der knytter fibrene sammen. Det er derfor særligt de organiske stoffer der sorberes, selvom også metallerne bindes i et mindre omfang (sammenlignet med jord).
- Opløst fosfor passerer tilsyneladende stort set upåvirket gennem Rockflowfilteret. Hvis der er skrappe krav til opløst fosfor for en udledning, vil en tilsætning af et aluminium eller jernsalt til indløbsstrømmen muligvis kunne fælde opløst fosfor, der så vil kunne blive fysisk filtreret i filteret.

REFERENCER

- /1/ Lapinus (2020): Rockflow – Design Guide vers. 1.1
- /2/ Vollertsen, J., Hvidtved-Jacobsen, T., Nielsen, A.H. (2012): Faktablad om dimensionering af våde regnvandsbassiner. Separatvand.dk.
- /3/ Teknologisk Institut (2020): Filtertechnologi til rensning af regnvand i tætbebyggede områder. Udgivet af Miljøstyrelsens MUDP program (in press).
- /4/ Sørensen, K.B., Nielsen, L.H., Damkjær, L (20XX): At-platform biofiltration of discharge water. Paper.
- /5/ Beltman, W.H.J., Matser, A.M., Groenenberg, J.E. (2019): Sorption of acenaphthene, phenanthrene, zinc, copper and dissolved phosphate to stonewool. Waageningen University. Funded by Rockwool Lapinus.
- /6/ Saki, H., Liu, H., Lennartz, B. (2020): Phosphate Sorption onto Structured Soil. Soil Systems, 4, 21, 13 pages.
- /7/ Wanko, A., Laurent, J. (2014): Biological filtration with stone wool: comparative assessment with sand and coco fiber. Icube Laboratory.
- /8/ Koefoed, M.V.W., Friis-Holm, L.B., Emborg, M., Lybye, D. (2016): Teknologi til rensning af vand fra trafikerede områder. Naturstyrelsen. MUDP programmet.
- /9/ Budach, A. (2017): Modular stone wool filter for the treatment of urban rainwater runoff. Master thesis, Technische Universität Dresden /Aarhus University.
- /10/ Dubsky, M., Sramek, F. (2009): The effect of rockwool on physical properties of growing substrates for perennials. Hort. Sci. (Prague), 36, pp. 38-43.
- /11/ G. Greeuw, W. van der Star, P. Mingou (2017) Lapinus mineral wool mechanical and environmental parameters

