

ROCKFLOW

Anvendelse af Rockflow til nedsivning, magasinering og rensning af regnvand

28-06-2023

**Anvendelse af Rockflow til nedsivning, magasinering og
rensning af regnvand**

ROCKFLOW

Anvendelse af Rockflow til nedsivning, magasinering og rensning af regnvand

Kunde	ROCKFLOW
Rådgiver	WSP Klik eller tryk her for at skrive tekst. Klik eller tryk her for at skrive tekst.
Projektnummer	21000612
Dokument ID	Klik eller tryk her for at skrive tekst.
Projektleder	Isak Hjort Dahm
Kvalitetssikret af	Søren Gabriel
Godkendt af	Klik eller tryk her for at skrive tekst.
Udgivet	28-06-2023
Version	2.1

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	5
2.	Hvad er Rockflow?	6
2.1	Produkter fra Rockflow	6
3.	Forundersøgelser og valg af anlægstype	7
4.	Myndighedskrav og forundersøgelser	9
4.1	Sandfang før tilløb til Rockflow og rensning af fordelingskanaler	9
4.2	Nedsivningsanlæg	9
4.3	Forsinkelse før afledning til kloak	9
4.4	Rensning før udledning til recipient	9
4.5	Forsinkelse og rensning før udledning til recipient	9
4.6	Skybrudsmagasiner	9
5.	Udformning af nedsivnings-, forsinkelses- og renseløsninger med Rockflow	10
5.1	Generelt om opbygning af faskiner, magasiner og filtre i Rockflow	10
5.2	Udformning af tilløb, udluftning og rensebrønde	12
5.2.1	Indløb	13
5.2.2	Indløb - vejbrønde	13
5.2.3	Indløbsmanifolder	17
5.2.4	Udluftningskanal	19
5.3	Nedsivningsanlæg	20
5.4	Forsinkelse før afledning til kloak	21
5.5	Rensning før udledning til recipient	22
5.6	Forsinkelse og rensning før udledning til recipient	23
5.7	Skybrudsmagasiner	24
5.8	Nedsivningsanlæg som skybrudsmagasiner	25
6.	Dimensionering af nedsivningsanlæg, forsinkelses- og renseløsninger med Rockflow	27
6.1	Dimensionering af nedsivningsanlæg	27
6.1.1	Dimensioneringseksempel for nedsivning	28
6.2	Dimensionering af lokal forsinkelse før afledning til kloak	29

6.2.1	Dimensioneringseksempel for forsinkelse	30
6.3	Dimensionering af renseløsninger	31
6.4	Dimensionering af skybrudsmagasiner	32
6.4.1	Dimensioneringseksempel for skybrudsmagasiner	32
7.	Drift og levetid	33
7.1	Dokumentation af drift og levetid	33
7.1.1	Udførte tests	33
7.1.2	Resultater af levetidstests	33
7.1.3	Korrekt rensemetode til Rockflow materiale	35
7.1.4	Målte hydrauliske ledningsevner ved levetidstest	35
7.1.5	Inspektioner af fungerende magasiner	36
7.1.6	Laboratorieundersøgelser af brugt Rockflow materiale	36
7.1.7	Konklusioner på tilstopningsforsøg og anbefalinger	36
7.2	Anvisning for drift	36
7.3	Driftsomkostninger	37
7.4	Forsinkelses- og rensedbassin: Thorshave, Odense	38
8.	Inspiration og anlægseksempler	38
8.1	Vejbede, Odense, Danmark	38
8.2	Forsinkelse og rensning – under cykelstier	40
8.3	Forsinkelse og filtrering under vej	41
8.4	Filter, Nivå, Danmark	42
8.5	Wadi: Heel, Holland	43
9.	Referencer	44
10.	Bilag om Rensning: Vurdering af renseseffekt i Rockflow	45
1.1	Baggrund	46
1.1.1	Dimensioneringsforudsætninger	46
1.2	BAT i dag	46
1.3	Rensforsøg	47
1.4	Projektion af effekt under driftsforudsætninger	52
1.5	Konklusion	53
1.6	Referencer	54

1. Indledning

Denne anvisning omhandler design af løsninger til nedsivning af regnvand i faskiner, forsinkelse af regn og skybrud i magasiner og rensning af regnvand i filtre opbygget af Rockflow™ elementer. 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 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. Dynamisk hydraulisk modellering af vandbevægelse i magasiner kan gøres i f.eks. Mike+. En anvisning og hjælpeværk hertil er tilgængelig på Rockflows [web-page](#).

I anvisningen indgår eksempler på anvendelse af Rockflow elementer 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 elementer i regnvandshåndtering er en relativt ny teknologi, der er taget i kommerciel brug i 2017. 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 2022.

Anvisningen er udarbejdet af WSP-Danmark for Lapinus (Rockflow). 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 elementer.

2. Hvad er Rockflow?

Rockflow er et stenuldsmateriale med et porevolumen på 95%. Hvis det er indbygget i magasiner og filtre, hvor det frit kan afvande til jorden, har det et effektivt porevolumen på +90%. Hvis det er pakket ind i en membran, er det effektive porevolumen på 70-90 procent afhængigt af design og opsætning. Ved tæt bund, vil de nederste 15 cm af Rockflow elementet stå permanent vandfyldt, grundet retention i ulden. Ved at anlægge med fald på magasinet, kan dette tab reduceres så der kan opnås tæt på 90 procent volumen. Nærmere konkretisering kan findes på Lapinus Web-page via. Dette link: <https://rockwoolgroup.showpad.com/share/FMClvmKW6BFCdzGFV1mzq>

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 indløbskanalen i stenulden, og det sker på en måde, så stenuldens evne til at transportere og magasinere vand kan genoprettes ved rensning/spuling af kanalerne.

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 elementer, der kan bygges sammen til et magasin. Elementerne 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://rockwoolgroup.showpad.com/share/3kaZl2awGisjWt8fMGKgG>

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 forklaret detaljeret i de følgende kapitler.

Anlægstype	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. Se eksempel i kap. 8.2 og 8.5.	Optager ikke plads på terræn Kan etableres uden geotekstil Tåler vægtbelastning Fordelingskanal skal kunne spules Lang levetid kan opretholdes ved spuling af indløbskanaler efter behov
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. Et fast afløbstal kan opnås ved etablering af vandbremse. Se eksempel i kap. 8.1.	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Tilløb kan være begrænset af hydraulisk kapacitet Fordelingskanalen skal kunne inspiceres og spules Lang levetid kan opretholdes ved spuling af indløbskanaler efter behov
Forsinkelse og rensning af regnvand før udledning til recipient	Rockflow forsinkes og renses regnvandet, så det levet op til udledningskrav. Anvendes som alternativ til regnvandsbassiner til forsinkelse og rensning af separatkloakeret regnvand før afledning til recipient. Et fast afløbstal kan opnås ved etablering af vandbremse. Se eksempel i kap. 8.3 og 7.4	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Fordelingskanalen skal kunne spules Lang levetid kan opretholdes ved spuling af indløbskanaler efter behov
Rensning af regnvand før udledning til recipient	Rockflow fungerer som rent filter, der renses regnvandet, så det lever op til udledningskrav. Anvendes til rensning af regnvand, hvor rensbassiner og filterløsninger i terræn ikke kan indpasses. Se eksempel i kap. 8.4.	Optager ikke plads på terræn Rensning svarende til BAT Tilløb er begrænset af hydraulisk kapacitet en skal kunne spules Lang levetid kan opretholdes ved spuling af indløbskanaler efter behov
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 Lang levetid kan opretholdes ved spuling af indløbskanaler efter behov

I eksempelsamlingen i kapitel 7.4 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 reducere driften skal det vand, der tilføres faskiner, filtre og magasiner af Rockflow ledes ind i anlægget gennem en sandfangsbrønd eller vejbrønd med sandfang. Det materiale, der aflejres i Rockflow samles i fordelingskanalerne. Derfor skal der etableres brønde, så kanalerne kan inspiceres og spules (retningslinjer vedrørende rensebrønd fremgår af afsnit 5.2 og vedrørende rensning/spuling af kapitel 6).

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, skel og 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 og vil normalt kræve etablering af brønd med vandbremse.

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 og /7/ 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 renseseffekt og forsinkelse dokumenteres. Forsinkelsen skal sikre, at afløbstallet i udledningstilladelsen overholdes. Dette dokumenteres med beregninger jf. kapitel 6.

4.6 Skybrudsmagasiner

Skybrudsmagasiner omfatter magasiner af nedbør, der kommer så intenst, at den ikke kan håndteres i afløbssystemet. Volumen til skybrudsmagasiner kan indbygges som et ekstra volumen i anlæg til forsinkelse af hverdagsregn eller som selvstændige magasiner, der kun belastes hydraulisk under skybrud. Der skal sikres sammenhæng mellem den hydrauliske belastning af anlægget under skybrud og længden af fordelingskanaler i anlægget.

5. Udformning af nedsvivnings-, forsinkelses- og renseløsninger med Rockflow

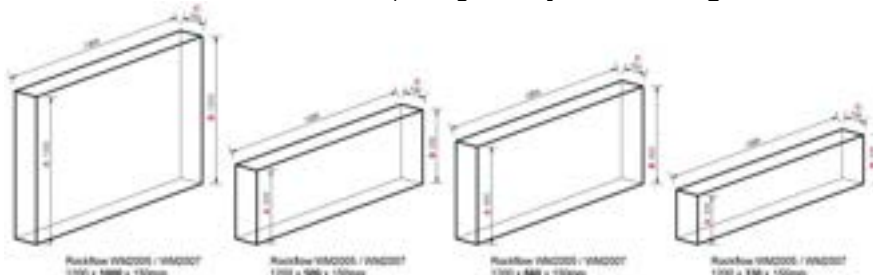
Nedenstående beskrivelser omfatter anlæg til nedsvivning, forsinkelse og rensning af hverdagsregn og magasinering af skybrud.

I kapitel 6 findes beskrivelser af og eksempler på metoder til dimensionering af nedsvivnings- og magasineringsløsninger med Rockflow, mens kapitel 7.4 rummer eksempler på udformning af anlæg.

Beskrivelse af, hvordan faskiner og magasiner anlægges med Rockflow kan hentes via hjemmesiden: <https://www.rockwool.com/rockflow-anlaeg>

5.1 Generelt om opbygning af faskiner, magasiner og filtre i Rockflow

Før vandet ledes til faskiner, magasiner eller rensfiltre af Rockflow, skal vandet passere en sandfangsbrønd. I både faskiner, magasiner og rensfiltre af Rockflow tilføres vandet via en fordelingskanal i stenuldselementerne. Fordelingskanalerne er $\text{\O}110$ mm og elementernes mål er $120 \times 100 \times 15$ eller $120 \times 50 \times 15$ cm (se Figur 2 **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**).



Figur 2: Standard konfigurationer af Rockflow i 1,2 længde og 0,15 bredde og med højder på: 1,0; 0,5; 0,66 og 0,33 cm højde.

Rockflow leveres på standard euro-paller, se Figur 3.



Figur 3: Rockflow fås med dimensioner på $120 \times 100 \times 15$ eller $120 \times 50 \times 15$ 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.

LAR og forsinkelsesbassiner udformes med fordelingskanaler i bunden og udluftningskanaler i toppen, se Figur 4.



Figur 4: Indløbskanal i bunden af et Rockflow magasin, med udluftningskanalen vist i toppen. Normalt vil man modsat illustrationen anbefale, at vandet tilføres i den øverste fordelerkanal.

Rockflow i renseløsninger (også med forsinkelsesvolumen), udformes med fordelingskanaler i toppen og samtidig skal der placeres tilsvarende fordelingskanaler som afløb i bunden af anlægget. Kanaler og rørføring til kanaler skal udformes så der er adgang for spuling.

Fordelingskanalerne vil under almindelig brug af anlægget med tiden blive fyldt af aflejret SS som en del af rensfunktionen i et filteranlæg. Aflejringerne vil gradvist nedsætte den hydrauliske kapacitet af anlægget. Anlægget skal derfor udformes, så fordelingskanalerne kan spules (se afsnit 6.2 om rens metode). Dette kræver, at der etableres en rensbrønd for enden af fordelingskanalerne (nærmere beskrevet i afsnit 5.2 og 7.2).

Rør og rørbøjninger, der fører vand ind i et Rockflow magasin skal udføres efter gældende praksis og således, at der er adgang for tv-inspektion og spuleudstyr.

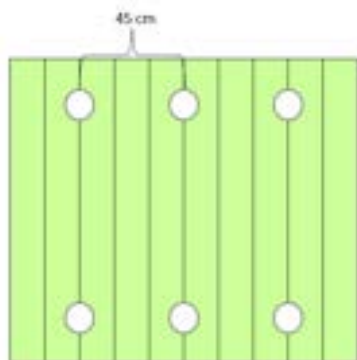
Den hydrauliske belastning af Rockflowelementerne er begrænset af fordelingskanalens kapacitet og af, at vandet skal kunne spredes i rockflowelementet, og dette er med til at sætte rammerne for udformning og dimensionering af faskiner, magasiner og filtre af Rockflow. På baggrund af anvisninger fra Lapinus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

- Fordelingskanalen, der leder vandet ind i faskinen, har under forudsætning af et fald på 10 promille en kapacitet på $11,5 \text{ l/s}^1$ 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 820 m^2 opland pr. fordelingskanal, hvilket medfører en maksimal længde af kanalerne på 33 m mellem indløb.

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 tilstopningsforsøg /6, 8/ forudsættes den dimensionerende permeabilitet at være 1 l/s/m^2 filteroverflade (kanaloverflade), svarende til en permeabilitet på 10^{-3} m/s . Dette svarer til, at hver løbende meter Rockflow kanal ($\varnothing 110$) kan optage $0,35 \text{ l/s}$. Hvis en to-årshændelse på 140 l/s ha

¹ Under forudsætning af, at den maksimale afstand mellem indløb til Rockflow magasinet og brønd/rørføring er 5 m

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 55 m² opland pr. m² horisontalt filterareal, hvis fordelingskanalerne placeres med 45 cm mellemrum i anlæg af 1 m højde. Dvs. for anlæg af 1 m højde skal der være én indløbskanal for hver tredje Rockflow element i tværsnit, se Figur 5.



Figur 5: TV. Afstand mellem indløbskanaler i tværsnit af et Rockflow magasin. Her vist med én indløbskanal i bund eller top for hver tre Rockflow elementer, svarende til 45 cm mellem to kanaler, i én meter høje elementer.

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 55 m² opland, hvis filteret opbygges med en fordelingskanal pr. 45 cm filter af 1 m høje elementer.

5.2 Udformning af tilløb, udluftning og rensebrønde

Anlæg af Rockflow skal som udgangspunkt etableres, så afstanden mellem fordelingskanalerne ikke overstiger 1,2 m. I filteranlæg, kan der arbejdes med kortere afstand mellem kanalerne for at øge indløbs- og filterarealet.

For at forlænge levetiden og reducere driftsbehovet skal tilløb til Rockflowanlæg ske via en sandfangsbrønd. Det er vigtigt, at sandfangsbrønden tømmes løbende. Der skal vises særlig agtpågivenhed ved jordarbejder i oplandet til Rockflow anlæg. Det tilrådes, at de arealer, der afleder til faskinen eller magasinet fejles jævnlige i anlægsperioden for at hindre, at der tilføres unødige store mængder materialer til anlægget.

Hvis Rockflow etableres som et filter (gælder også, hvor det kombineres som forsinkelsesmagasin) skal vandet ledes ind i kanalen i toppen af anlægget og ud gennem den nederste fordelingskanal. Herved sikres det, at alt vand filtreres gennem stenuldsmatricen. Der skal være en særskilt udluftningskanal i toppen af anlægget, som forbindes til en udluftningsbrønd. Det anbefales at lægge én udluftningskanal for minimum, hver tredje indløbskanal.

I faskiner og magasiner 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 udluftning fra en kanal i toppen af anlægget, se Figur 4.

5.2.1 Indløb

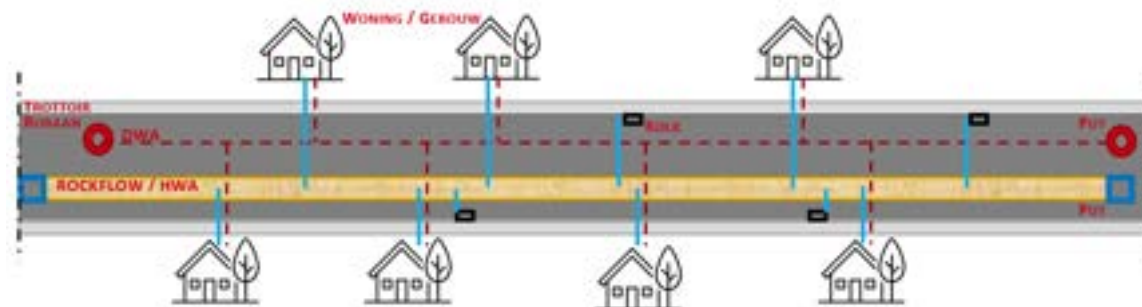
For at sikre mulighed for inspektion og rensning af fordelingskanalerne skal der anlægges spulebrønde eller spuleadgang via brønde. Tilløbsbrønde og udluftningsbrønde kan også anvendes som spulesbrønde, hvis der sikres behørig adgang for tv-inspektions kamera og spuledysser. Kanaler og rørføring til kanaler skal derfor udformes så der er mulighed for spuling (dvs. der må ikke være rørbøjninger med vinkler over 45° , hertil gerne min. 0,5 m rør mellem hver bøjning og det skal være muligt at spule sediment i fordelerkanalerne ud i en brønd til opsamling/sugning).



Figur 6: På skitsetegningen (øverst tv), ses eksempel på rørføring med max 45° bøjninger mellem Rockflow anlæg og brønd. Eksempel herpå ses også på fotos nederst tv og th.

5.2.2 Indløb - vejbrønde

Ved regnvandshåndtering i oplandet, kan en regnvandsledning erstattes af et Rockflow bassin, som kombinerer afvanding med forsinkelse/nedsivning og/eller rensning. Disse bassiner kan anlægges under veje, cykelstier, fortove, p-pladser og deslige.



Figur 7: Afkobling i oplandet via aflange Rockflow bassiner – "linje" bassiner. Der skal være sandfang ved alle nedløb/vejbrønde.

I sådanne "linje"-bassiner sker tilledning af overfladevand til bassinet løbende via vejbrønde med sandfang. Tilledningen kan enten ske via en vejbrønd forbundet til et rørstykke, se Figur 8.



Figur 8: Øverst. Skitse af en faskine udført med Rockflow elementer. Vand tilføres via brønd med sandfang, via indløbskanal i bunden (se foto midt tv., nederste foto tv. og th.) og ventilation i øverste kanal ført ud i separat luftudtag i fortov (se nederste foto til th.) Vandet afledes via en sandfangsbrønd (se nederste foto tv.) til fordelingskanalen i bunden af anlægget (se midterste foto tv.) mens den øverste kanal fungerer som udluftning for den luft, der skal ud, når faskinen bliver fyldt med vand (se midterste foto tv og th.).

Tilledning kan også gøres ved at vende to Rockflow batts på tværs af bassinet.

Eksempler herpå ses på Figur 10. Den gennemgående rørføring i magasinet udføres med et kopbor, så der sikres inspektions- og rensedgang samt udluftning af anlægget, se Figur 9.

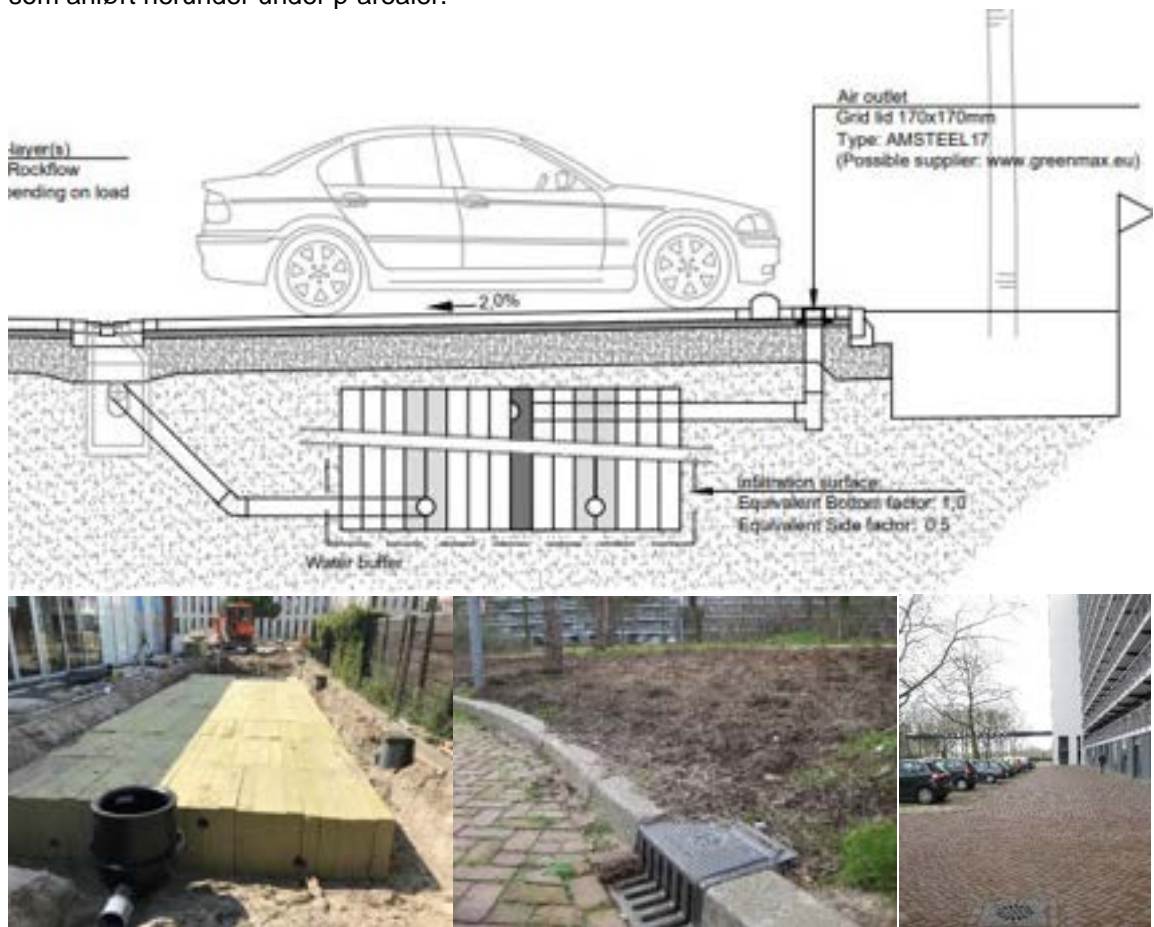


Figur 9: For at lave en tilslutning mellem de to tværstillede Rockflow elementer, bores et $\varnothing 110$ hul med et kopbor.



Figur 10: Øverst tv. To tværstillede Rockflow batts med en kanal i bunden og/eller top gør det muligt at koble vejbrønde til anlægget. Øverst th. Rørføring monteres i kanalen på de to tværstillede Rockflow batts og forbindes med vejbrønd eller tagedløb. Midt Tv. Rørføring fra bassin (pakket ind i membran. Midt Th. Rendestensbrønd med sandfang med rørføring til bassin. Nederst TV. Tilslutning mellem rendestensbrønd og Rockflow bassin. Nederst TH. Vejbrønd og rensebrønd til magasin indpakket i membran, tildækket med grus.

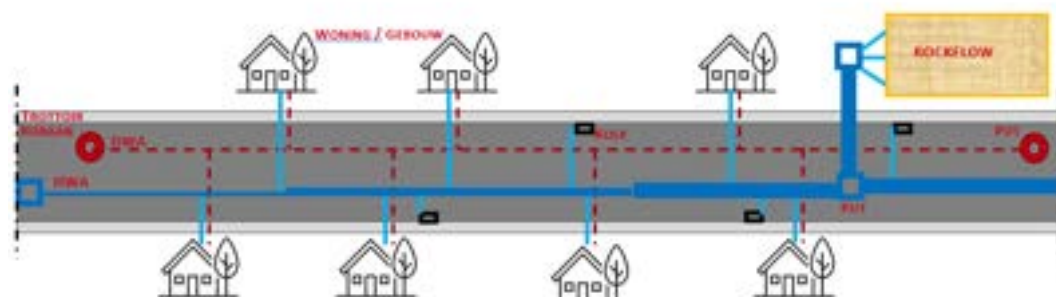
Successiv forsinkelse via flere bassiner med indløb fra vejbrønde kan for eksempelvis opbygges som anført herunder under p-arealer.



Figur 11: Rockflow anlæg under parkeringsplads, skitseret øverst, hvor overfladevandet tilledes via vejbrønd, nederste foto th. Udluftning ses på nederste foto th. Inspektion og spuleadgang via central brønd, nederste foto tv.

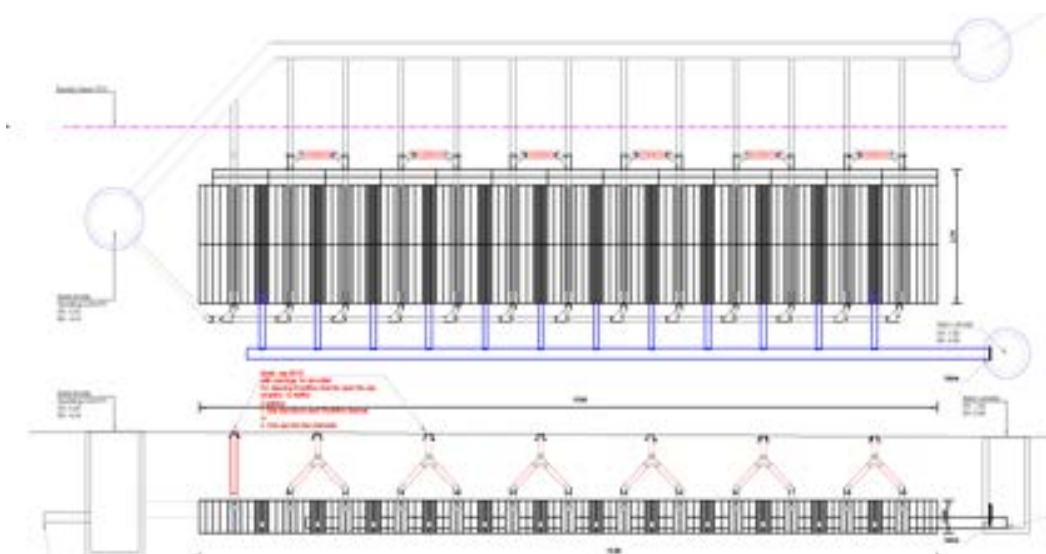
5.2.3 Indløbsmanifolder

For central LAR/forsinkelse- og/eller rensbassiner, sker tilledning med overfladevandet, oftest via en central brønd eller indløbsmanifold, hvorfra vandet ledes ind i magasinet, se Figur 12.



Figur 12: Central LAR eller forsinkelse/rene bassin.

Indløbet sker her via en eller flere brønde eller et manifold, hvor overfladevandet føres ind i bassinet via flere indløbskanaler i magasinet, se Figur 13



Figur 13: Øverst skitsetegning af anlæg med et indløbsmanifold. Nederst tv. Indløbskanaler i toppen af Rockflow filteret. Nederst midt: indløbsmanifold med inspektions- og spuleadgang ført til terræn. Nederst tv.: Top af bassin. Dæksler til indløbsrør placeret i p-plads og udluftnings svanehals.

Tilledninger fra større oplande, kan kræve større kapacitet for at håndtere de større flow. Her kan eksempelvis anvendes plastkassetter, der placeres inde i Rockflow anlægget, med direkte kontakt til fordelingskanaler. I sådanne anlæg anbefales at tilslutte forrensning af suspenderet stof.



Figur 14: Vandet kan også fordeles i anlægget ved at lægge en plastfaskine (sort) mellem sektioner med Rockflow-bats. Den sorte tilløbsbrønd(th) fungerer som sandfangsbrønd og giver mulighed for at spule plastfaskinen.

5.2.4 Udluftningskanal

Udluftningskanalen kan forbindes til tilløbsbrønden, se Figur 15.



Figur 15: Udluftning af Rockflow anlæg. Udluftningsrør fra anlægget føres til terræn.

Hvis der er risiko for, at tilløbet oversvømmes med stående vand på terræn, skal udluftningen forbindes til en separat udluftningsbrønd, der ikke kan oversvømmes, se Figur 16.



Figur 16: Udluftningen kan ske via. Et særskilt dæksel med åbent dæksel (se foto tv.), svanehals eller som tilslutning i en rendestensbrønd (se foto th).

5.3 Nedsivningsanlæg

Faskiner af Rockflow kan anvendes til nedsivning af regnvand (principskitse af Rockflowfaskine fremgår af Figur 17. 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 afløbstallet til Forsynings 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.



Figur 17: Principskitse for faskine/magasin 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.

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 med Rockflow batts. 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 derudover 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 hulrumsprocent 90%.
- 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. Det betyder at man ved dimensionering med spildevandskomiteens regneark, kan regne med nedsivning gennem både bund og sider.

Ved etablering af faskiner skal den generelle grænse på 55 m² opland pr. m² rockflowelement/fordelerkanal overholdes og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 820 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 (eksempel på opbygning af Rockflowmagasin fremgår af Figur 18. 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 18: Rockflowmagasin anlagt som forsinkelse før afledning til kloak. Hedemora, Sverige. I det viste tilfælde er der anvendt en afstand mellem indløbskanalerne på 1,2 m, og tilløb sker modsat anvisningens anbefaling i bunden 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 (udløbskanalen), der kan indregnes i magasinvolumen.

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 forsinkelsesbehovet og en effektiv hulrumsprocent i Rockflow på 70-90 % afhængig af opsætning. 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. 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 55 m² opland pr. m² filter og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 820 m², svarende til en maksimal længde af en fordelerkanal på 33 m.

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 2022 er det kun korrekt udformede og dimensionerede regnvandsbassiner udformet efter /5/, som lever op til BAT-kravet uden yderligere vurderinger.

I Bilag 1 og /7/ findes vurderinger af Rockflows renssevne og en sammenligning mellem rensning af separatkloakeret regnvand i magasiner af Rockflow med gældende BAT (rensning i bassiner). På baggrund af disse sammenligninger vurderes det, at der kan opnås en renseseffekt svarende til BAT i korrekt udførte rensesmagasiner af Rockflow. I ansøgning om udledningstilladelse kan det derfor med udgangspunkt i bilaget og rapporten 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 ét 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.

Rensefiltre 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 55 m² opland pr. m² filter og så belastningen af hver fordelingskanal ikke overskrider 820 m². Da filteret ved dette udgangspunkt har en maksimal kapacitet, skal der tages stilling til, hvor vandet løber hen når filteret er hydraulisk overbelastet.

Hvis man kun ønsker at rense f.eks. 95% af årsnedbøren, kan filteret dimensioneres mindre. I det tilfælde skal der etableres afledning for det vand der går i overløb når filteret overbelastes. Tilstopningsforsøg har vist den største risiko for tilstopning af filterets fordelingskanaler sker, når filteret overbelastes. Denne konfiguration kan derfor medføre øget behov for rensning/spuling.

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 4.3, 5.4 og 5.5). 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 kanal og afledes gennem den nederste. Herved sikres, at alt vand renses ved passage gennem filteret.

Ligesom for de øvrige magasinerings- og renseløsninger, gælder det for magasiner før udledning til recipient, at den hydrauliske belastning af magasinet ikke må overskride 55 m² opland pr. m² filter, og at der ikke bør kobles mere end 820 m² filter på hver fordelingskanal.

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

5.7 Skybrudsmagasiner

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 elementer og afløbet fra dem kan enten ske ved forsinket afledning til eksisterende kloak eller ved nedsivning (eksempel på skybrudsmagasin under opbygning fremgår af Figur 19).

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 forurenede 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 (eksempel på permeabel belægning fremgår af figur 8). 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 og hvilken intensitet det kommer med. 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 55 m^2 opland pr. m^2 filter, og at der ikke bør kobles mere end 820 m^2 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 magasinivolumen.



Figur 19: 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 hvor hurtigt, 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 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.

5.8 Nedsivningsanlæg som skybrudsmagasiner

Skybrudsmagasiner kan oplagt etableres ved at indbygge ekstra volumen og ekstra fordelingskanaler 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 volumen til de korte, intense sommerregn, og at de derfor i praksis har volumen til også at håndtere skybrud af en vis størrelse. Derfor vil mange nedsivningsanlæg med en lille ekstra kapacitet samtidig kunne

fungere som skybrudsmagasiner. Det vil dog i mange tilfælde kræve ekstra fordelingskanaler for at få vandet ind i magasinet under skybrud.



Figur 20: 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 og derfor 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 nedslivningsanlæg, 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 hver løbende meter fordelingskanal maksimalt må belastes med vand fra 25 m² opland og at hver fordelingskanal maksimalt kan forsyne 820 m² filter.

6.1 Dimensionering af nedslivningsanlæg

Hvis man ønsker at nedslive 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 nedslivningsanlæg på terræn og i faskiner, og Rockflow er i den sammenhæng at betragte som faskineløsninger (eksempel på vejbed, som kan nedslive til underliggende Rockflow faskine fremgår af figur 9).

Følgende forudsætninger skal være opfyldt for at nedslive regnvand:

- Jordbunden skal være velegnet til nedslivning. Vær opmærksom på, at massive lerlag kan begrænse grundvandsdannelsen, så nedslivning 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 nedslives 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 nedslivningsanlægget overbelastes.

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

For dimensionering nedslivningsanlæg for regnvand gælder følgende:

- Til dimensionering af nedslivningsanlæg 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://spildevandskomiteen.dk/skrifter/>.
- Hvis nedslivningsanlægget 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 nedslivningsanlæg har begrænset levetid anvendes en sikkerhedsfaktor på 1,1
- Hulrumsandelen skal for en Rockflowfaskine sættes til 0,9.
- Rockflow oplyser, at der sker nedslivning gennem bunden i deres faskiner. Nedslivningen 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 nedslivningsevne 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 (55 m² opland pr. m² anlæg ved tre fordelingskanaler pr. m) og maksimalt 820 m² opland pr. fordelingskanal skal overholdes. De fleste faskiner vil dog være så store, at de rigeligt 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 separat kloakeret område. Derfor skal anlægget dimensioneres til T=5.

Beregning af den vandmængde der må afledes

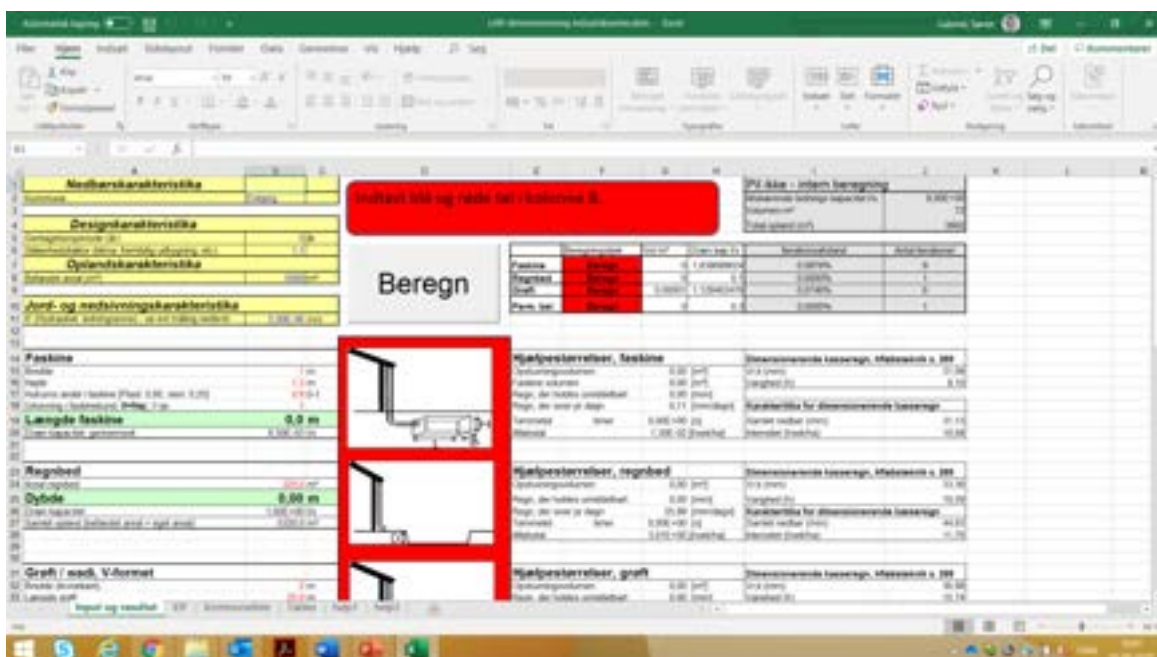
- Grundareal: 20.000 m² (2 ha)
- Afløbskoefficient for erhvervsområder: $\phi = 0,6$, svarende til, at der må afledes fra 12.000 m²
- Befæstet areal 17.000 m²

Beregning af nødvendigt nedsivningsvolumen (figur 10)

- 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 nødvendig 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 21: 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 nedsvivning, 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/regionalregnrække_ver_4_1.xls. Opdateringer af regnearket vil kunne findes via Spildevandskomiteens hjemmeside: <https://spildevandskomiteen.dk/skrifter/>
- Der skal altid laves en kortlægning af, hvor vandet strømmer hen, når bassinet overbelastes og oversvømmer. 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.
- Hulrumsandelen skal for en Rockflow magasin sættes til mellem 0,7 og 0,9 afhængig af opbygning, se afsnit 2.
- For at sikre bassinets hydrauliske funktion skal der i tilslutningen til kloakken etableres en vandbremse f.eks. en afløbsregulator eller en anden form for neddrøsning af afløbet, der sikrer overholdelse af afløbstallet

Beregning af det nødvendige bassinvolumen:

- Hvis tilslutningstilladelsen er givet som et fast afløbstal, beregnes det nødvendige bassinvolumen 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 bassinvolumen 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 **oplade 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

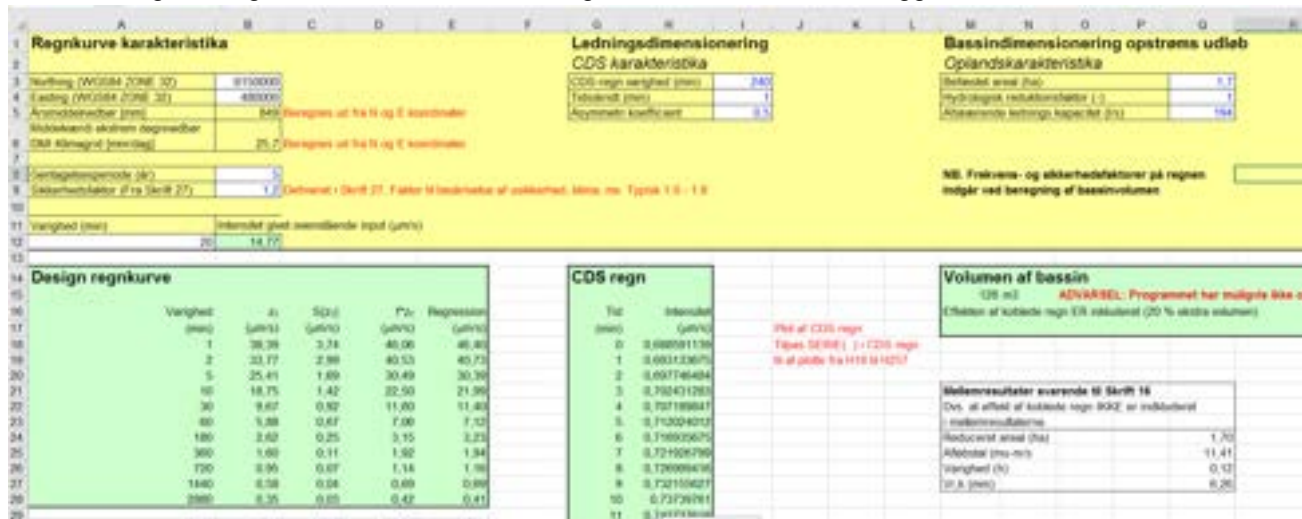
- Grundareal: 20.000 m² (2 ha)
- Afløbskoefficient for erhvervsområder: $\phi = 0,6$, svarende til, at der må afledes fra 12.000 m²
- Befæstet areal 17.000 m²
- Overskridelse af planlagt befæstet areal: $17.000 \text{ m}^2 - (0,6 \cdot 20.000 \text{ m}^2) = 5.000 \text{ m}^2$

Det nødvendige bassinvolumen beregnes, så bassinet kan rumme en hændelse svarende til $T=5$. I Esbjerg fastlægges afløbstallet til 171 l/s ha red svarende til $T=2$ inkl. en sikkerhedsfaktor = 1,2. Med en planlagt afløbskoefficient på 0,6 betyder det, at "Afskærende lednings kapacitet" i SVK-regnearket udgør $0,6 \cdot 2 \text{ ha} \cdot 171 \text{ l/s ha} = 205 \text{ l/s}$.

Med udgangspunkt i en placering i f.eks. Esbjerg beregnes det nødvendige bassinvolumen i Spildevandskomiteens bassinregneark til 128 m³ (Figur 22).

Bemærk, at programmet advarer om, at beregningen ikke er optimeret. Dette har kun meget begrænset betydning ved store afløbstal, og beregningen kan betragtes som retvisende.

Med en maksimal hydraulisk belastning af magasinet på 55 m² pr. m² magasin kræver et opland på 17.000 m² et magasinareal på 243 m². Dette overstiger det nødvendige magasinvolumen på 128 m³ (svarende til 128 m² med en magasindybde på 1 meter). I dette tilfælde er det altså indløbs hastigheden gennem stenulden, der er afgørende for, hvor lille anlægget kan laves.



Figur 22: Screenshot af bassinregnearket for det beskrevne eksempel

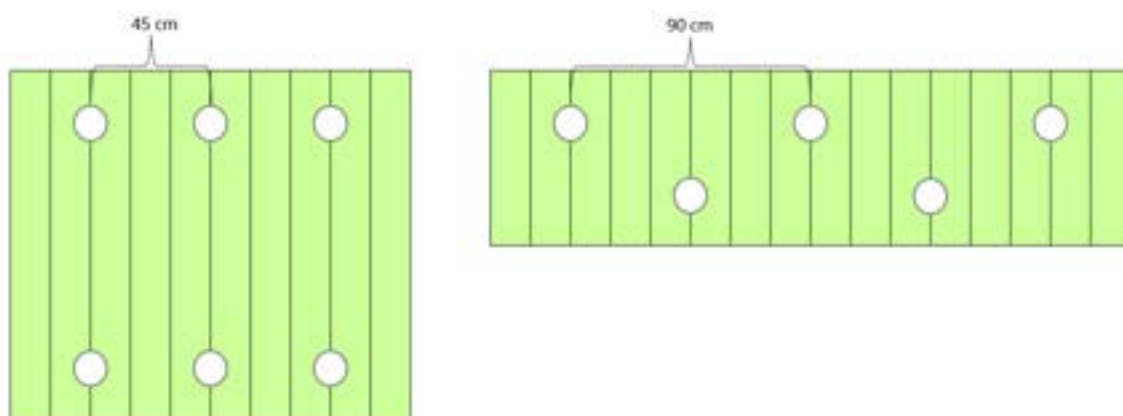
6.3 Dimensionering af renseløsninger

Ved rensning er filterets dimension bestemt af størrelsen af det areal, regnvandet kommer fra og hvor stor en andel af årsnedbøren, man ønsker at rense. Hvis der ikke er nogen forsinkelse før filteret, anbefales det, at filteret dimensioneres efter en 10-minuttersintensitet, svarende til et tilløb på 140 l/s pr. ha befæstet opland. Ønskes 95 procent af årsnedbøren renses, dimensioneres til et tilløb på 65 l/s pr. ha. 10-minuttersintensiteten ved en given hændelse findes ved opslag i Spildevandskomiteens bassinregneark. Se ovenstående afsnit om dimensionering af magasineringsløsninger.

Ved dimensionering af filteret er det i praksis vandets evne til at spredes i stenulden, der er begrænsende. På baggrund af /6/ forudsættes vandet at sive ned i filteret med 1 mm/s, svarende til, 1 l/s pr. m² filterkanal i elementer af 1 m højde. Det nødvendige filterareal til håndtering af en 2-årshændelse (140 l/s ha) er på den baggrund 180 m³ filter pr. ha opland jf. dimensioneringspraksis givet i afsnit 5.1

Arealbehovet til rensning af 95 % af årsnedbøren er 84 m² filter pr. ha opland, forudsat at filteret etableres med en afstand på 45 cm mellem fordelingskanalerne. Dette forudsætter at der etableres afløb for det vand som går i overløb når filterets kapacitet overskrides. Hertil skal der også etableres udluftnings kanaler.

I tilfælde, hvor filteret må begrænses til 0,5 m i højden, kan det lade sig gøre ved at øge afstanden mellem indløbskanaler til 90 cm og forskyde udløbskanalerne i bunden, se Figur 23.



Figur 23: I tilfælde, hvor højden af anlægget er begrænset til 0,5 m øges afstanden mellem indløbskanalerne til 90 cm og udløbskanalerne forskydes. Herved bibeholdes tilnærmelsesvis, den samme afstand mellem ind- og udløbskanal sammenlignet med anlæg af 1 m højde og 45 cm mellem ind- og udløbskanalerne.

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 (volumen og intensitet) man ønsker at håndtere (f.eks. en 100-årshændelse om 100 år).

6.4.1 Dimensioneringseksempel for skybrudsmagasiner

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 magasinivolumen 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 magasinivolumen 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

Afsnit 7.1 bygger på tilstopningstests udført af WSP Danmark A/S /8/, rensninger af Rockflow materiale udført af Peters Kloakkontrol /9/ samt inspektioner af magasiner i funktion i Holland /10/.

7.1 Dokumentation af drift og levetid

WSP Danmark A/S har på vegne af Rockflow udført tests på småskalماغasiner og laboratorieopsætninger af Rockflow for at belyse effekten af tilstopning med suspenderet stof (SS) over tid. De fulde resultater fremgår i /8/. Det konkrete formål med undersøgelserne var at belyse tilstopning med naturligt forekommende SS i regnvand over en levetid på minimum 50 år. Undersøgelsen svarer på følgende tre spørgsmål:

- Når et Rockflow magasin er tilstoppet, er det så muligt at rense/spule det med traditionelle kloakrensemetoder og derved genoprette magasinets hydrauliske egenskaber?
- Hvis dette er muligt, kan det så også lade sig gøre gentagne gange over hele materialets levetid (kan materialet fysisk modstå rensninger over en levetid)?
- Hvis materialet kan renses over en levetid, hvordan udvikler materialets hydrauliske egenskaber sig i løbet af mange gentagne tilstopninger og rensninger? Vil der akkumuleres sediment inde i materialematricen, som, over tid, vil udfylde porevolumen og derved nedsætte den hydrauliske kapacitet (både for flow og volumen)?

7.1.1 Udførte tests

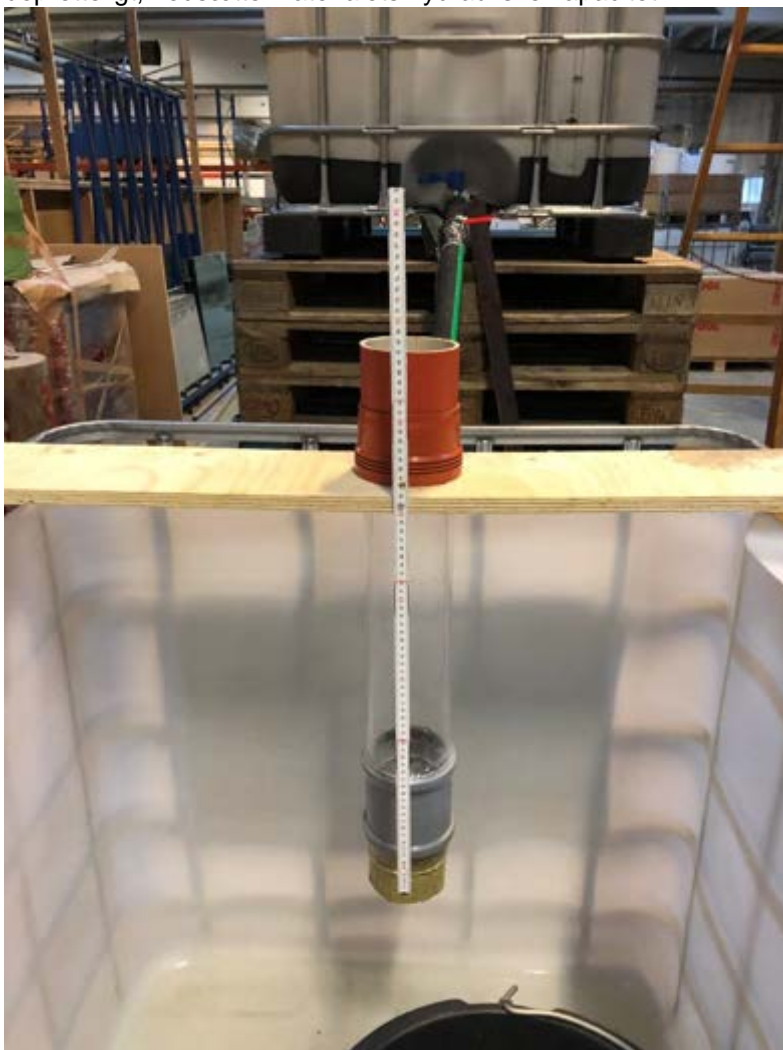
Der er udført forskellige tests på småskalماغasiner for at vurdere effekten af ventilation, åben og lukket indpakning af magasinet, effekten af forskellige testbelastninger (både forskellige flow og indhold af SS), effekten af drænrør i fordelerkanal og det mest relevante: effekten af spuling/rensning i forhold til genopretning af magasinets hydrauliske egenskaber efter tilstopning. Efterfølgende er der udført en laboratorieopsætning med en blok af Rockflow, som er blevet holbarhedstestet over en fuld levetid (defineret som minimum 50 år).

7.1.2 Resultater af levetidstests

For at simulere en hel levetid af Rockflow blev testene udført accelereret if.t. tid. Det blev gjort ved at tilsætte SS i mængder på ca. 6 x naturlig koncentration (ca. 600 mg/l). En acceleration af tilstopningstests er generelt svært idet en acceleration implicit underdimensionerer Rockflow magasinet i forhold til de anviste principper i denne anvisning. Det medfører at fordelerkanal stopper til væsentligt hurtigere end den ville gøre under en naturlig belastning efter anviste forhold og resultatet er, at indersiden af fordelerkanal hurtigt tilstoppes med en tynd hinde af fine partikler, hvorimod observationer af magasiner i funktion viser, at sediment i høj grad stiver op i bunden af fordelerkalernerne over tid /10/. Med baggrund i dette, var formålet overlagt at stoppe fordelerkanal til, for derefter at rense den og undersøge om de hydrauliske egenskaber kunne genoprettes og om de kunne genoprettes over tid og gentagne tilstopninger og rensninger.

Et af de små magasiner blev tilstoppet og derefter renses 50 gange med traditionelt kloakrenseudstyr (15° vinkel på dyse, 8 stråler/huller i dysen og ikke mere end 100 bar tryk) /9/. Med en anbefalet renseshyppighed på 2-3 år /10/ svarer de 50 rensninger til en levetid på 100-150 år. Rockflow materialet tog ikke skade af rensningerne og efterfølgende tests viste at vand kunne ledes ind i magasinet med samme hastighed som før tilstopningen blev udført.

For at simulere en hel levetid for Rockflowmaterialet blev et stykke Rockflow testet i en laboratorieopsætning. Her blev vand med indhold af SS (sediment fra et regnvandsbassin) ledt gennem filteret, hvis overflade direkte svarer til overfladen af en fordelerkanal i et Rockflowmagasin. Ved at undersøge Rockflow materialet på denne måde, kan den konkrete effekt af tilstopning og rensning (som svarer direkte til rensning af fuldskala magasiner) dokumenteres og langtidseffekterne heraf undersøges. Samtidig kunne det undersøges om sedimentet akkumuleredes på overfladen eller også trængte ind i materialets matrice, hvor det over tid vil kunne tilstoppe hulrummet og derved nedsætte det effektive porerumsvolumen og uopretteligt, nedsætte materialets hydrauliske kapacitet.



Figur 24: Opsætning af tilstopningsforsøg. Filteret blev belastet med sediment til det stoppede til og herefter renses ved spuling for at genoprette gennemstrømningen. Dette blev gentaget indtil materialet blev ødelagt af på grund af de mange håndtering efter hvad der svarer til 67 års belastning og rensning.

Laboratorietesten blev udført som tidsaccelereret forsøg i en periode, svarende til 67 år regnet i belastning med SS ud fra en antagelse om en gennemsnitskoncentration af SS i Danmark på 100 mg/l og/eller 500 kg tørstof afsat pr. hektar pr. år og en afledt nedbørsmængde på 500 mm.

Rockflow-pluggen blev ødelagt/slidt op efter 67 års belastning med SS hvilket medførte 484 tilstopninger og rensninger. Det anbefalede rensinterval for Rockflow er hver 2-3 år, hvilket

svarer til forventede 22-34 rensninger på 67 år. Grunden til at filteret gik i stykker, var fysisk slid efter at være blevet skilt ad og samlet for hver rensning – en metode som ikke svarer til spuling/rensning af et fungerende magasin, som renses in situ. Den fysiske håndtering af Rockflow materialet har ført til øget slid over de simulerede 67 års tests.

7.1.3 Korrekt rensemetode til Rockflow materiale

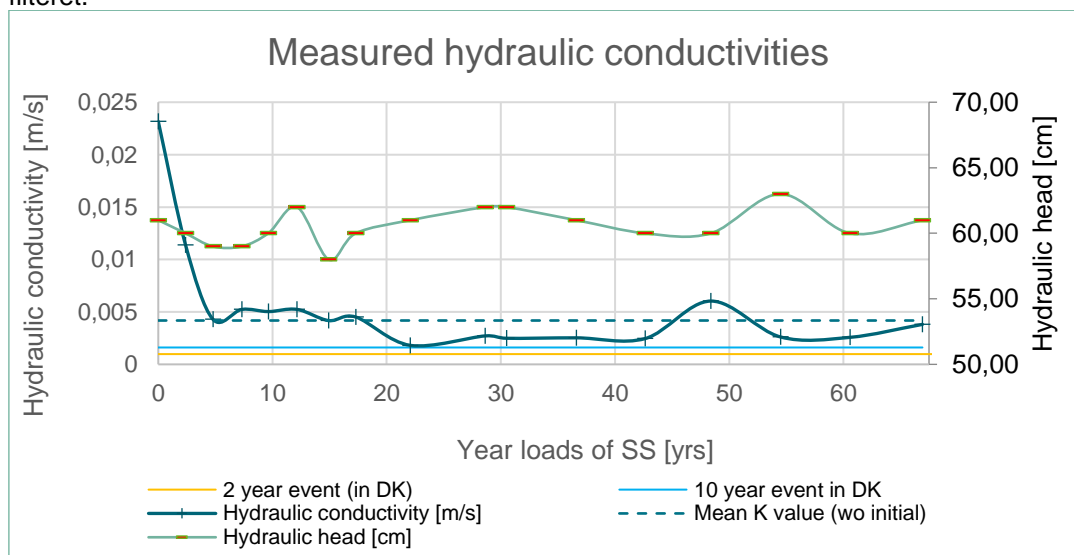
Den korrekte metode til spuling/rensning af Rockflowmaterialet er med kloakrenseudstyr med en dyse med 15° bagudvendt stråle (8 individuelle stråler/huller i dysen) ofte kaldt en drænrørsdysse og ikke mere end 100 bar tryk. Der er blevet testet rensning af Rockflow materialet ved forskellige tryk og forskellige vinkler af spuling og ovenstående beskrivelse er den metode, der dels renser effektivt, men hvad vigtigere er, ikke beskadiger stenulden. Dyser med en højere vinkel, eksempelvis en 90° rensestråle, ødelægger Rockflow materialet.

7.1.4 Målte hydrauliske ledningsevner ved levetidstest

Den hydrauliske ledningsevne af Rockflow i laboratorieforsøget blev nedsat med en faktor 6 i gennemsnit i løbet af forsøget. Fra en initial værdi på 0,023 m/s af det jomfruelige materiale til et gennemsnit på 0,0041 m/s.

Den hydrauliske ledningsevne af det rene materiale er tilstrækkeligt høj til, at den efter en nedsættelse på en faktor 6 stadig vil kunne absorbere en dansk 10-årshændelse på 230 l/s/ha, når magasinet er dimensioneret som anbefalet i nærværende anvisning (se afsnit 5.2).

Den lavest målte hydrauliske ledningsevne efter tilstopning og rensning af filteret var 0,0018 m/s, hvilket er en faktor 13 lavere end den initiale værdi. Denne hydrauliske ledningsevne vil også kunne absorbere en 10-årshændelse. Denne lavest påviste hydrauliske ledningsevne er tilskrevet utilstrækkelig rensning af filteret og blev efterfølgende forbedret ved grundigere rensning af filteret.



Figur 25 Målte hydrauliske ledningsevner [m/s] på venstre akse, hydraulikhøjde [cm] på højre akse og årlige belastninger på nederste akse. Mærkerne på linjerne viser tidspunkterne for måling af hydraulisk head og K-værdier. Den gennemsnitlige K-værdi er uden K-værdien for den første måling (jomfrulig stenuld K). T2- og T10 hændelserne (henholdsvis orange og blå) repræsenterer de maksimale intensiteter af hver.

7.1.5 Inspektioner af fungerende magasiner

Lapinus har udført inspektioner af 16 fungerende systemer i Holland, som har dannet grundlag for en rapport om rensning af 6 stk. Rockflow systemer /10/. Disse seks systemer har været i drift imellem 1,5 og 4 år, alle uden udført rensning/spuling. Resultater af disse inspektioner har dannet grundlag for anbefalingen om rensning/spuling med 2-3 års mellemrum.

7.1.6 Laboratorieundersøgelser af brugt Rockflow materiale

Det Rockflowmateriale, som blev belastet med 67 års SS, er efterfølgende blevet undersøgt i laboratoriet for indhold af sediment. Resultaterne viser, at der trænger sediment ind hovedsageligt nær fordelerkanalens/filterets overflade. I en dybde på ca. 7cm under overfladen er ca. 5% af porevolumenet fyldt med sediment. Dette efterlader ca. 90% af Rockflowmaterialet, som frit porerum til vandtransport. Det betyder med andre ord, at der i praksis ikke er en påvirkning i forhold til materialets volumen til optagelse af vand.

7.1.7 Konklusioner på tilstopningsforsøg og anbefalinger

Resultaterne vedrørende tilstopning og rensning af Rockflowmagasiner er med antagelse af, at Rockflow systemer dimensioneres efter nærværende anvisning. Når/hvis et Rockflowmagasin er tilstoppet (der er fine partikler på hele overfladen af fordelerkanalet og/eller fordelerkanalet er fyldt op med sedimenter) kan det renses med velkendte kloakrensemetoder. Overordnet er resultaterne af de udførte tests:

- Rockflow materialet kan fysisk modstå 50 spulinger/rensninger med det anbefalede udstyr (15° dyse med 8 stråler, ikke mere end 100 bar tryk). Dette tilsvarende en levetid på 100-150 år efter det anbefalede rensinterval.
- I et laboratorieforsøg blev et filter af Rockflowmateriale tilstoppet og rens/spulet 484 gange. Den tilsatte mængde sediment svarer til en 67 års driftbelastning.
- Efter de simulerede 67 års funktion og 484 individuelle tilstopninger og rensninger, blev den hydrauliske ledningsevne nedsat med et gennemsnit på en faktor 6. Den nedsatte hydrauliske ledningsevne i forhold til det jomfruelige materiale, kan stadig absorbere en 10-årshændelse på 230 l/s/ha, når systemet er dimensioneret efter nærværende anvisning.
- Rockflowmaterialet efter 67 års belastning blev undersøgt for sedimentindhold (om sediment var trængt ind i selve materialematricen). Finkornede sedimenter trænger ind i matricen og ca. 7 cm inde i materialet er indholdet under 5% af materialets porevolumen. Dette svarer til at mere end 90% af materialet udgøres af porevolumen og sedimentet, som er trængt ind i matricen i løbet af de 67 års funktion, har derfor ingen praktisk relevans for magasinets volumen.
- Fra inspektioner af fungerende systemer er det anbefalede rens/spuleinterval bestemt til 2-3 år.

7.2 Anvisning for drift

Det er nødvendigt at tømme sandfangsbrønde og spule fordelingskanaler i faskiner, magasiner og rensfiltere 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 kg/l.

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 mindst en gang hvert år og spuling af fordelingskanalerne hvert andet til tredje år. Hvis den hydrauliske belastning af anlægget øges eller hvis afvandingen sker fra overflader med stor partikelbelastning, skal rensfrekvensen øges tilsvarende.

En vedligeholdelsesmanual er udarbejdet på baggrund af de udførte test og denne kan hentes på Rockflow [web-page](#).

7.3 Driftsomkostninger

Tømning af sandfangsbrønd er i forhold til traditionelle systemer ikke anderledes.

På baggrund af dialog med entreprenører vurderes for Rockflow magasinet følgende:

Pris for spuling/rensning af fordelerkanaler på mellem 30 DKK (inkl. moms)/ løbende meter. Priser tager udgangspunkt i opgaver, hvor der arbejdes imellem 5-6 timer og spules ca. 600 – 800 meter kanal inkl. opstart og afslutning.

7.4 Forsinkelses- og rensebassin: Thorshave, Odense

I forbindelse med en byggemodning i Odense, skulle der fra et nyudviklet område på 4,7 reduceret hektar, findes 1.300 m³ forsinkelse og rensning inden drosling til udløb. Grundet pladsmangel var et vådt regnvandsbassin ikke en mulighed. Løsningen blev et bassin udført med Rockflow elementer, der kunne etableres under en parkeringsplads på området. Bassinet kan håndtere 1.000 l/s, med drosling til 50 l/s og er designet til en T5.



Figur 26: Etablering af forsinkelse og rensebassin Januar 2022. Indløb via til rækker af plastkassetter, med inspektions- og renseadgang.

8. Inspiration og anlægseksempler

I dette afsnit gennemgås en række anlægseksempler til inspiration for anvendelse af Rockflow elementer til regnvandshåndtering. Det første eksempel er et forsinkelsesbassin under vej og vejbed, herefter et eksempel med LAR-bassiner under parkering og vejbede og, et tredje eksempel med en regnvandsledning kombineret med forsinkelse og rensning, så følger to eksempler på forsinkelse- og rensebassiner. Afslutningsvis er et eksempel med en wadi/faskineløsning fra Holland.

8.1 Vejbede, Odense, Danmark

I Odense, har VandCenterSyd etableret flere LAR og forsinkelsesløsninger med Rockflow I dette eksempel, som er anlagt i Skibhuskvarteret i Odense (Figur 27), er et forsinkelsesbassin med Rockflow elementer anlagt som et sammenhængende bassin under skiftevis vej, indkørsler og vejbede. Fordelene ved brug af Rockflow elementer i dette projekt, var især fleksibiliteten som produktet giver under anlægsarbejdet. Krydsende kabler kunne tilpasses undervejs og medførte et hurtigere og smidigere anlægsarbejde for entreprenøren. Plantehuller, kan også nemt sættes undervejs.



Figur 27. TV: Under anlægsarbejdet blev fjernvarmerør tilpasset ved at udskære traceer i Rockflow elementerne. Et Plantehul er sat tv. før fjernvarmeledningerne. TH: Det færdige og beplantede vejbed, hvor træet står i det viste plantehul.

8.2 Forsinkelse og rensning – under cykelstier

På Stadionvej i Odense, har VandCenterSyd etableret en række vejbede/parkeringspladser, der skal hjælpe med at afvande veje og tage. Magasinerne er udført i Rockflow elementer. Særligt fleksibiliteten med mulighed for tilpasning af eksisterende rør og ledninger, gjorde det nemmere og hurtigere at anlægge bassinerne. Driften af anlæggene klares via indsatte plastkassetter, der fungerer som overløbsbrønd og hvor tagvandet er koblet på.



Figur 28: Øverst tv. Tværsnit af faskines opbygning under vej/p-plads. Øverst th. Tilslutning af tagvand. Midt. Tv. Overløbsbrønd til faskinen, midt th. Trace med plads til fjernvarme kabler. Nederst tv. Anlæg af faskine langs Stadionvej. Nederst th. Samme vejstræk efter reetablering, bemærk ingen differenssætningskader i asfalten.

8.3 Forsinkelse og filtrering under vej

I Bogense, Nordfyns Kommune, er der under en gade anlagt en regnvandsledning i Rockflow, som forsinker og renses overfladevandet til T10 inden udledning. Anlægget er etableret under vej med pakket ind i en membran. Der er installeret brønde, langs ledningen, hvorfra anlægget kan inspiceres og renses. Løsningen blev valgt, fordi, der ikke var plads til forsinkelse og rensning med den traditionelle BAT løsning, dvs. et vådt regnvandsbassin. Den anvendte løsning giver, således mulighed for løbende forsinkelse og rensning i oplandet i et tæt byrum med knap plads.



Figur 29: Regnvandshåndtering af vej- og tagvand under vej. Tv. Regnvandsledning udført i Rockflow elementer, der yder passiv forsinkelse og rensning af overfladevandet. Bemærk de krydsende kabler igennem magasinet. TH. den indpakkede "ledning" (bassin) under vej.

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 (figur 15). Udfordringen var at finde plads til et vådt regnvandsbassin. Løsningen blev at sætte et filter af Rockflow elementer under en kommende p-plads og med direkte udledning recipienten, en sø.



Figur 30: Øverst tv og th. Rockflow filter anlagt under byggemodningsindledning og klar til at få udlagt jord og etableret vej- og p-plads. Nederst. Systemet i drift. TV. Den ene af to indløbsbrønde. Herefter dæksler til inspektion og rensning af indløbskanaler og svanehals til udluftning. Th. dæksel til indløbsbrønd og tre inspektions- og rensedgange i p-areal.

8.5 Wadi: Heel, Holland

I byen Heel i Holland, var der problemer med vand på terræn. De grønne wadier var stoppet til og der manglede bassinvolumen i området. Wadierne med deres trug havde også vist sig svære at slå græsset i, hvilket fordyrede driften. Rockflow blev installeret som erstatningsvolumen for trugene og den nye græsflade, gav et bedre udtryk, samt nemmere og billigere drift (Figur 31).



Figur 31: TV: Rockflow elementerne blev anlagt som et aflangt bassin, da det passede med området. Bassinet afvander ved nedsivning. MIDT: Efter elementerne var sat, blev der fyldt og komprimeret grus rundt om og over anlægget. Afslutningsvis blev der sået græs og sat træer.

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/ Filterteknologi til rensning af regnvand i tætbebyggede områder, Miljøstyrelsen 2020
- /7/ Dokumentation for rensning af separat regnvand i Rockflow - feltmålinger udført iht. vejledning fra Teknologisk Institut. Vanman ApS og WSP Danmark A/S, 2023.
- /8/ Rockflow Clogging tests – Assessing the hydraulic robustness of stone wool material, WSP Danmark A/S. 2022
- /9/ Memo – A stress test for cleaning Rockflow buffer's inlet channels, Rockflow and Peters Kloakkontrol, 14-09-2022
- /10/ Memo – Rockflow inspection in the Netherlands, 2022, Rockflow

10. Bilag om Rensning: Vurdering af renseseffekt i Rockflow

Projekt navn	Lapinus Rockflow anvisning
Kunde	Lapinus
Projektleder	Søren Gabriel
Projekt nummer	3642000035
Til	Anders Søgaard
Udarbejdet af	Thomas Hauerberg Larsen
Kvalitetssikret af	Søren Gabriel
Godkendt af	Søren Gabriel
Version	2
Versionsdato	06-06-2023
Første udgivelsesdato	11-09-2020

1.1 Baggrund

WSP blev af Lapinus i 2020 anmodet om at udarbejde en anvisning for anvendelsen af produktet Rockflow. 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 notat beskriver og sammenfatter primært de rensetekniske forsøg, der er udført og kobler dem til den dimensionering, der anbefales i forhold til anvendelse overfor afløb af tag og vejevand. Rensning ift. alm. gråt spildevand ligger ud over afgrænsningen for denne opgave, dog kan der være erfaringer ift. fx dannelse af biofilm mv. der kan overføres. Renseevnen sammenlignes med gældende BAT, dvs. våde bassiner dimensioneret efter retningslinjerne på <http://separatvand.dk/>.

Bilaget til anvisningen er opdateret marts 2023 ligesom anvisningen selv primært baseret på en forsøgsrække udført på et anlæg i Århus ved Risvang alle og med generel information ift. mikroplast.

1.1.1 Dimensioneringsforudsætninger

Der skal kigges på 2 typer af scenarier:

- Rensning uden tilbageholdelse, fx ved udledning i marin recipient eller stor sø uden hydrauliske begrænsninger.
- Tilbageholdelse og rensning ved udledning i hydraulisk følsom recipient, fx vandløb, tilledning 0,5-1 l/s ha.

Drift og rensning ift. 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.

Vandmængden, der skal kunne behandles kan fastlægges ud fra Regionalregnrække regnearket. Tages udgangspunkt i WSP kontorplacering (705437;6171518) er årsmiddelnedbøren 640 mm.

En 5 års hændelse designregn på 2880 minutter (48 timer) med klimafaktor 1,3 er ca. 78 mm og en 10 års hændelse 91 mm. 10 års hændelsen kræver et bassinvolumen på 899 m³ ved et afløbstal på 1 l/s red ha og 1133 m³ ved et afløbstal på 0,5 l/s red ha baseret på regionalregnrække 4.1. I bassinvolumen er koblede regn inkluderet (20% ekstra volumen).

Det er derfor antaget, at Rockflow-filteret skal kunne håndtere hændelser på op til 91 mm over 48 timer, med en maksimal intensitet på ca. 3,3 mm/minut (54 µm/s) ved reduceret udledningstal (1 l/s red ha). Volumen i en 91 mm hændelse svarer til 911 m³/red ha. Der er antaget et udledningstal på 1 l/s i det ene scenarie svarende til et krav på 899 m³ stuvningsvolumen pr. red ha. Med en porøsitet omkring 95% svarer dette til et volumen af filter på ca. 950 m³/red ha. Dette kunne svare til et filter på 425 m² i 2 meters højde. Her ville stighøjden være ca. 1,5 m ved maksimal fyldning under hændelsen.

Ved en ren filterløsning uden krav til udledningstallet er maksimalintensiteten ved en toårshændelse, der normalt vil være dimensionsgivende, være 140 l/s pr. ha red. I dette tilfælde er det den hydrauliske permeabilitet, der kommer til at sætte størrelsen på filteret. Filtre dimensioneres jf. vejledningen ud fra en indløbskapacitet på 1 l/s pr. m² filterareal, hvis filteret etableres med en fordelingskanal for hver 45 cm. Denne værdi er mindre end permeabiliteten i selve filteret, der derfor ikke vil begrænse kapaciteten. Med dette udgangspunkt skal rene filtre dimensioneres med 180 m² filterareal pr. ha red.

Disse to scenarier, der repræsenterer hver sin ende af spektret, er anvendt i forhold til vurderingerne af rensesevnen.

1.2 BAT i dag

Den accepterede teknologi til rensning af regnvand i dag er basinsløsninger, der skal være dimensionerede til et konstant vådt volumen på 250 m³/red ha. Hertil kommer volumen til opstuvning i forhold til bremsning af vandet. 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 og 13/.

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)
Mikroplast /13/	30 partikler/l (1-200)	Ca. 75	0,1-10 partikler/l 0,1-1,2 µg/l

Som det fremgår af tabellen, er der for total-metallerne, total P og mikroplast tale om fjernelsesrater, der er sammenlignelige med fjernelsesraten for suspenderet stof. Den positive korrelation skyldes i høj grad, at parametrene er knyttet til fjernelsen af suspenderet stof.

1.3 Renseforsøg

Der er udført en række forsøg med renseseffekten af Rockflow elementerne både under laboratorieforhold og i egentlige feltopstillinger, herunder forsøget dokumenteret i /12/. Elementerne virker i princippet med tre forskellige rensesprincipper:

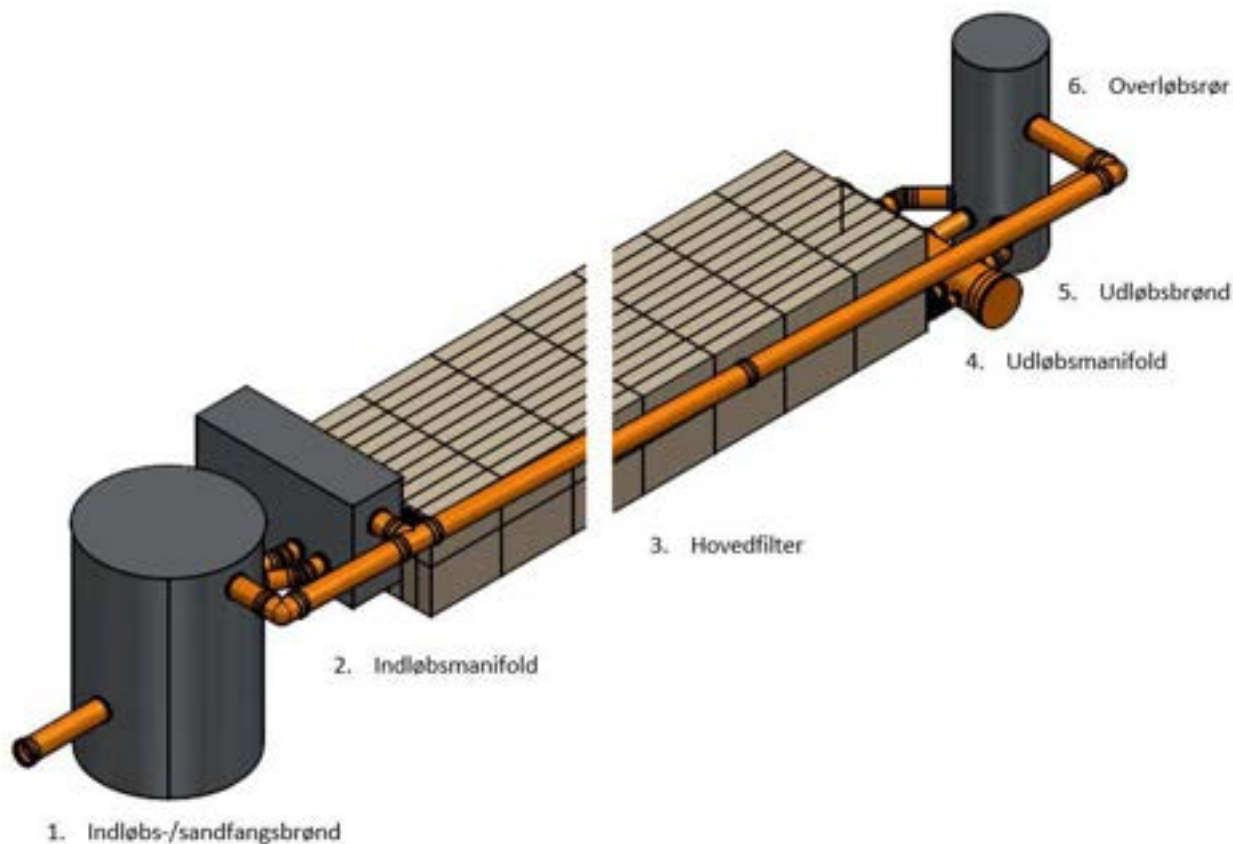
Fysisk filtrering, hvor partikler tilbageholdes i fibre og på overfladen af disse pga. af deres størrelse.

Sorption. Metaller kan i et vist omfang bindes til overfladerne af stensulden og den tilsatte phenolharpikspolymer. Organiske stoffer, med lav vandopløslighed som PAH, kan sorberes til phenolharpikspolymeren.

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 af det opløste stof 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/ og ligeledes i et efterfølgende eksperiment rapporteret i /12/. En figur af selve anlægsstrukturen som anvendt i /3/ er vist i Figur 32.



Figur 32 Konstruktion af filteranlæg, figur fra /3/.

Oplandsarealet til filteret er omkring 1 red ha og primært bestående af en større omfartsvej med en årsgøgnstrafik på omkring 18.000 biler. Anlægget blev af Lapinus designet til som minimum at kunne håndtere 75 l/s. 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 32 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 /3/ og efterfølgende på hændelsesniveau for 10 hændelser i 2021/2022 efter en ombygning af filteret /12/. I Tabel 2 er de gennemsnitlige rensegrader opgjort for en række relevante parametre for forsøgene i 2019/2020 /3/.

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

Komponent	Indløb, gennemsnit	Udløb, gennemsnit	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
Total Cu (µg/l)	38 (10-110)	13 (7-22)	65 (14-80)	2-8*

Komponent	Indløb, gennemsnit	Udløb, gennemsnit	Rensegrad (%)	Typisk udløb bassin
Total 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)	#

* Er opløst koncentration

I forsøgene udført i 2021/2022 er data indsamlet og behandlet anderledes end i 2020/2021, ligesom filterets volumen blev reduceret til 22 m³. Filteret blev ompakket bl.a. med membran omkring elementerne, ligesom ind- og udløbsmanifolden blev ombygget med hhv. 7 rør ind i filteret og 10 i udløbet. Der er anvendt flowproportional prøvetagning på 10 forskellige hændelser i perioden, hvilket giver et meget konsistent datasæt. I databehandlingen er der anvendt medianer frem for gennemsnit, ligesom der undervejs blev udført en oprensning af sandfanget foran filteret. Herudover er der målt en række andre miljøfremmede stoffer, der er medtaget i oversigten. Oliestofferne er i 2021/2022 florisiloprenset inden målingen, dvs. det er forsøgt at fjerne andre organiske forbindelser end de specifikke oliekomponenter fra prøverne. Udover dette er der målt på både opløste og totale indhold af metallerne samt en lang række PAH. Der er udover stofferne medtaget i tabellen også målt for fx de specifikke PAH komponenter samt en række andre metaller mm. For disse data henvises til /13/.

Tabel 3 Renseeffektivitet for udvalgte komponenter i Risvang filteret, data fra /12/, 10 separate målte hændelser. Værdier i parentes for rensegraden angiver variationsbredden for de enkelte hændelser.

Komponent	Indløb, median	Udløb, median	Rensegrad (median %)	Typisk udløb bassin
Suspenderet stof (mg/l)	125 (27-410)	13 (2-68)	90 (50-99)	5-20
COD (mg/l)	58 (13-540)	27 (15-170)	53 (-15-83)	10-60
Total-P (mg/l)	0,16 (0,06-0,68)	0,03 (0,02-0,3)	81 (52-92)	0,05-0,2
Opløst-P (mg/l)	0,006 (0,0003-0,016)	0,005 (0,003-0,015)	17 (--150-57)	0,03-0,1
Total-N (mg/l)	2 (0,5-6,2)	1,0 (0,9-4,6)	50 (-81-76)	2-8
Total Cu (µg/l)	23 (2,5-150)	11 (4,4-70)	52 (-76-84)	2-8*
Total Zn (µg/l)	75 (20-520)	36 (9-180)	52 (-71-84)	5-60*
Opløst Cu (µg/l)	9,7 (1-68)	8,2 (4,2-33)	15 (-320-78)	2-8*
Opløst Zn (µg/l)	40 (21-220)	28 (7-88)	30 (-26-74)	5-60*
C5-C10, florisilrenset (µg/l)	<25	<25	#	#
C10-C25, florisilrenset (µg/l)	165 (<50-171)	<50	#	#
C25-C40, florisilrenset (µg/l)	470 (130-2900)	<100	#	#
C5-C40, florisilrenset (µg/l)	625 (130-3600)	50 (50-820)	#	#
PAH, 16 stk (µg/l)	0,33 (0,04-1,6)	<0,01(DL) (<0,01-0,48)	> 97	
DEHP (µg/l)	<0,004-0,007	<0,004	#	#
E. Coli (MPN/100 ml)	180-2.200	<10--300	#	
Coliforme (MPN/100 ml)	11.000-170.000	<200-20.000	#	#

Som det ses, er der i dette tilfælde konstateret rensegrader som er sammenlignelige med våde bassiner for hovedparten af parametrene i de to separate måleserier, 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 total Cu relativt høje i afprøvningen, men indløbskoncentrationen er også i den høje ende af skalaen for vejvand. Herudover er der i en del datamateriale udfordringer i at skelne mellem filtrede og udfiltrede prøver for metaller, hvilket giver hhv. opløst og totalindholdet af metallerne, hvilket gør sammenligning besværlig. De opløste indhold efter Rockflow filteret i den seneste afprøvning ligger med en median omkring 8 µg/l, hvilket er et stykke over MKK på 4,9 µg/l. Dette kan potentielt være en udfordring, men samme relativt dårlige renseseffekt forventes i et vådt bassin for den opløste fraktion.

Samme udfordring ses for Zink, hvor der i den seneste forsøgsrække findes en median på 28 µg/l for den opløste koncentration efter filteret. Dette er et stykke over MKK på 7,8 µg/l. MKK gælder for den biotilgængelige del, der ikke er beregnet for udløbet. Den biotilgængelige fraktion er styret af pH, DOC og calciumindholdet i vandet. Som for den opløste Cu er det sandsynligt, at våde bassiner i lighed med Rockflow filteret vil have problemer med at rense tilstrækkeligt for opløst Zn ift. de gældende kriterier.

Oliestofferne har en fjernelse på omkring 80% i Rockflowfilteret baseret på den senest udførte måleserie /13/, hvilket sandsynligvis er i nogenlunde samme størrelse som et vådt bassin eller lidt højere. Der foreligger dog kun et meget spinkelt datagrundlag for våde bassiner. Baseret på de opnåede data vurderer WSP, 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 rensgraderne 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 %. I måleserien fra 2021/2022, hvor der helt specifikt er målt på 16 PAH komponenter /12/ er fjernelsen generelt noget højere typisk omkring 90% eller højere. PAH og de tungere olieforbindelser (>C10) har stor affinitet for at sorbere og er derfor i stort omfang knyttet til det suspenderede stof, hvilket formentlig er årsagen til den effektive fjernelse.

Der er i måleserien fra 2021/2022 også målt forskellige bakteriologiske parametre. For E.coli og coliforme bakterier ses fjernelsesrater i størrelsen 70-90 % og for enterokokker lidt lavere, typisk omkring 50% (ikke vist i tabellen). Der findes jf. /14/ ret få data på effekten af våde bassiner, men typisk ses ret små effekter, typisk i niveauet 0-30% reduktion i bassinerne overfor fx coliforme bakterier.

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 fordelingsystemet skal spules med jævne mellemrum.

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 µg/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.

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 4. Som det fremgår af tabellen, er tilbageholdelsen (K_d 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 lerminerallerne 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 én ”sorptionkoefficient”. Værdien i tabellen stammer fra /6/. Som det fremgår, tilbageholder Rockflow materialet ikke fosfat i målbart omfang.

Tabel 4 Fundne K_d værdier for Rockflow sammenlignet med typiske værdier for jord under pløjelaget. K_d værdier i l/kg.

Stof	K_d i Rockwool	K_d 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 K_d 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 jf. den interne specifikation 2.7-4,3% med en gennemsnit på omkring 3,5%, hvilket er i den lave ende af overjord (typisk omkring 5% i muld), men højt i forhold til råjord (ler og sand), der typisk har indhold omkring 0,1 %.

1.4 Projektion af effekt under driftsforudsætninger

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 filteret sig forholdsvis effektiv med en fjernelse af suspenderet stof med en gennemsnitlig rensegrad på ca. 85-90 % selv ved et relativt højt belastet filter (25 m³ filter/red ha). Hovedparten af frafiltreringen sker umiddelbart ved fordeler-rørene. Det forventes derfor, at selv hvis filterets størrelse blev reduceret yderligere som beskrevet i det ene scenarie i dimensioneringsafsnittet, ville filterets evne til at tilbageholde suspenderet stof være sammenligneligt med den nuværende BAT standard i form af våde bassiner med mindst 250 m³ vådt volumen. Der er dermed mulighed for en reduktion i kravet til volumen på mindst en faktor 10 ved at anvende Rockflow filteret fremfor våde bassiner, når der ikke er krav ift. udledningstallet. Som det fremgår af de tidligere afsnit, reducerer Rockflow filteret på 25 m³/red ha metaller, PAHer og fosfor i nogenlunde samme omfang som et vådt bassin (med de variationsbredder der er). I praksis vil de hydrauliske belastning være mindre, hvilket teoretisk set kun øger rensegraden.

Da meget af filtreringsevnen er knyttet til fordelingsystemet, er det vigtigt, at der spules regelmæssigt for at bevare evnen til filtrering, da anlægget ellers vil kunne gå i overløb. Det er ligeledes meget vigtigt at filteret pakkes således, at kortslutning mellem ind og udløb forhindres, da renseevnen ellers falder drastisk. 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.

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 (fra 25 m³/red ha til mange hundrede m³, 950 m³/red ha ved den anvendte designregning). Det må forventes, at et sådan filter har en fysisk filtreringsevne, der er mindst lige så stor (og sandsynligvis væsentligt 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.

1.5 Konklusion

På baggrund af de gennemgåede referencer kan det konkluderes:

- Rockflowfiltre dimensioneret med en minimumsvolumen på 25 m³/red ha har en effekt overfor SS, COD, PAH, tungmetaller, næringssalte og PAH'er, der er på niveau eller bedre med den nuværende BAT løsning med våde bassiner på mindst 250 m³ permanent vådt volumen/red ha.
- Det er sandsynligt, at det er muligt at gøre filteret mindre med næsten samme reduktion, da den primære fjernelsesmekanisme er knyttet til fysisk filtrering i og nær indløbssystemet. Det vil kræve hyppigere spuling af indløbssystemet, hvis volumenet/arealet mindskes. Herudover er det vigtigt at selve elementer placeres så kortslutning gennem filteret umuliggøres.
- 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.

1.6 Referencer

- /1/ Lapinus (2020): Rockflow – Design Guide vers. 1.1
- /2/ Vollertsen, J., Hvidtved-Jacobsen, T., Nielsen, A.H. (2012): Faktablade 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. Wageningen 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/ KWR (2022): Removal of microparticles from runoff water using rockwool. KWR 2022.020 | March 2022. Udarbejdet for Lapinus.
- /12/ Nørlem, M. (2023): Dokumentation for rensning af separat regnvand i Rockflow - feltmålinger udført i henhold til vejledning fra Teknologisk Institut. Vanman. Udarbejdet for Lapinus.
- /13/ Hartmann, N., Vollertsen, J., Hansen, A.A. (2018): μ PLAST i spildevand – rensningsteknologiers tilbageholdelse af mikroplast. MUDP-projekt. Udgivet af Miljøstyrelsen.
- /14/ Vollertsen, J., Hvidtved-Jacobsen, T., Nielsen, A.H., Gabriel, S. (2012): Våde bassiner til rensning af separat regnvand. Separatvand.dk.