

NOTAT

TIL: Miljøstyrelsen
FRA: Søren Gabriel
EMNE: Rensning af separatkloakeret regnvand
DATO: 01-05-2025

INDHOLD

BAGGRUND	4
LÆSEVEJLEDNING	4
RENSEPRINCIPPER	5
STOFFER OG RENSEMEKANISMER	6
RENSNING TIL BAT	8
REGNVANDBASSINER MED PERMANENT VÅDT RENSEVOLUMEN	8
ROCKFLOWFILTER	12
SKIVEFILTRE - MECANAFILTER	16
RENSNING I UDSKILLERE	20
HYDRAULISKE FORHOLD VED RENSNING I UDSKILLERE OG FILTRE	20
SEDIPIPE 21	
ACO STORMSED VORTEX	22
STOPOL 23	
ACO STORMCLEAN	24
TRITHON 20 L/S	25
VIATUB 25	
VIA PLUS 26	
WATERCARE DPF	27

RENSELØSNINGER I STORMTAC.....	28
WET PONDS.....	29
BIOFILTERS	29
GRASS DITCHES	30
GRASS SWALES.....	31
FILTERSTRIPS	32
DRYPONDS	32
OVERSIGT 33	
RENSNING I STORE FASTMEDIEFILTRE.....	34
RENSNING VED KEMISK FÆLDNING	37
Rensning på renseanlæg med kemisk fældning.....	37
RENSNING AF REGNVAND MED ACTIVFLO.....	39
FORSØG MED RENSNING VED FÆLDNING DIREKTE I REGNVANDBASSIN	40
OPTIMERET IN-SITUFÆLDNING I KOMBINATION MED MEKANISK RENSNING	42
Rensning i skivefilter efter kemisk fældning	43
Rensegrader ved in-situ fældning i kombination med vådt regnvandsbassin	45
KOMBINEREDE LØSNINGER - TREATMENT-TRAINS.....	45
LØSNINGERNES RENSEFFEKT I FORHOLD TIL MKK.....	46
BÆREDYGTIGHED OG RENSNING AF REGNVAND.....	53
GRØNNE LØSNINGER, BIODIVERSITET OG BYRUM	53
ÆNDRING AF LOKALE VANDKREDSLØB.....	53
FORSYNINGERNES RESSOURCEFORBRUG OG CO ₂ -AFTRYK FRA ANLÆG OG DRIFT.....	53
KILDEKONTROL.....	54
Udfasning af forurenende materialer	54
First-flush og rensning af delstrømme af det afledte vand.....	55
ØKONOMI VED RENSNING AF REGNVAND.....	56
RENSNING I BAT-BASSIN	57
RENSNING VED ALUMINIUMFÆLDNING EFTERFULGT AF SEDIMENTATION I ET BAT-BASSIN	57
RENSNING VED ALUMINIUMFÆLDNING EFTERFULGT AF FILTRERING I ET MECANAFILTER	58

RENSNING I ET BAT-BASSIN EFTERFULGT AF ET SORPTIONSFILTER	59
SAMMENFATNING AF OMKOSTNINGER VED RENSNING AF REGNVAND	59
REFERENCER.....	60

BAGGRUND

Dette notat er udarbejdet af WSP for Miljøstyrelsen og skal ses i sammenhæng med rapporten ”Miljøfarlige stoffer i afstrømmet regnvand – Bruttoliste for miljøfarlige stoffer med miljøkvalitetskrav eller kriterier, udarbejdet for Miljøstyrelse af WSP i 2025, hvor der er gennemført en karakterisering af regnvand fra fem forskellige oplandstyper.

Notatet er baseret på dokumenterede danske renseløsninger, der overholder kravene til BAT-rensning, renseløsninger, der er beskrevet i forbindelse med projektet Regnvand, det batter, karakterisering af renseløsninger i værktøjet Stormtac og forsøgsanlæg til kemisk fældning med aluminiumklorid og rensning i store sorptionsfiltre.

Læsevejledning

Notatet dækker forskellige metoder og teknologier til rensning af separatkloakeret regnvand og omfatter:

- Renseprincipper: Der er en grundig gennemgang af forskellige renseprocesser som sedimentation, mekanisk filtrering, sorptionsfiltrering, kemisk fældning, nedbrydning af forurening og biologisk optag. Hver metode beskrives med hensyn til dens effektivitet og anvendelsesområder
- Stoffer og resemekanismer: Dokumentet går i dybden med resemekanismer for forskellige stofgrupper som tungmetaller, aluminium, PAH, oliesubstanser, blødgørere, PFAS-stoffer, næringsstoffer, COD og BOD. Det beskriver, hvordan disse stoffer kan fjernes ved hjælp af de forskellige resemetoder
- Rensning til BAT: Der er en detaljeret beskrivelse af rensning i våde regnvandsbassiner, Rockflowfiltre, skivefiltre (Mecanafilter), og rensning i udskillere. Dokumentet forklarer, hvordan disse teknologier fungerer, og deres effektivitet i fjernelse af forurenende stoffer
- Udskillere: Der gives detaljer om forskellige renselanlæg som Sedipipe, ACO Stormsed Vortex, Stopol, ACO Stormclean, Trithon 20 l/s, Viatub, Via Plus, og Watercare DPF. Hvert anlæg beskrives med hensyn til dets funktion, renseeffekt og anvendelsesområder
- Renseløsninger i Stormtac: Der er en beskrivelse af forskellige renseløsninger som wet ponds, biofilters, grass ditches, swales, filterstrips og dry ponds. Det forklares, hvordan disse løsninger fungerer, og deres effektivitet i fjernelse af forurenende stoffer
- Rensning i store fastmediefiltre: Dette afsnit diskuterer rensning i store fastmediefiltre og deres effektivitet. Det beskriver, hvordan disse filtre kan bruges til at fjerne forurenende stoffer fra regnvand
- Rensning ved kemisk fældning: I dette afsnit beskrives kemisk fældning og dens anvendelse i rensning af regnvand. Det forklarer, hvordan kemikalier kan bruges til at binde forurenende stoffer og fjerne dem fra vandet.
- Kombinerede løsninger - Treatment-Trains: Der er en diskussion af kombinerede renseløsninger og deres samlede renseeffekt. Dokumentet beskriver, hvordan forskellige teknologier kan kombineres for at opnå bedre rensning

- Løsningernes renseseffekt i forhold til miljøkvalitetskrav og -kriterier: Her findes, for hvert af de fem typeoplande, der er beskrevet i /29/, tabeller med typetal for urensset regnvand, rensgrader for tre renseløsninger og resulterende koncentrationer af miljøfarlige stoffer efter rensning sammenholdt med miljøkvalitetskrav og -kriterier.
- Bæredygtighed og rensning af regnvand: Der kort sammenfatter forskellige perspektiver i forhold til bæredygtighed og rensning, herunder biodiversitet og byrum, lokale vandkredsløb, ressourceforbrug og CO₂-aftryk og kildekontrol.
- Økonomi ved rensning af regnvand fra et caseopland: Dette afsnit analyserer økonomien ved forskellige renseløsninger. Det giver en vurdering af omkostningerne ved implementering og drift af forskellige rensaneanlæg.
- Fremtidig dokumentation af renseløsninger: Dokumentet afsluttes med forslag til fremtidig dokumentation og funktionskrav til renseløsninger. Det beskriver, hvordan renseløsninger kan dokumenteres og evalueres for at sikre deres effektivitet.

RENSEPRINCIPPER

Regnvand indeholder både suspenderet stof og opløste stoffer, og anlæg til rensning af regnvand baserer sig på en eller flere af nedenstående processer, som der refereres til ved gennemgangen af forskellige rensemetoder i næste kapitel.

Sedimentation: I regnvand findes næringsstoffer og en lang række forurenende stoffer på både opløst form og bundet til suspenderet stof i regnvand. En stor del af det suspenderede stof kan fjernes ved sedimentation. Det kan ske i mekaniske udskillere (f.eks. olieudskillere og Sedipipe), der har begrænset hydraulisk kapacitet, og i bassiner med permanent vådt rensesvolumen, der udformes, så hele den afledte vandstrøm løber gennem bassinet. Da bindingen af forurenende stoffer i høj grad sker til overfladen af det suspenderede stof, ses, at de mindste partikler, der har den største specifikke overflade, også har de højeste koncentrationer af mange forureningskomponenter.

Mekanisk filtrering: Mekaniske filtre er målrettet at fjerne suspenderet stof, der tilbageholdes i filteret med en renseseffekt, der afhænger af filter- og anlægstype og partikelstørrelsesfordelingen i det suspenderede stof. Filtre kan etableres som mekaniske filtre, hvor vandet filtreres gennem en dug (f.eks. skivefiltre) eller et filtermateriale (f.eks. Rockflow og sandfiltre), der har begrænset hydraulisk kapacitet. Rensning ved filtrering kan også ske ved filtrering gennem permeable belægninger eller jordmatricen i grønne filterløsninger.

Sorptionsfiltrering: Sorption er en betegnelse for processerne adsorption og absorption. Adsorption er stoffers binding til partikeloverflader, og absorption er binding via diffusion ind i partiklen. Sorptionen, der er målrettet regnvandets indhold af opløste forurenninger, styres af bl.a. filtermaterialets specifikke overflade, kontakttiden i filteret, koncentrationen af det forurenende stof, og stoffernes evne til at binde sig og filtermaterialets affinitet for at binde den specifikke forurening. Filtermaterialet i sorptionsfiltre kan f.eks. målrettes fjernelse af fosfor, metaller eller organiske forurening.

Kemisk fældning: Kemisk fældning med jern eller aluminium bruges til rensning af drikkevand og på det kemiske rensesettrin på renseanlæg til at binde partikler og opløst fosfor og metaller i "flokke", der senere kan udskilles ved sedimentation eller filtrering. Ved kemisk fældning på regnvand opnås en forbedret rensning af vandet som følge af forbedret fjernelse af mikropartikler, og den forurening, der er bundet til disse. Hertil kommer rensning ved binding af opløste metaller og fosfor.

Nedbrydning af forurening: Mange af de organiske forureninger, der findes i regnvand, kan nedbrydes eller omsættes. Dette sker i høj grad gennem biologiske processer men f.eks. også ved fotokemisk nedbrydning. Omfanget og hastigheden af omsætning har bl.a. sammenhæng med stofspecifikke egenskaber, iltforhold, stoffernes opholdstid og kontakt til et eventuelt filtermateriale og den generelle biologiske aktivitet i renseløsningen.

Biologisk optag: I vådbassiner og grønne filtre kan ske et vist optag af næringsstoffer og i mindre grad tungmetaller og organiske forureninger i biomasse. Stofferne bliver i nogen grad frigivet igen, hvis biomassen forbliver i anlægget og nedbryder der.

Fordampning: I vådbassiner og løsninger i terræn med lang opholdstid kan fordampning medvirke til at fjerne bl.a. lette kulbrinter.

Stoffer og rensmekanismer

I det følgende er en gennemgang af de rensmekanismer, der relevante i forhold til forskellige stofgrupper. For de stoffer, hvor der ikke findes data for rensning ved forskellige teknologier, er rensegraden vurderet på baggrund af nedenstående.

Tungmetaller

Tungmetaller findes i regnvand bundet i og sorberet til partikler samt på opløst form. Graden af sorption er bl.a. bestemt af partiklernes specifikke overflade, og det må derfor forventes, at de mindste partikler har det højeste indhold af metaller.

Mekanisk rensning vil primært fjerne større partikler, mens der ved kemisk fældning sker en mere effektiv rensning, da også de små partikler indlejres i de flokke, der dannes ved fældningen.

Ved fældningen og i sorptionsfiltre vil der desuden ske en binding af en del af metallernes opløste fraktion.

Renseeffekten er således både afhængig af metallernes evne til at binde sig til partikler og af, hvor godt de bindes ved fældning eller sorption.

Aluminium

Aluminium udgør en af hovedbestanddelene i lerminerale og koncentrationen af total-aluminium vil derfor afspejle vandets indhold af suspenderet stof.

Ved pH-værdier over 4,5 er koncentrationen af opløst, uorganisk aluminium som følge af aluminiums lave opløselighedsprodukt meget lav. Da regnvand har neutral pH-værdi, vil koncentrationen af opløst, uorganisk aluminium derfor være meget lav.

Ved tilførsel af opløst aluminium i forbindelse med aluminiumfældning vil der meget hurtigt ske en udfældning af aluminium, så koncentrationen af opløst aluminium afspejler opløselighedsprodukter.

I recipienter og i forbindelse med fældning kan aluminium findes på opløst form i organiske aluminiumforbindelser. Kemien i disse er meget kompleks og Miljøstyrelsen har af samme grund ikke opstillet vandkvalitetskriterier for aluminium. Det betyder også, at det ikke giver mening at angive en renseeffekt for aluminium.

PAH

PAH findes i regnvand indlejret i og sorberet til partikler. Enkelte af de lette PAH'er er i begrænset grad vandopløselige. Graden af sorption er bl.a. bestemt af de enkelte PAH'ers affinitet til at binde sig til partiklernes overflade, og det må derfor forventes, at de mindste partikler har det højeste indhold af PAH. Bionedbrydeligheden af PAH'er er forskellig for de enkelte stoffer men generelt lav.

Mekanisk rensning vil primært fjerne større partikler, mens der ved kemisk fældning sker en mere effektiv rensning, da også de små partikler indlejres i de flokke, der dannes ved fældningen.

Der er ikke fundet oplysninger om effekten af fældningen og sorptionsfiltre på rensning for den opløste fraktion af PAH.

Oliestoffer

Sediment i regnvandsbassiner indeholder væsentlige mængder tunge oliefraktioner, hvilket viser, at denne stofgruppe i høj grad bindes til partikler eller bundfælder i sig selv. Samtidig må det forventes, at en stor del af de lette kulbrinter vil fordampe eller blive nedbrudt.

Blødgørere

Nedenstående er resumeret på baggrund af /4/ og /5/.

- Di-(2-ethylhexyl) adipat (DEHA) er ikke opløseligt i vand og vil binde sig til suspenderet stof og derved i nogen grad fjernes ved sedimentation. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Diisononylphthalat har en lav opløselighed og må derfor i nogen grad forventes at binde sig til sedimentet. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Di-n-butylphthalat (DBP) er vandopløseligt og vil derfor kun i ringe grad fjernes ved sedimentation. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Di-n-octylphthalat (DNOP) sorberer godt til organisk materiale og fjernes derfor i nogen grad ved sedimentation. Stoffet er langsomt nedbrydeligt.

PFAS-stoffer

PFAS-stofferne er generelt vandopløselige, sorberer kun i mindre grad til partikler og er tungt nedbrydelige i miljøet. Der er målt PFAS i luft og nedbør ved Risø i en del af 2023, hvor der er fundet lave værdier, svarende til 3,3 ng/l for summen af 23 målte PFAS-forbindelser /6/

Der findes ikke data til at vurdere fordelingen af PFAS i vand- hhv. sedimentfasen i regnvand. Data fra recipienter omkring Esbjerg Brandskole /7/ kan dog indikere, at en del af stoffet er bundet i sedimentet og derved det suspenderede stof. Analyser af vand og sediment fra et belastet vandløb og et regnvandsbassin på Brandskolen viste, at koncentrationen af PFAS i sedimentet overskred vandkoncentrationen med en faktor 50-100. Hvis tallene kan overføres til fordelingen mellem vand og SS i regnvand vil det med et forventet af SS i regnvand på omkring 100 mg/l betyde, at vandfasen vil indeholde op til 100 gange mere PFAS end sedimentet.

Næringsstoffer, COD og BOD

Partikulært bundet fosfor fjernes sammen med suspenderet stof, og opløst-fosfor kan fjernes ved binding til partikler, optag i alger i regnvandsbassiner eller ved kemisk fældning eller i sorptionsfiltre.

Partikulært bundet kvælstof, BOD og COD fjernes sammen med suspenderet stof, og opløste fraktioner kan fjernes ved binding til partikler, optag i alger eller i mindre grad ved biologisk omsætning i regnvandsbassiner.

Øvrige stoffer

Nedenstående er resumeret på baggrund af /8/ og /9/.

- Bisphenol A er ikke opløseligt i vand og vil binde sig til suspenderet stof og derved i nogen grad fjernes ved sedimentation. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Diethylhexyl phthalat (DEHP) er ikke opløseligt i vand og vil binde sig til suspenderet stof og derved i nogen grad fjernes ved sedimentation. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Diethylphthalat (DEP) er ikke opløseligt i vand og vil binde sig til suspenderet stof og derved i nogen grad fjernes ved sedimentation. Stoffet er let bionedbrydeligt.
- Nonylphenoler er vandopløseligt og vil derfor kun i ringe grad fjernes ved sedimentation. Stofferne er bionedbrydelige.
- Pesticider – Glyphosat er vandopløseligt og har lang nedbrydningstid i vand. MCPA er vandopløseligt og har relativt lang nedbrydningstid i vand. Mechlorprop er vandopløseligt og relativt bionedbrydeligt.

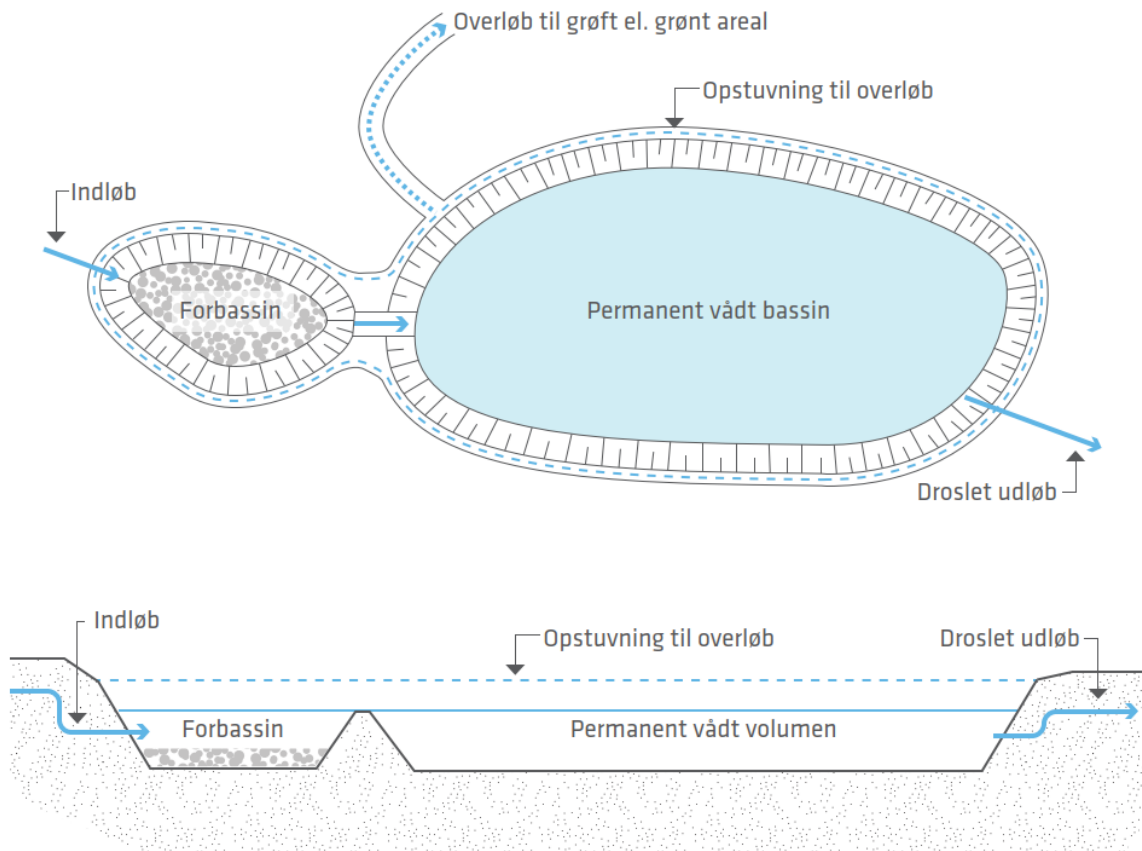
RENSNING TIL BAT

Rensning i våde regnvandsbassiner udformet og dimensioneret efter anvisningerne på Separatvand.dk // er i flere afgørelser fra Miljø- og Fødevarerklagenævnet blevet betegnet som rensning efter BAT. I dette kapitel beskrives rensning i våde regnvandsbassiner sammen med rensning i Rocflowfiltre og i et Mecana skivefilter, da der er dokumentation for, at disse renser svarende til rensning i et vådt regnvandsbassin.

Regnvandsbassiner med permanent vådt rensgevolumen

Løsningens udformning og funktion

Regnvandsbassiner med permanent vådt rensgevolumen, våde regnvandsbassiner, kan etableres med eller uden et supplerende forsinkelsesvolumen. I et vådt regnvandsbassin udskilles regnvandets indhold af suspenderet stof ved sedimentation, samtidig med, at der sker en vis nedbrydning af organiske forureningsstoffer, optag af næringsstoffer og metaller og fordampning af lette kulbrinter. Som følge af bassinets store permanente vådvolumen vil der desuden ske en udjævning af koncentrationen af forurenende stoffer før udledning fra bassinet.



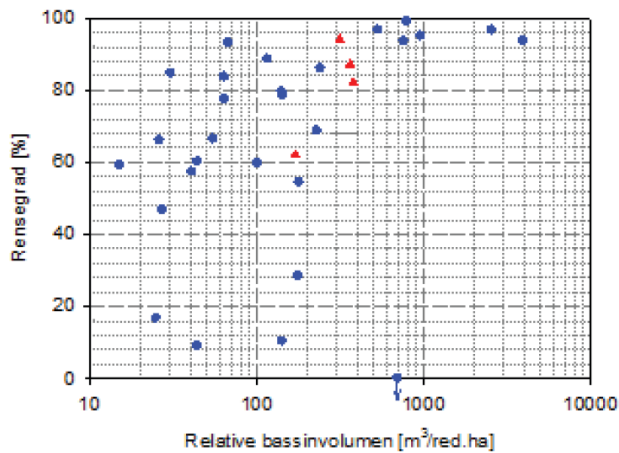
Jf. separatvand.dk /1/ skal våde regnvandsbassiner dimensioneres med et permanent vådt volumen på 2-300 m³ pr. ha. red opland og med en middeldybde på 1-1,5 meter. For at sikre, at hele bassinet bidrager til rensning, skal ind og udløb etableres i hver sin ende af bassinet. Det kan være nødvendigt at etablere membran under det permanente vådvolumen.

Ved at etablere 10-20 % af vådvolumen som forbassin og oprense dette efter behov, kan oprensingsfrekvensen for hovedbassinet reduceres. Afhængig af forbassinets størrelse, kan man forvente at skulle oprense dette hvert 5-10 år. Forbassinet bør senest oprenses når 50% af dets volumen er fyldt med sediment. Hovedbassinet skal oprenses noget sjældnere, og typisk hvert 20-40 år. Hovedbassinet bør senest oprenses når 20-25% af bassinets vådvolumen er fyldt med sediment. Hyppigheden af oprensning vil være forskellig fra bassin til bassin, og afhænge af dels bassinets størrelse i forhold til oplandet og mængden af suspenderet stof i det tilførte vand.

Regnvandsbassiner dimensioneres, så den samlede nedbør fra oplandet ledes gennem filteret. Typisk svarende til en dimensionering til en femårshændelse.

Løsningens renseseffekt

Våde regnvandsbassiner, der er udformet og dimensioneret efter anvisningerne på separatvand.dk /1/ er i flere klagensævningsafgørelser benævnt BAT og tjener derved som reference for andre renseløsninger.



Figur 1: Sammenhæng mellem permanent vådt bassinvolumen og rensesgrad for total suspenderet stof i regnvandsbassiner. Figuren er baseret på amerikanske og skandinaviske data, og i referencen findes tilsvarende figurer for fosfor og en række tungmetaller /2/.

Med udgangspunkt i de samme bassiner findes renseseffekten for forskellige tungmetaller beskrevet i /2/. På baggrund af disse data findes typiske rensesgrader i et BAT-bassin opgjort i Tabel 1. Bemærk, at de anslåede rensesgrader for zink og kobber er ca. 75%, hvilket er lavere end for suspenderet stof på ca. 80%. Det skyldes, at en del af metallerne er på opløst form eller bundet i høje koncentrationer til de helt små partikler, der ikke tilbageholdes i bassiner /2/.

I onlineværktøjet Stormtac /3/ findes en stor samling af data for rensesgrader i regnvandsbassiner. Data stammer fra en række referencer, og på baggrund af en ekspertvurdering har Stormtac angivet den rensesgrad, der kan opnås, hvis et bassin udformes og dimensioneres med deres værktøj. Regnvandsbassiner etableret efter anvisningen i Separatvvand.dk svarer til de krav, Stormtac angiver, og rensesgraderne bør derfor være sammenlignelige.

Det er WSP's vurdering, at der er usikkerhed forbundet med renseseffekt for opløst fosfor, da det indgår i en udveksling med alger og sediment, der er afhængig af lys, temperatur og iltforholdene i bassinets vand og sediment. Dette kan i sommermånederne føre til frigivelse af fosfor fra sedimentet og høje fosforkoncentrationer i bassinets vandfase.

Viden om våde regnvandsbassiners renseseffekt på PAH er begrænset, men ud fra data i /2/ forventes en fjernelse, der er på højde med fjernelsen af SS, måske endda lidt større. Effekten på BPA forventes at være på linje med effekten overfor PAH'erne pga. den store affinitet for sorption til organisk stof. For opløste metaller og de mere opløselige organiske komponenter vil et vådt bassin kun have lave rensesgrader.

Tabel 1: Forventelige rensegrader i regnvandsbassiner på baggrund af Separatvand.dk /2/ og Stormtac /3/. Koncentrationer i regnvand er indsat på baggrund af Separatvand.dk /2/

	Koncentration i regnvand /2/	Separatvand.dk /2/	Stormtac /3/
Suspenderet stof	90 mg/l (30-300)	80	80
Total P	0,3 mg/l (0,1-0,5)	70	55
Opløst P	0,15 mg/l (0,05-0,3)	50	-
Total-N	2 mg/l (1-3)	40	30
COD	55 mg/l (20-100)	45	35
BOD	6 mg/l (2-10)	30	30
Total Cu	15 µg/l (5-100)	75	60
Total Zn	100 µg/l (50-200)	75	60

På baggrund af Separatvand.dk /2/ og Stormtac /3/ anslås desuden nedenstående rensegrader:

- Arsen: På grund af det beskudne datamateriale angives ikke en renseeffekt i. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på 20-90 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 30 %.
- Bly: Renseeffekten er 40-85 %. Der regnes med et gennemsnit på 70 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 75 %.
- Cadmium: På grund af det beskudne datamateriale angives ikke en renseeffekt i. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på 30-60 %. Der regnes med et gennemsnit på 50 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 50 %.
- Krom: På grund af det beskudne datamateriale angives ikke en renseeffekt i. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på 85 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 75 %.
- Kviksølv: Mange analyser er under de respektive metoders detektionsgrænse. Der kan derfor ikke angives en renseeffekt. Stormtac angives ikke renseeffekt for kviksølv. På baggrund af fysisk-kemiske egenskaber anslås en rensegrad på 30 %.
- Nikkel: På grund af det beskudne datamateriale angives ikke en renseeffekt. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på 40-60 %. Der regnes med et gennemsnit på 50 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 50 %.
- Selen: Der findes ikke data for rensning for selen. Stormtac angiver ikke renseeffekt for selen. På baggrund af fysisk-kemiske egenskaber anslås en rensegrad på 10 %.
- Sølv: Der findes ikke data for rensning for sølv. Stormtac angiver ikke renseeffekt for sølv. På baggrund af fysisk-kemiske egenskaber anslås en rensegrad på 60 %.

- PAH: Mange analyser er under de respektive metoders detektionsgrænse. På grund af det beskedne datamateriale angives ikke en renseeffekt i. På grund af PAH'ernes affinitet for at binde sig til partikler, sættes rensegraden til 80 %, svarende til rensningen for suspenderet stof. I Stormtac angives en renseeffekt på 70 % for PAH16.
- Oliestoffer: Der findes kun få data for fjernelse af oliestoffer i regnvandsbassiner. På baggrund af enkelte data fra danske bassiner regnes med en fjernelsesgrad på 80 %. I Stormtac angives en renseeffekt på 80 %.
- Blødgørere og øvrige stoffer. Der findes ikke data for fjernelse af disse i regnvandsbassiner. På baggrund af stoffernes nedbrydelighed og evne til at binde sig til sedimentet (se kapitel 3) sættes rensegraden at svare til fjernelsen af suspenderet stof, svarende til, at 80 % af stofferne fjernes. Stormtac angiver ikke rensegrader for øvrige stoffer.
- Pesticider: Rensegrader for pesticider er angivet på baggrund af fysisk-kemiske vurderinger af de enkelte stoffer.
- PFAS-stoffer: Der findes ikke data for rensning for PFAS. Stormtac angiver ikke renseeffekt for PFAS. På baggrund af fysisk-kemiske egenskaber anslås en rensegrad på 50 %.

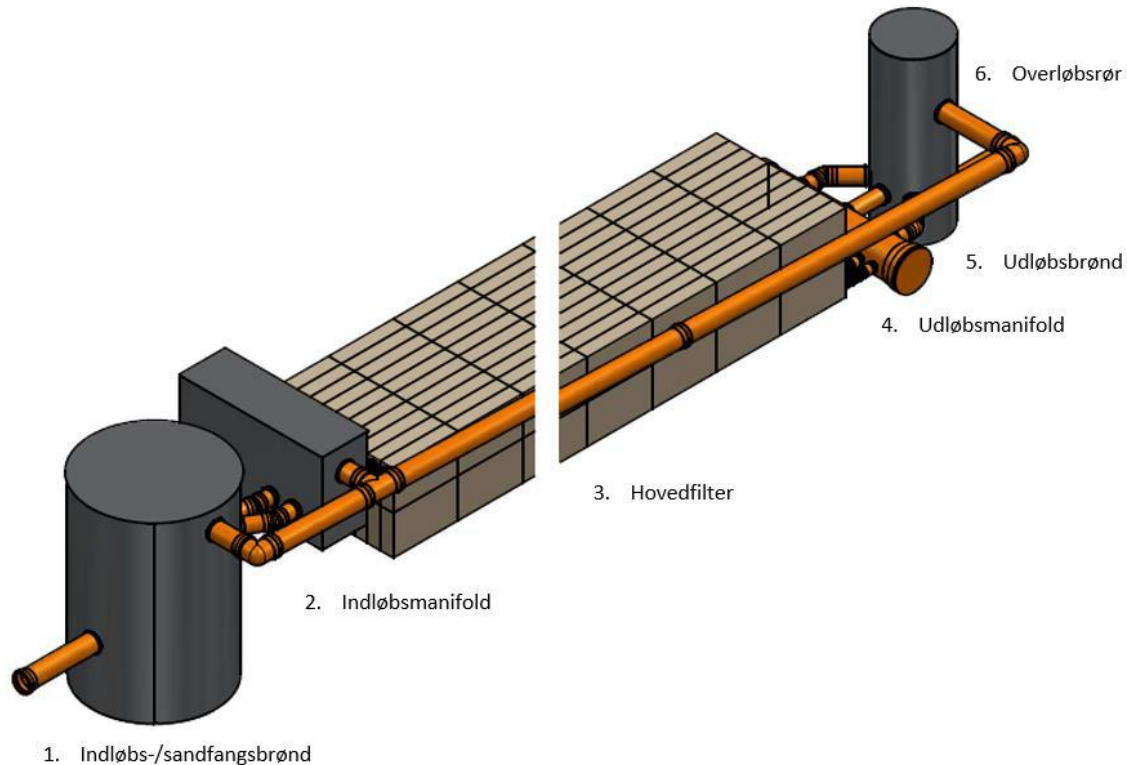
Rockflowfilter

Løsningens udformning og funktion

Rockflow er et stenulds materiale, der kan indbygges under jord som faskine til nedsivning af regnvand og til magasinering og rensning af regnvand før udledning til recipient. Rockflow har stor stabilitet og kan indbygges under trafikbelastede arealer.

Rockflowfiltre dimensioneres, så den samlede nedbør fra oplandet ledes gennem filteret. Typisk svarende til en dimensionering til en toårshændelse.

Figur 2 viser den principielle opbygning af et Rocflowfilter. Efter sandfangsbrønden fordeles vandet i en række langsgående kanaler i filterets top. Fra kanalerne siver vandet ud i den omgivende stenuld og opsamles i et tilsvarende sæt af kanaler i filterets bund, hvorfra det ledes til udløbebrønden.



Figur 2: Konstruktion af filteranlæg, figur fra /10/.

Løsningens renseeffekt

Rensningen for suspenderet stof sker i overgangen fra kanal til stenuld i indløbskanalen, hvor det partikulære stof tilbageholdes. Som en del af driften af filteret skal indløbskanalerne spules med en frekvens på et til to år. Korrekt udført kan spuling opretholde anlæggets hydrauliske kapacitet. Det er desuden vist, at anlægget tåler spuling svarende til at anlægget har en levetid på mere end 80 år /11/.

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

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

hovedregel fungerer bedst, når belastningen af et filter er relativt ensartet, hvilket er i modsætning til den måde belastningen optræder ved regnvejrshændelser.

Som en del af et MUDP-projekt med Teknologisk Institut som udførende er elementerne testet over en længerevarende periode i et fuldskalaprojekt /10/. En figur af selve anlægskonstruktionen er vist i Figur 2.

Oplandsarealet til filteret var omkring 1 red ha. Anlægget blev af Lapinus designet til som minimum at kunne håndtere 75 l/s svarende til, at godt 95 procent af årsnedbøren blev rensat gennem filteret. Det samlede filtervolumen var dimensioneret til lige knap 29 m³, da der ikke var noget større krav til opmagasinering af vand. I dette tilfælde er opholdstiden i filteret dermed relativt kort. Som det fremgår af Figur 2, 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 renssevne er undersøgt på 4 datasæt i perioden ultimo 2019 til primo 2020. I er de gennemsnitlige rensgrader opgjort for en række relevante parametre.

Tabel 2 Renseeffektivitet for udvalgte komponenter i Risvang filteret, data fra /10/, 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
Cu (µg/l)	38 (10-110)	13 (7-22)	65 (14-80)	2-8
Zn (µg/l)	111 (27-310)	36 (19-52)	67 (17-83)	5-60
C5-C10 (µg/l)	<25	<25	#	#
C10-C25 (µg/l)	115 (56-160)	58 (<50-68)	41 (48-100)	#
C25-C40 (µg/l)	487 (170-670)	220 (120-320)	55 (52-100)	#

Komponent	Indløb, gennemsnit	Udløb, gennemsnit	Rensegrad (%)	Typisk udløb bassin
C5-C40 (µg/l)	597 (220-790)	250 (<100-380)	58 (52-100)	#

Som det ses, er der i dette tilfælde konstateret rensegrader som er sammenlignelige med våde bassiner for hovedparten af parametrene, hvor der kan laves en sammenligning. Generelt vurderes det på baggrund af de præsenterede data i /10/, at de højeste rensegrader opnås, når indløbet har de højeste koncentrationer.

Renseeffekten i samme anlæg er i 2022 undersøgt med udgangspunkt i en vejledning udarbejdet af Teknologisk Institut i regi af Projektnetværket "Vandkvalitet der BAT'er" /12/. Vejledningen beskriver, hvordan renseløsninger til regnvandsafstrømning via feltmålinger bør testes og dokumenteres.

Parametrene vist i **Tabel 3** udgør de parametre, som vejledningen foreskriver som et minimumsdatasæt for dokumentation af en renseløsning. Tabellen viser, at koncentrationerne i vandet efter rensning blev målt i samme niveau som udløbet fra våde regnvandsbassiner, så længe indløbskoncentrationen var inden for det typiske interval for afstrømmet regnvand.

Det indsamlede datagrundlag udgøres af 10 hændelsesmiddelkoncentrationer før og efter rensning. Herudfra er der beregnet en oplandsmiddelkoncentration udtrykt som medianen af de målte hændelsesmidler. Disse er sammenlignet med typiske rensegrader i våde regnvandsbassiner.

Stof	Rockflow			Vådt regnvandsbassin		
	Indløb	Udløb	Fjernet (%)	Indløb	Udløb	Fjernet (%)
Suspenderet stof (mg/l)	125 (27 – 410)	13 (2,2 – 68)	90	90 (30 – 300)	12 (5 – 20)	80 (70 – 90)
Total fosfor (mg/l)	0,16 (0,06 – 0,68)	0,03 (0,02 – 0,3)	81	0,3 (0,1 – 0,5)	0,09 (0,05 – 0,2)	70 (60 – 80)
Opløst fosfor (mg/l)	0,006 (<0,005 – 0,016)	0,005 (<0,005 – 0,015)	17	0,15 (0,05 – 0,3)	0,05 (0,03 – 0,1)	70 (50 – 75)
COD (mg/l)	58 (13 – 540)	27 (15 – 170)	53	55 (20 – 100)	30 (10 – 60)	45 (30 – 60)
BOD (mg/l)	4,9 (2,5 – 38)	2,9 (1,3 – 22)	40	6 (2 – 10)	4 (1 – 8)	30 (20 – 40)
Total kvælstof (mg/l)	2 (0,5 – 6,2)	1 (0,9 – 4,6)	50	2 (1 – 3)	1,2 (0,7 – 2)	30 (20 – 40)
Total kobber (µg/l)	23 (2,5 – 150)	11 (4,4 – 70)	52	15 (5 – 100)	5 (2 – 8)	75 (60 – 80)

Total zink (µg/l)	75 (20 - 520)	36 (9 - 180)	52	100 (50 - 200)	30 (5 - 60)	75 (40 - 85)
Total bly (µg/l)	1,34 (0,39 - 11)	0,37 (<0,3 - 3,9)	72	4 - 18,5	0,6-5,6	n/a
Opløst kobber (µg/l)	9,7 (1 - 68)	8,2 (4,2 - 33)	15	n/a	n/a	n/a
Opløst zink (µg/l)	40 (21 - 220)	28 (7,4 - 88)	30	n/a	n/a	n/a
Opløst bly (µg/l)	0,037 (0,02 - 0,56)	0,029 (<0,02 - 0,087)	22	n/a	n/a	n/a
Sum PAH (16 stk.) (µg/l)	0,33 (0,04 - 1,56)	<0,01 (DL) (<0,01 - 0,48)	>97	<0,01 - 1,19	<0,01 - 0,11	n/a
Nitrit+Nitrat-N (mg/l)	0,33 (0,12 - 1,2)	0,92 (0,41 - 1,4)	-179	n/a	n/a	n/a

Tabel 3: Interval for de 10 målte hændelsesmiddelkoncentrationer og den herudfra beregnede oplandsmiddelkoncentration før og efter rensning i Rockflow. (data i parentes repræsenterer intervallet for målingerne). Resultaterne fra målekampagnen er sammenlignet med typiske tal for renseevnen i våde regnvandsbassiner /12/

Det undersøgte filter ligger i et opland med stor trafikbelastning og derfor med en forventelig relativt stor forureningspåvirkning. Det fremgår af **Tabel 3**, at alle nøgleparametrene for vurdering af en renseteknologi (med undtagelse af opløst fosfor) var til stede i det urensede vand i koncentrationer sammenlignelige med typisk separat regnvand og til tider i betydeligt højere koncentrationer.

Resultaterne fra den præsenterede målekampagne består "kun" af 10 prøver opgjort som hændelsesmiddelkoncentrationen for et enkelt opland med en påvist stor forureningspåvirkning, og de viser derfor ikke overraskende en større variation i stofindhold – både før og efter rensning - end det er tilfældet for typetallene for de våde regnvandsbassiner. Det generelle billede er dog fortsat en ganske effektiv rensning for de samme parametre, som typisk fjernes i et vådt regnvandsbassin.

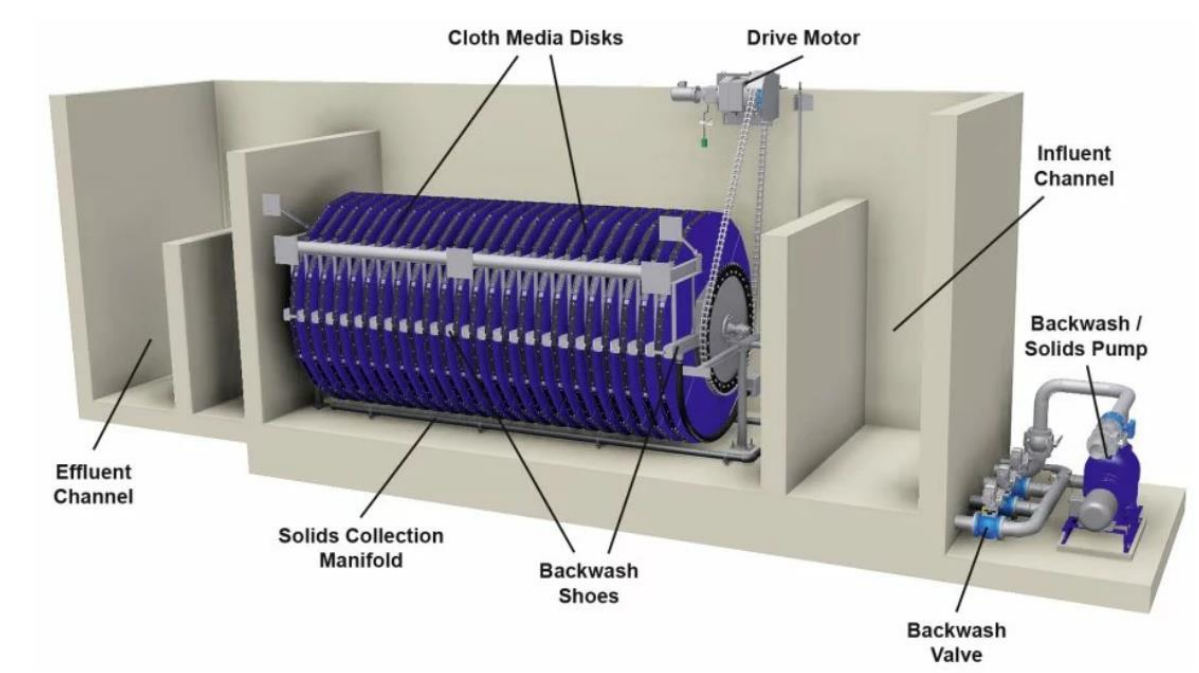
Skivefiltre - Mecanafilte

Løsningens udformning og funktion

Skivefiltre fungerer ved at filtrere det forurenede vand gennem en filterdug, der er spændt op på nogle skiver monteret på en roterende tromle. Partiklerne tilbageholdes på filterdugen, der automatisk renses ved returskyllning, når gennemstrømningsmodstanden i filteret bliver for høj. Ved rensning af regnvand udgør skyllevandet fra denne proces få procent af volumen af det rensede vand og afledes til fælleskloak.

Den hydrauliske kapacitet af skivefiltre afhænger af filterets størrelse, filterdugen og indholdet af suspenderet stof i det vand, der skal renses. Filterløsninger til regnvand dimensioneres normalt lige som udskillere med en begrænset hydraulisk kapacitet, idet langt størstedelen af årsnedbøren falder med lave intensiteter. Hvis et skivefilter bliver hydraulisk overbelastet, vil den del af vandet, der overskrider filterets maksimale kapacitet, gå urensset i overløb. En standardløsning med 12 filterskiver med et skivefilter til rensning af regnvand fra Mecana angives af Mecana at have en kapacitet på 30-90 l/s. Dette svarer til, at det kan rense 80 % af årsnedbøren fra et opland på 4-12 ha med

en koncentrationstid på 30 minutter og 95 % af nedbøren fra et opland på 1,5-4,5 ha med en koncentrationstid på 10 minutter.



Figur 3: Snit af skivefilter. Her et Mekanafilter. Filteret er konstant vanddækket og vandet løber ind i højre side af billedet, gennem filterdugen og ud gennem filterets aksel. Ved overbelastning af filteret, kan der ske der overløb gennem bygværket.

Løsningens renseseffekt

Nedenstående rensesgrader i Tabel 4 er baseret på et Mekanafilter med en 5µm Optifiber filterdug og baseret på en prøveserie af vejvand, der blev foretaget ved Eskelunden ved Århus. Resultaterne i Tabel 4 stammer fra et MUDP-projekt /16/. Der blev udtaget prøver af indløb og udløb af tre omgange. Prøverne blev analyseret for mikroplast, udvalgte metaller, PAH-forbindelser, SS og fosfor. Kilden angiver, at der var problemer med prøvetagning i runde 2.

Tabel 4: Rensegrader for suspenderet stof, fosfor, metaller og organiske mikroforureninger ved rensning af vejvand i et Mecanafilte /16/. Kilden angiver, at der var problemer med prøvetagning i runde 2. På baggrund af runde 1 og 3 vurderes, at et Mecanafilte renses svarende til BAT (>70 % for SS). Samtidig ses en fjernelse af de metaller og organiske mikroforureninger, der er bundet til de fjernede partikler.

	Rensegrader målt ved drift af TECHRAS Miljø PCM-filter ved Eskelunden											
	1. runde			2. runde			3. runde			Total	Korrigeret	
Mikroplast-analyser	Indløb	Udløb	Rensegrad	Indløb	Udløb	Rensegrad	Indløb	Udløb	Rensegrad	Gnms. Rensegrad	Gnms. Rensegrad	
Gummi:	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	%	%	
Polyisopren	150,00	1,00	99,3	295,00	9,60	96,7	105,10	4,45	95,8	97,3	97,3	
Polybutadien	173,00	1,00	99,4	236,00	13,20	94,4	103,35	7,70	92,5	95,5	95,5	
Indeholder prøven gummipartikler?:	Ja	Nej		Ja	Ja		Ja	Ja				
Plast:												
Polyethylen	128,50	3,00	97,7	214,00	26,90	87,4	81,95	21,20	74,1	86,4	86,4	
Polypropylen	30,65	1,00	96,7	27,65	4,10	85,2	16,35	1,00	93,9	91,9	91,9	
Polystyren	25,50	1,00	96,1	24,15	5,10	78,9	17,90	2,70	84,9	86,6	86,6	
Polyvinylidion	197,50	1,00	99,5	281,50	42,20	85,0	102,65	25,35	75,3	86,6	86,6	
Polyethylenterephthalat	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	NA	NA	
Polyamid 6	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	NA	NA	
Polymethylmetakrylat	8,80	1,00	88,6	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	88,6	88,6	
Polycarbonat	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	1,00	1,00	NA	NA	NA	
Sum polymerer:	716,95	12,00	98,3	1082,30	105,10	90,3	431,30	66,40	84,6	91,1	91,1	
Kemiske analyser	Indløb	Udløb	Rensegrad	Indløb	Udløb	Rensegrad	Indløb	Udløb	Rensegrad	Gnms. Rensegrad	Gnms. Rensegrad	
Spildevandsanalyser:	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	%	%	
Suspenderet stof	87	25	71,3	15	26	-73,3	110	29	73,6	23,9	72,5	
Fosfor	0,38	0,19	50,0	0,37	0,15	59,5	0,35	0,14	60,0	56,5	56,5	
Tung metaller:	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	%	%	
Arsen	2,8	1,8	35,7	3,1	1,5	51,6	2,9	2,4	17,2	34,9	34,9	
Cadmium	0,074	0,05	32,4	0,11	0,066	40,0	0,1	0,057	43,0	38,5	38,5	
Chrom	14	8	42,9	12	4,3	64,2	35	24	31,4	46,2	46,2	
Kobolt	1,9	0,9	52,6	1,9	0,76	60,0	2,3	1,2	47,8	53,5	53,5	
Kobber	64	0,5	99,2	54	19	64,8	57	29	49,1	71,1	71,1	
Kviksølv	0,05	0,05	NA	0,098	0,14	-42,9	0,05	0,05	NA	-42,9	NA	
Nikkel	12	8,4	30,0	10	4,9	51,0	11	7,3	33,6	38,2	38,2	
Zink	230	95	58,7	250	89	64,4	270	130	51,9	58,3	58,3	
PAH'er:	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	µg/l	µg/l	%	%	%	
Acenaphthen	0,01	0,01	NA	0,01	0,01	NA	0,021	0,012	42,9	42,9	NA	
Fluoren	0,01	0,01	NA	0,01	0,01	NA	0,016	0,01	37,5	37,5	NA	
Phenanthren	0,041	0,013	68,3	0,061	0,01	83,6	0,052	0,015	71,2	74,4	74,4	
Fluoranthren	0,2	0,022	89,0	0,14	0,019	86,4	0,3	0,031	89,7	88,4	88,4	
Pyren	0,3	0,028	90,7	0,16	0,02	87,5	0,5	0,056	88,8	89,0	89,0	
Benzo (b+j+k) fluoranthren	0,3	0,09	NA	0,15	0,04	73,3	0,2	0,03	NA	73,3	73,3	
Benzo (a) pyren	0,2	0,04	NA	0,06	0,02	NA	0,08	0,01	NA	NA	NA	
Indeno (1,2,3-cd) pyren	0,2	0,04	NA	0,05	0,02	NA	0,06	0,01	NA	NA	NA	
Benzo (g+h+i) perylen	0,2	0,06	NA	0,091	0,03	67,0	0,2	0,014	93,0	80,0	NA	

I et schweizisk studie er der gennemført en dokumentation af renseeffekten af et Mecanafilter på rensning af vejvand fra en motorvejsstrækning /17/.

Tabel 5: Rensning af vand fra motorvej i Mecanafilter. Tilløb (zulauf), udløb (ablauf) og rensegrad (Wirkungsgrad) for suspenderet stof (GUS), kobber og zink (her skulle enheden nok have været %) /17/.

SP Nr. Von - Bis			Zulauf			Ablauf			Wirkungsgrad		
			GUS	Cu	Zn	GUS	Cu	Zn	GUS	Cu	Zn
			mg/l	ug/l	ug/l	mg/l	ug/l	ug/l	mg/l	ug/l	ug/l
1	23.05.2020	10.06.2020	77	39	180	17	15	50	78	62	72
2	11.06.2020	02.07.2020	260	75	380	180	41	170	31	45	55
3	18.08.2020	30.08.2020	160	89	1840	19	12	40	88	87	98
4	31.08.2020	29.09.2020	210	90	550	7.5	5	20	96	94	96
5	30.09.2020	09.12.2020	67	35	150	7.5	4	50	89	89	67
6	21.12.2020	18.01.2021	500	83	520	30	27	150	94	67	71
7	19.01.2021	17.02.2021	540	194	1100	83	53	450	85	73	59
8	18.02.2021	20.03.2021	530	147	920	19	18	120	96	88	87
9	21.03.2021	19.05.2021	180	76	380	7.5	5	30	96	93	92
Minimaler Wert			67	35	150	7.5	4	20	31	45	55
Maximaler Wert			540	194	1840	180	53	450	96	94	98

Begge de beskrevne forsøg har haft problemer med prøvetagning, hvilket har givet uforklarlige værdier. På baggrund af de data, der vurderes valide forventes følgende rensegrader for Mecanafilter ved rensning af separatkloakeret vejvand:

- Suspenderet stof 70-90 %
- Mikroplast 85-97 %
- Arsen 17-52 %
- Zink 60-90 %
- Kobber 60-90 %
- Cadmium 30-45 %
- Crom 31-64 %
- Nikkel 30-51 %
- Kobolt 48-60 %
- PAH 40-90 %

På baggrund af de to referencer vurderes det, at et Mecanafilter renser det vand, der passerer gennem filteret, nogenlunde svarende til BAT for den del af årsnedbøren, der renses, idet rensegraden for SS ligger i intervallet 70-90 %. Samtidig ses en fjernelse af de metaller og organiske mikroforureninger, der er bundet til de fjernede partikler

RENSNING I UDSKILLERE

Der findes en lang række udskillere på markedet. I det følgende beskrives de modeller, der er dokumenteret på hjemmesiden for Teknologisk's projektnetværk, Vandkvalitet der BAT'er /13/.

Rensning for suspenderet stof er generelt gennemført på Millisili W4, der i partikelstørrelsesfordeling er sammenligneligt med typisk suspenderet stof i regnvand. Koncentrationen af det suspenderede stof i det vand, der er ledt til rensning, fremgår ikke af testrapporterne. For de gennemførte tungmetaller kendes hverken de tilførte koncentrationer eller fordelingen mellem partikelbundet og opløst fraktion.

Dertil kommer, at mange af renseløsningerne er testet på flow, der er meget lavere end deres designflow. Samlet set betyder det, at dokumentationen har meget begrænset validitet i forhold til vurdering af løsningernes renseseffekt på separatkloakeret regnvand.

Hydrauliske forhold ved rensning i udskillere og filtre

Udskillere og filtre fungerer typisk ved, at de renses en delstrøm af det tilførte vand, mens resten går i overløb. Løsningernes angivne renseseffekt gælder derfor kun for den del af nedbøren, der ledes gennem anlæggets rensfunktion. For at få en samlet rensesgrad skal man tillægge det stof, der ledes urensset, når løsningen går i omløb. Da langt den største del af årsnedbørens volumen falder ved lavintense regn, og der ydermere sker en udjævning af regnens intensitet gennem kloaksystemet, kan udskillere med begrænset kapacitet renses en stor andel af det samlede afledte volumen.

For at kunne bedømme udskillere med begrænset hydraulisk kapacitet vises i Tabel 6 for et opland på 1 ha red., hvor stor en procentdel af årsnedbørens volumen, der renses ved forskellige anlægskapaciteter (udløb l/s) og koncentrationstider (1 til 50 minutter). Af tabellen kan f.eks. aflæses, at en løsning med en kapacitet på 15 l/s ved en koncentrationstid på 10 minutter kan renses 88,84 % af årsnedbøren fra et opland på 1 ha befæstet areal.

For de udskillere, der beskrives i det følgende, er angivet, hvor stort et opland, de kan håndtere, hvis de skal renses hhv. 80 og 95 % af årsnedbørens volumen svarende til BAT (80 % fjernelse af SS). For mindre kapaciteter, svarende til oplande mindre end 5 ha regnes med en koncentrationstid på 10 minutter. For større oplande regnes med en koncentrationstid på 30 minutter.

Kapaciteten er angivet ud fra at alt det vand, der passerer udskilleren, renses til BAT. Da en stor del af det rensede vand ledes gennem udskilleren ved lavere flow, hvor rensesgraden er større end 80 %, vil årsmiddelrensesgraden være større end 80 %. Det betyder, at anlæggenes kapacitet (ha håndteret til BAT) generelt er underestimeret.

Tabel 6: Procentdel af årsnedbøren fra 1 ha red., der renses ved forskellige anlægskapaciteter (udløb l/s) og koncentrationstider (1 til 50 minutter). Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer.

	Tilløb til rensning [%] for forskellige koncentrationstider [min]							
	1	5	10	15	20	25	30	50

Tilløb (l/s ha red.)								
5	62,33	64,49	66,67	68,36	69,81	71,07	72,21	75,87
10	77,11	80,60	82,75	84,29	85,56	86,63	87,57	90,29
15	83,21	86,96	88,84	90,19	91,25	92,11	92,82	94,77
20	86,41	90,30	91,98	93,17	94,06	94,75	95,31	96,75
30	90,84	93,71	95,16	96,10	96,74	97,22	97,59	98,54
40	93,38	95,57	96,77	97,51	98,01	98,37	98,64	99,27
50	94,69	96,73	97,74	98,34	98,73	99,00	99,19	99,61
75	97,00	98,31	98,98	99,32	99,53	99,65	99,74	99,90
100	98,20	99,04	99,47	99,68	99,80	99,86	99,90	99,96
110	98,43	99,22	99,58	99,75	99,85	99,91	99,93	99,98
140	99,05	99,56	99,79	99,88	99,94	99,97	99,98	100,00

Sedipipe

Løsningens udformning og funktion

Sedipipe er en sedimentationsudskiller, hvor vandet via en stor sandfangsbrønd gennem et langt og stort dimensioneret rør med bagfald ledes til udløbsbrønd. Rensningen sker ved sedimentation i røret, hvor vandhastighed skal være lav. Det sedimenterede materiale flyder på grund af rørets bagfald tilbage til sandfangsbrønden i indløbet. Olie samles i toppen af røret og flyder i vandet retning og opsamles i udløbsbrønden. For at sikre uforstyrret flow af partikler og olie, er der indskudt riste på langs i røret.

Løsningens renseseffekt

Renseeffekten for suspenderet stof er i forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/. Der er testet på CaCO_3 , hvor partikelstørrelsen ikke er angivet. Derfor kan resultaterne ikke bruges i en vurdering af renseseffekten på separatloakeret regnvand. De angivne rensesgrader fremgår af Tabel 7.

Tabel 7: Rensegrader for suspenderet stof (CaCO₃m med ukendt partikelstørrelsesfordeling) og ved ukendt indløbskoncentration i SedipipeXXL (Ø600, længde 24 meter) på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af SS (%)
5	89,4
15	76
30	53,6
40	42,5
50	40,4

Med en kapacitet på lidt under 15 l/s vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren til BAT fra et opland på ca. 1,5 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,5 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter. Alternativt kan Sedipipes etableres som renseløsning efter forsinkelse i en magasineringsløsning, f.eks. et rørbassin, der ikke i sig selv renser vandet. På den måde kan det sikres, sedipipe-løsningen belastes hydraulisk med et relevant flow.

I /13/ refereres desuden rensegrader for næringsstoffer, total PAH og en række metaller (Tabel 8). Det er ikke specificeret om metallerne både omfatter opløst og partikelbundet fraktion, og størrelsen på den testede Sedipipe er ikke angivet. Hvis det, som refereret i tabellen forudsættes, at 90 % af årsnedbøren håndteres med en kapacitet på 15 l/s, svarer det til, at det håndterede opland er ca. 1 ha red. med en koncentrationstid på 10 minutter. I tabellen indgår kun den del af vandet, der renses.

Tabel 8: Rensegrader for næringsstoffer, Total-PAH og metaller (ikke specificeret, om det er total.metal koncentrationer) fra ca. 1 ha opland. på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Total-P (%)	Total-N (%)	Total-PAH (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Cd (%)
0,0	58,0 (100)	40,0 (100)	98,0 (100)	55,0 (100)	66,0 (100)	58,0 (100)	92,0 (100)	62,0 (100)
5,0	51,9 (89,4)	35,8 (89,4)	87,6 (89,4)	49,2 (89,4)	59,0 (89,4)	51,9 (89,4)	82,2 (89,4)	55,4 (89,4)
15,0	44,1 (76,0)	30,4 (76,0)	74,5 (76,0)	41,8 (76,0)	50,2 (76,0)	44,1 (76,0)	69,9 (76,0)	47,1 (76,0)
30,0	31,1 (53,6)	21,4 (53,6)	52,5 (53,6)	29,5 (53,6)	35,4 (53,6)	31,1 (53,6)	49,3 (53,6)	33,2 (53,6)
40,0*	24,7 (42,5)	17,0 (42,5)	41,7 (42,5)	23,4 (42,5)	28,1 (42,5)	24,7 (42,5)	39,1 (42,5)	26,4 (42,5)
50,0*	23,4 (40,4)	16,2 (40,4)	39,6 (40,4)	22,2 (40,4)	26,7 (40,4)	23,4 (40,4)	37,2 (40,4)	25,0 (40,4)

* Tilstrømning med regnvandsmængde > 15 l/s*ha, forekommer ofte ved større regnskyld. Nedbørsmængder på op til 15 l/s*ha dækker > 90 % af alle gennemsnitlige årlige nedbørshændelser.

ACO Stormsed Vortex

Løsningens udformning og funktion

ACO Stormsed vortex er en hydrocyklon. I udskilleren fjernes en del af vandets indhold af partikler og olie. I databladet for løsningen angives for tre produkter i forskellige størrelser maksimale belastninger fra 27-600 l/s og en maksimal belastning ved en partikelfjernelse på 50 % fra 12 til 187 l/s.

Løsningens renseseffekt

Renseeffekten er i forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/ testet på meget lave flow (Tabel 9). Det fremgår ikke, hvilken model og størrelse, der er testet.

Tabel 9: Rensegrader for suspenderet stof (millisil W4) ved ukendt indløbskoncentration i hydrocyklonen ACO Stormsed vortex (model ikke specificeret) på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total SS (%)
0,2	91,5
0,48	86,0
2	63,2

Med en kapacitet på 0,5 l/s vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren til BAT fra et opland på 0,05 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,02 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter.

Stopol

Løsningens udformning og funktion

Stopol, Unisep Tungmetaludskiller er en brønd, hvor vandet passerer gennem et grovfilter efterfulgt af sedimentation i en form for lameludskiller. I udskilleren fjernes en del af vandets indhold af partikler og olie. Løsningen er specificeret til brug på arealer op til 1.000 m².

Løsningens renseseffekt

Renseeffekten er i forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/ testet på meget lave flow (Tabel 10).

Løsningen kan på baggrund af den testede renseseffekt kun rense vand fra mindre arealer til BAT.

Tabel 10: Rensegrader for suspenderet stof (Millisil W4) ved ukendt indløbskoncentration i Stopol, Unisep Tungmetaludskiller 1.000 m² på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total SS (%)
0,2	91,5
0,48	86,0

2	62,9
---	------

Med en kapacitet på 0,5 l/s vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren til BAT fra et opland på 0,05 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,02 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter.

ACO Stormclean

Løsningens udformning og funktion

ACO Stormclean er en løsning, der i følge producenten kombinerer bundfældning, filtrering, sorption og udfældning med henblik på at fjerne suspenderet stof og opløste metaller. Løsningen tilbageholder også olie.

Løsningens renseseffekt

ACO Stormclean kommer i flere størrelser, og renseseffekten er i forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/ testet på meget lave flow (Tabel 11 og Tabel 12). Løsningen har god renseseffekt for både SS og metaller, men det er ikke på baggrund af producentens oplysninger eller de gennemførte analyser muligt at vurdere, hvor store arealer, løsningen kan håndtere til BAT.

Tabel 11: Rensegrader for suspenderet stof (Millisil W4) ved ukendt indløbskoncentration i ACO Stormclean på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total SS (%)
0,125	98,9
0,3	97,5
1,25	95,3

Tabel 12: Rensegrader for Total-Cu og Total-Zn ved ukendt indløbskoncentration og fordeling mellem opløste og partikelbundne fraktioner i ACO Stormclean på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total-Cu (%)	Fjernelse af Total-Zn (%)
0,16	97,7	96,7
0,38	98,8	98,3
1,6	93,3	93,9

Trithon 20 l/s

Løsningens udformning og funktion

Trithon er en hydrocyklon, der fås i to modeller med kapaciteter på hhv. 3-12 l/s og 5-20 l/s. I udskilleren fjernes en del af vandets indhold af partikler og olie.

Løsningens renseseffekt

Løsningen er testet på flere flow, der refereres i /13/ og findes i Tabel 13. På baggrund af de refererede tests kan Trithon ikke rense til BAT (80 % fjernelse af SS), hvis belastningen overskrider 50% af løsningens angivne kapacitet.

Tabel 13: Rensegrader for suspenderet stof (Millisil W4) ved ukendt indløbskoncentration i hydrocyklonen Trithon 20 l/s på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total SS (%)
5	91
10	78
15	67
20	60
25	54

Med en kapacitet på 10 l/s vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren til BAT fra et opland på 1 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,35 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter.

Viatab

Løsningens udformning og funktion

ViaTub er en lamelseparator, der gør det muligt at reducere udskillerens dimensioner sammenlignet med traditionelle sedimentationsanlæg.

Anlægget tilbydes med kapaciteter fra 13-46,8 l/s. Når disse kapaciteter overskrides, går det overskydende vand urensset i omløb.

Løsningens renseseffekt

I forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/ er ViatubIII 3, der har en angivet kapacitet på 13 l/s testet med flow, der er væsentlig lavere end den angivne kapacitet (Tabel 14). Løsningen kan på baggrund af den gennemførte test ikke forventes at rense regnvand til BAT med den angivne kapacitet.

Tabel 14: Rensegrader for suspenderet stof (Millisil W4) ved ukendt indløbskoncentration i ViatubIII 3 på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af SS < 63 µm (%)	Fjernelse af Total SS (%)
0,33	81,8	91,2
0,78	79,5	90,0
3,25	48,9	75,0

Med en kapacitet på 3 l/s vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren til BAT fra et opland på 0,3 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,1 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter.

Via Plus

Løsningens udformning og funktion

ViaPlus er et substratfilter, der etableres efter en effektiv udskillelse af partikler. Filteret er målrettet at fjerne små partikler, opløste metaller, olie og andre organiske forureninger /14/.

Filteret er opbygget af tre trin. Først en cyklon, der fjerner større partikler, dernæst en egentlig filtrering, der tilbageholder mindre partikler og til sidst et sorptionsfilter, der renser vandet for opløste metaller, olie og andre organiske forureninger.

Løsningens renseseffekt

Filteret fås i flere størrelser med en maksimal hydraulisk kapacitet, der ligger i intervallet 5 til 66 l/s. Når kapaciteten overskrides, går vandet i overløb uden om filteret.

Filteret er testet på Millisil W4 i ukendt koncentration og tungmetaller i ukendt koncentration og fordeling mellem opløst og partikelbundet fraktion.

Med en kapacitet på 5 l/s vil filteret kunne rense 80 % af årsnedbøren fra et opland på 0,5 ha befæstet areal ha eller 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 0,17 ha befæstet areal. Beregningerne er udført på 44 års historiske regndata fra Søborg Vandværk, uden korrektion for klimaændringer og med en koncentrationstid på 10 minutter.

Er kapaciteten 66 l/s, vil filteret overslagsmæssigt kunne rense 80 % af årsnedbøren bedre end BAT fra et opland på 9 ha befæstet areal ha med 30 minutters koncentrationstid. Med 10 minutters koncentrationstid kan løsningen rense 95 % af årsnedbøren fra et opland på ca. 2,5 ha befæstet areal.

I forbindelse med Teknologisk's projekt /13/ er filteret dokumenteret at have en renseeffekt på 94 % for partikler ved en belastning på 66 l/s den maksimale belastning af filteret og hhv. 99,8 og 88,3 % for total Cu og Total Zn ved en belastning på 25 l/s.

Watercare DPF

Løsningens udformning og funktion

I Watercare DPF fjernes SS i anlægget, der fungerer ved, at vandet i et tyndt lag strømmer horisontalt over en række plader, hvor partiklerne sedimenterer og siden fjernes ved spuling. Anlægget kræver lave vandhastigheder og er derfor meget stort i forhold til de øvrige beskrevne udskillere. Efter sedimentationen kan der etableres et sorptionsfilter af kalkmineraler, der angiveligt fjerner fosfor og tungmetaller.

Løsningens renseeffekt

DPF kommer i flere størrelser, og renseeffekten er i forbindelse med projektet Vandkvalitet, der batter /13/ testet på meget lave flow (Tabel 15). Testen er gennemført med en indløbskoncentration, der kan beregnes til 1.000 mg SS/l, hvilket er en størrelsesorden over de koncentrationer, der typisk findes i separatkloakeret regnvand.

Løsningen har god renseeffekt for både SS og metaller, men det er ikke på baggrund af producentens oplysninger eller de gennemførte analyser muligt at vurdere, hvor store arealer, løsningen kan håndtere til BAT.

Watercare refererer i deres salgsmateriale /15/ rensegrader for Total-P svarende til 70-75 %. Den hydrauliske belastning af filteret fremgår ikke af referencen.

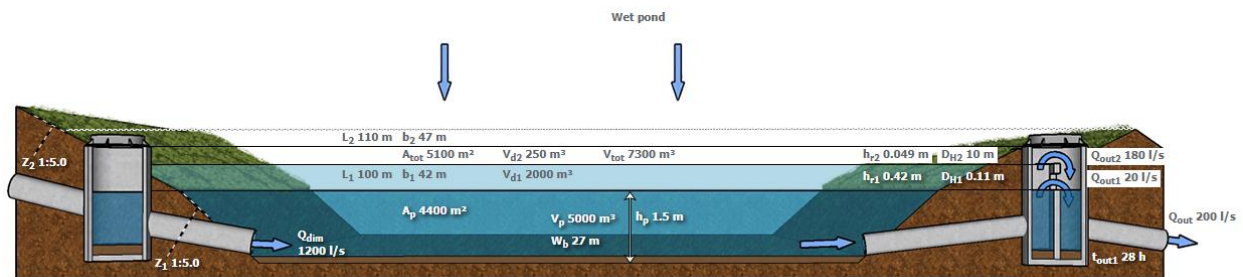
Tabel 15: Rensegrader for suspenderet stof (Millisil W5) ved en indløbskoncentration på 1.000 mg SS/l i Watercare DPF på baggrund af /13/

Tilstrømning (l/s)	Fjernelse af Total SS (%)
0,25	98
0,5	98
0,75	96
1	97
2	94

- Grass ditches: Traditionelle grønne grøfter, hvor en del af vandet nedsives, og resten strømmer af gennem grøften, hvor vandet renses ved bl.a. sedimentation af partikler.
- Swales: Som grass ditches men med større bundbredde og fladere anlæg på sideskråningerne.
- Dry ponds: Forsinkelsesbassin uden permanent vådvolumen men med græs i bunden.
- Filterstrips: Rensning ved, at vandet afledes hen over en vegetationsdækket overflade, der tilbageholder forureningen

Wet ponds

Wet ponds er åbne bassiner med et konstant vådt volumen (Figur 4). Ved kraftig regn samles vandet i det resterende tørre bassinvolumen, hvorfor det også fungerer som et forsinkelsesbassin. Vandet renses ved hjælp af sedimentation af forureningsstoffer. Større vådområder, med en gennemsnitsdybde under 0,5 m, kaldes i StormTac for "Wetlands", og disse har en anden renseseffektivitet /3/. Ved design af våde regnvandsbassiner indgår bl.a. areal af hele bassinet, areal af permanent vådvolumen, dybde af permanent vådvolumen og ind- og udløbsflow.

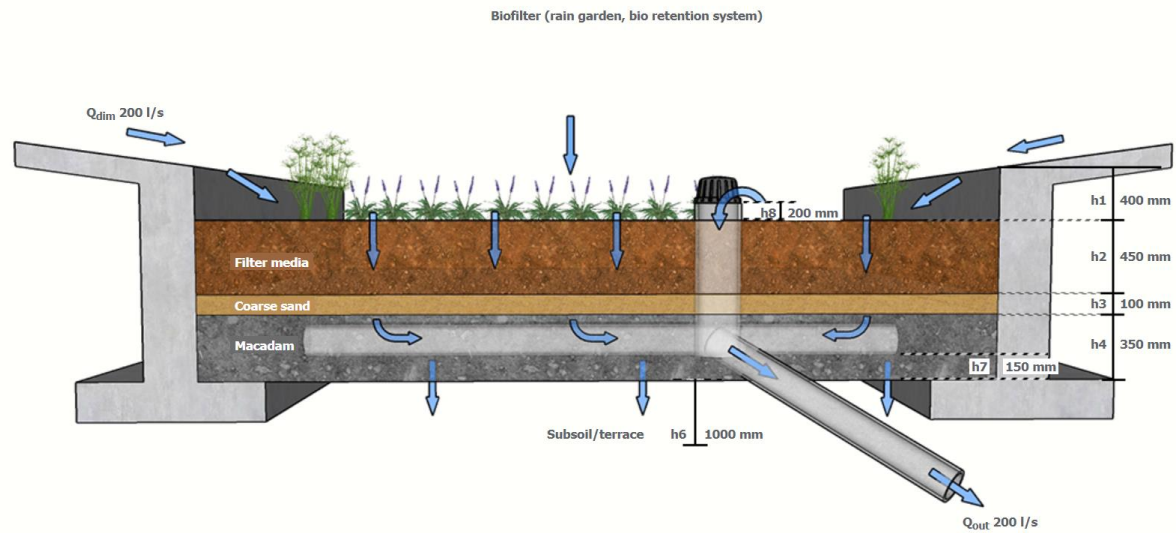


Figur 4: Wet ponds dækker over løsninger, hvor vandet renses ved sedimentation under opstuvning i et bassin. En del af bassinet holdes som et permanent vådvolumen, hvilket sikrer yderligere sedimentering.

For våde bassiner etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensesgrader for udvalgte stoffer der ses i Tabel 16. Rensesgrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/. Bemærk, at rensesgraderne for wet ponds i Stormtac ikke stemmer fuldt overens med de værdier, der er refereret i afsnittet om våde regnvandsbassiner. Det kan bl.a. skyldes den anlægsgeometri, der er benyttet for det bassin, Stormtac refererer til.

Biofilters

Renseløsningen biofiltre dækker over renseløsninger, hvor rensningen sker ved, at vandet siver gennem et filtermedie, der kan være filtermuld eller designede filtermedier (Figur 5). Løsningerne kendes i en dansk kontekst som regnbæde, vejbede, nedsivningsbassiner eller nedsivningsgrøfter, hvor vandet opsamles i et drænlæg under filteret og afledes til recipient. Ved design og dimensionering af biofiltre indgår bl.a. filterareal, filtertykkelse og hydraulisk belastning af filteret. I designet indgår desuden andel af vandet, der går i overløb uden om filteret og vand, der afledes ved nedsivning (kan sættes til nul).

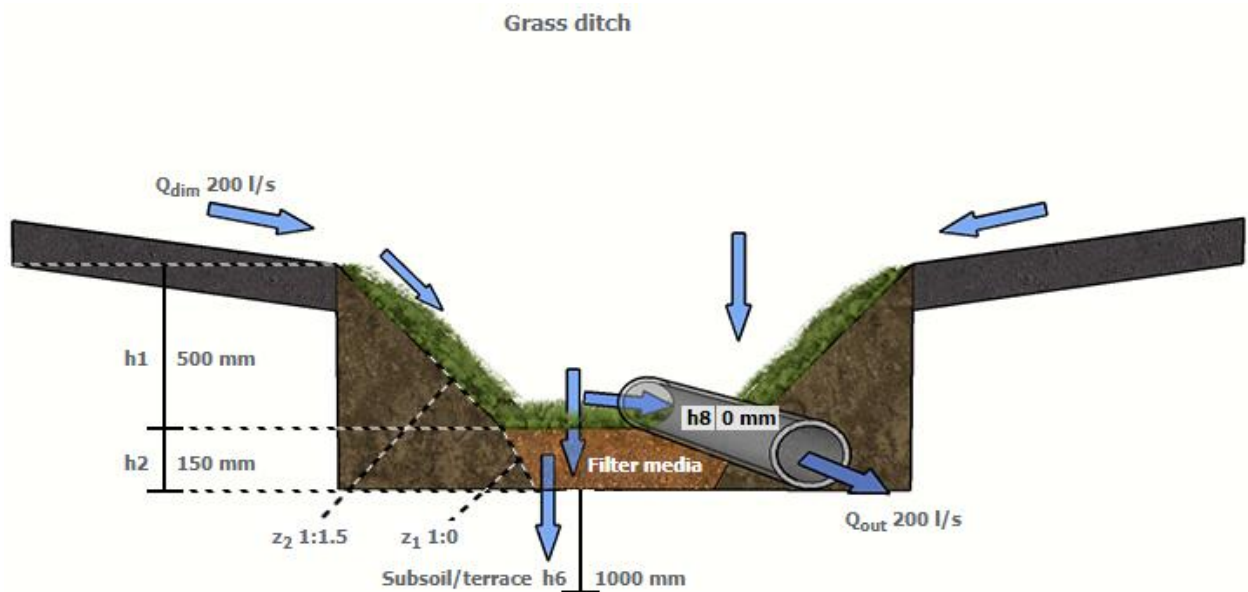


Figur 5: Biofilters dækker over løsninger, hvor vandet renses gennem filtermuld og opsamles til afledning i et drænlag. Dette kan f.eks. være regnbæde, vejbede eller nedsivningsbassiner eller nedsivningsgrøfter, hvor vandet opsamles i et drænlag og udledes efter rensning.

For biofiltre etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensegrader for udvalgte stoffer, der ses i Tabel 16. Rensegrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/.

Grass ditches

Grass ditches er traditionelle grønne grøfter, hvor en del af vandet nedsives, og resten strømmer gennem grøften, hvor vandet renses ved bl.a. sedimentation af partikler (Figur 6). I bunden kan der placeres filtermuld for at rense det vand der nedsives. Ved design af grøfter indgår bl.a. oplandsareal, areal af grøften, hældning, tykkelse af filterlag og hydraulisk belastning. I designet indgår desuden vand, der afledes ved nedsivning (kan sættes til nul).

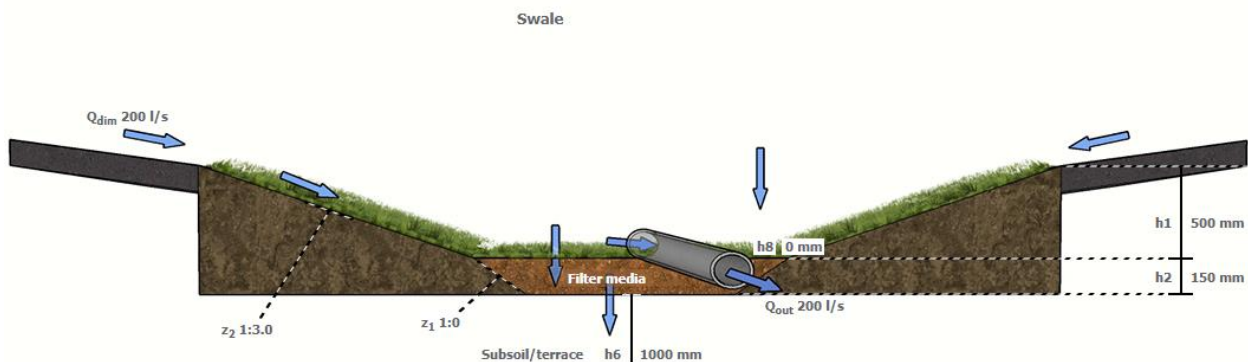


Figur 6: Grass dicthes dækker over løsninger, hvor vandet strømmer gennem en grøft (røret på figuren illustrerer strømning gennem grøften). En del af vandet nedsives, mens det resterende strømmer gennem grøften.

For grøfter etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensegrader for udvalgte stoffer, der ses i Tabel 16. Rensegrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/.

Grass Swales

Swales fungerer på samme måde som grass ditches men med større bundbredde og fladere anlæg på sideskråningerne (Figur 7). En del af vandet nedsives, og resten strømmer gennem "swalen", hvor vandet renses ved bl.a. sedimentation af partikler. Ved design af swales indgår bl.a. oplandsareal, areal af grøften, hældning, tykkelse af filterlag og hydraulisk belastning. I designet indgår desuden vand, der afledes ved nedsivning (kan sættes til nul).

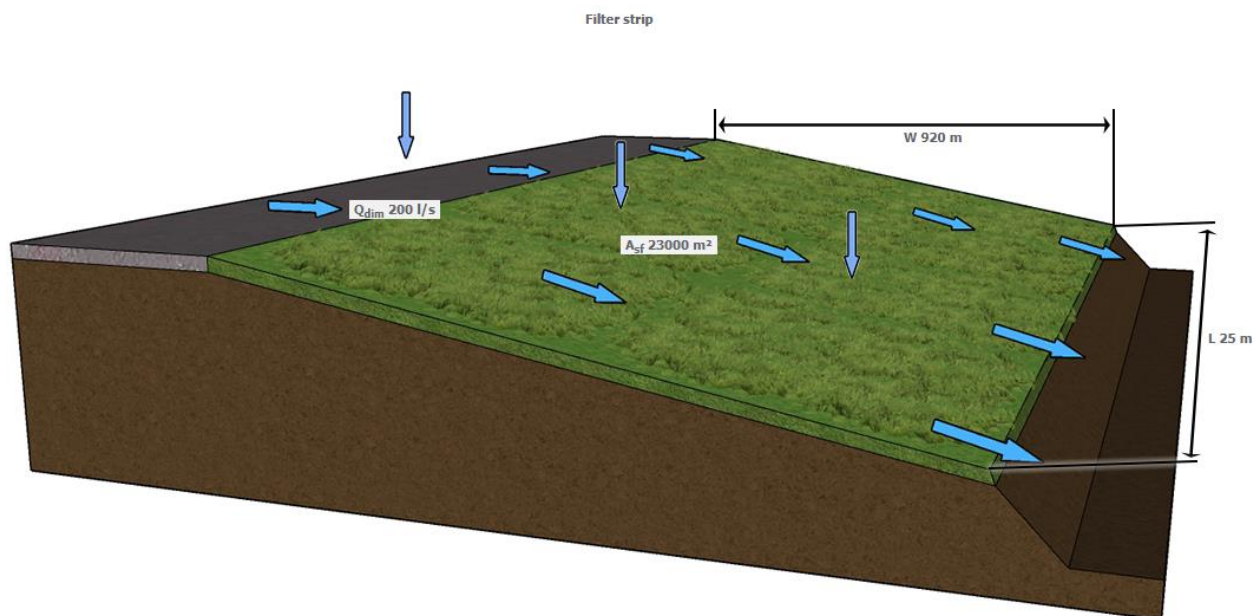


Figur 7: Swales dækker over løsninger, hvor vandet strømmer gennem en bred grøft. En del af vandet nedsives, mens det resterende strømmer gennem grøften (røret på figuren illustrerer strømning gennem grøften).

For swales etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensegrader for udvalgte stoffer, der ses i Tabel 16. Rensegrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/.

Filterstrips

Filterstrips er vegetationsdækkede overflader med en hældning. Rensningen sker ved, at vandet afledes hen over overfladen, der tilbageholder en del af partiklerne (Figur 8). Ved design af filterstrips bruges bl.a. arealet af området og den hydrauliske belastning.

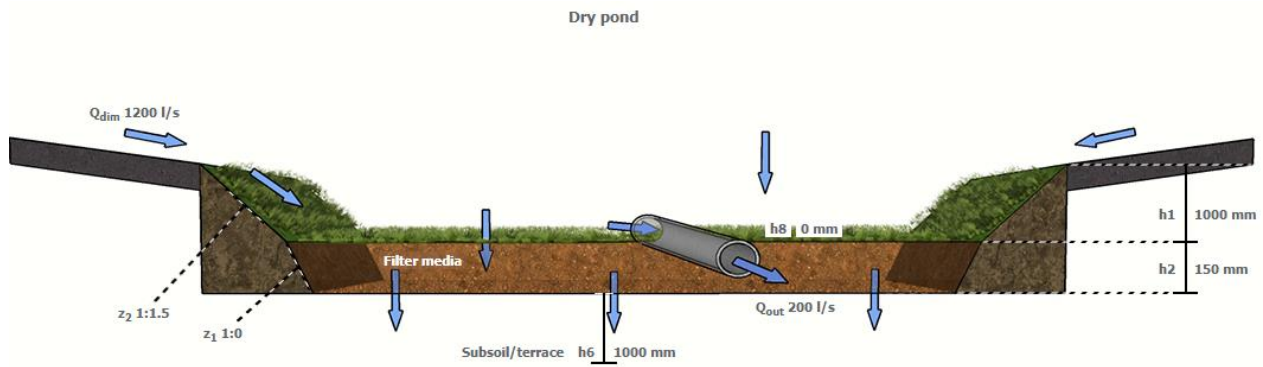


Figur 8: Filter strips er en løsning hvor vandet renses ved at blive afledt hen over en vegetationsdækket overflade.

For filterstrips etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensegrader for udvalgte stoffer, der ses i Tabel 16. Rensegrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/.

Dryponds

Dry ponds er forsinkelsesbassiner uden permanent vådvolumen (Figur 9). Vandet renses ved sedimentation og afstrømning over bassinets vegetationsdækkede bund. Ved design af dry ponds indgår bl.a. areal af bassinet, og hydraulisk belastning. I Stormtac indgår mulighed for delvis afledning ved nedsivning og i den forbindelse tykkelsen af den filtermuld, der renser det nedsivende vand. Nedsivningsbidraget kan sættes til nul.



Figur 9: Dry ponds dækker over tørre regnvandsbassiner. Vandet renses ved sedimentation under opstuvning, samt ved afstrømning over bassinets vegetationsdækkede bund. (røret på figuren illustrerer, at vandet afledes gennem bassinet)

For dry ponds etableret efter StormTacs anvisninger gælder rensegrader for udvalgte stoffer, der ses i Tabel 16. Rensegrader for øvrige stoffer findes i StormTac /3/.

Oversigt

I Tabel 16 findes rensegrader for SS, næringsstoffer og udvalgte metaller for de udvalgte løsninger. Der er adgang til de fulde data for op til næsten 200 stoffer via databasen i Stormtac /3/. Bemærk, at rensedata er Stormtacs defaultværdier, der forudsætter dimensionering af løsninger i Stormtac. Det gælder desuden, at rensegraderne afhænger af indløbskoncentrationen til anlæggene. Dette er relevant, når man arbejder med regnvand fra forskellige oplande eller koblede løsninger. Det anbefales derfor altid at arbejde i Stormtacværktøjet frem for at bruge default rensegrader.

Tabel 16: Oversigt over rensegrader for syv renseløsninger på udvalgte stoffer fra /3/. Bemærk, at rensegraderne forudsætter, at anlæggene udformes og dimensioneres jf. de anvisninger, der indgår i Stormtac's dimensioneringsværktøj.

Rensegrad (%)	SS	Total-N	Total-P	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	PAH16
Våde regnvandsbassiner	80	35	55	75	60	60	50	75	50	70
Biofiltre	80	40	65	80	65	85	85	55	75	85
Grass ditches	65	20	30	40	20	55	35	35	50	15
Swales	70	35	35	65	50	65	65	50	50	60
Filter strips	70	30	40	55	55	50	55	45	45	70
Tørre regnvandsbassiner	50	25	10	40	30	30	40	40	30	30
Permeable belægninger	90	75	65	70	75	95	70	70	65	75

RENSNING I STORE FASTMEDIEFILTRE

Løsningens udformning og funktion

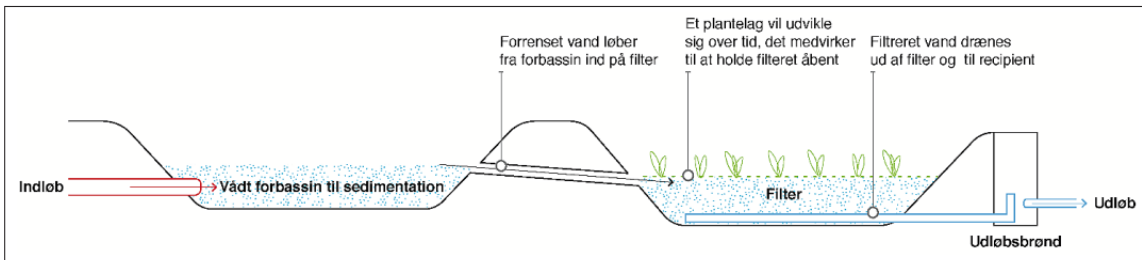
Store fastmediefiltre adskiller sig fra præfabrikerede sorptionsfiltre ved at sorbenten indbygges i en mængde, der på en gang sikrer høj kontakttid mellem vand og sorbent og stor bindingskapacitet og derved lang levetid for sorbenten. På grund af den lange opholdstid i denne type filtre er det muligt at bruge simple, billige kalkminerale som sorbent. Praksis har dog vist, at det kan være vanskeligt at skaffe materialerne i store mængder.

I forbindelse med Life-Treasure-projektet blev der i 2009 samlet op på erfaringerne med forskellige typer af videregående rensning af regnvand /19/, herunder efterpolering af vandet i et fastmediefilter. Bassinets funktion er at tilbageholde suspenderet stof, så det ikke tilstopper sorptionsfilteret, der forbedrer renseseffekt for både fosfor og metaller i forhold til rensning i våde bassiner.

På baggrund af erfaringerne fra Life-Treasure-projektet er siden etableret to anlæg med efterpolering i fastmediefiltre, efter at vandet er rensat for suspenderet stof i et vådt regnvandsbassin. Anlæggene renser vand fra motorvejen mellem Aarhus og Silkeborg. Anlæg og renseseffekter findes beskrevet i /19/ og /20/.

Anlæggene er dimensioneret med et vådt volumen på 250 m³ pr. ha red i regnvandsbassinet og et filterareal på 200 m²/ha red med en filtertykkelse på 1 meter. (Figur 10).

De to filtre er opbygget med et vegetationsdækket overfladelag af sand og sphagnum, der skal beskytte sorbenten mod tilstopning med partikler, et underliggende sorptionsfilter og et drænsystem i bunden til opsamling og afledning af vandet. Afledningen sker via en svanehals, så filteret er konstant vandfyldt. Det sikrer maksimal opholdstid og lang kontaktid for de knap 10 mm nedbør, der står tilbage i filteret efter at regnen er ophørt.

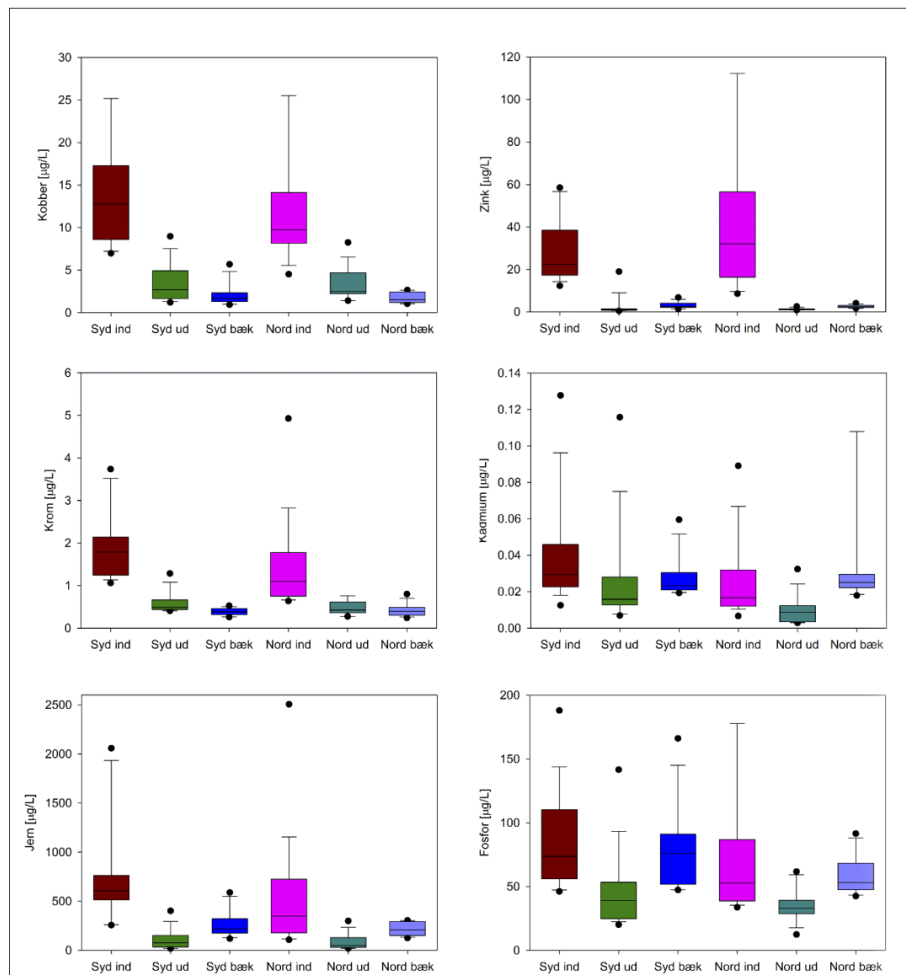


Figur 10: Principskitse af filteranlæg. Regnvandsbassinet tilbageholder partikler, og fosfor og metaller bindes ved kontakt med filtermediet i det efterfølgende filter /19/

Løsningens renseeffekt

I de to filtre, der indgår i testen, er der brugt forskellige sorbenter. Renseeffekten af disse er vist i Figur 11. I "Filter-Nord" er brugt 1 m kalksten (Faxse Vandbehandlingskalk), i "Filter-Syd" er anvendt 0,5 m kalksten (Faxse Vandbehandlingskalk), så 0,3 m blanding af 33% olivingranulat (Olivin Blueguard 1-3, Dansand) og 67% filtersand (0/4 mm, Dansand) og 0,2 m kalksten (Faxse Vandbehandlingskalk). Med den beskrevne opbygning og dimensionering vurderes filtrene at have kapacitet til at rense vandet i mere end 50 år. Alle filtermaterialer er kommercielt tilgængelige men produceres ikke tilnærmelsesvis i mængder, der svarer til det, der skal bruges, hvis teknologien bliver udbredt til rensning af regnvand.

Filtrenes evne til at fjerne tungmetaller og fosfor fra vejvand, der allerede er rensat i et vådt regnvandsbassin, er målt ved at analysere flowproportionale prøver i indløb og udløb fra filtrene. Renseeffekten for kobber, zink, krom, kadmium, jern og fosfor fremgår af Figur 11. Af figuren ses, at rensningseffekten af de to filtermaterialer er sammenlignelig.



Figur 11: Ind- og udløbskoncentrationer af metaller og fosfor i det sydlige og det nordlige filter i et forsøg med videregående rensning i fastmediefiltre/19/

På baggrund af Figur 11 er rensegraderne i fastmediefilteret anslået for fosfor, kobber og zink i Tabel 17. I tabellen findes en beregnet udløbskoncentration for den samlede renseløsning med udgangspunkt i, at indløbskoncentrationerne og rensegraden i våde bassiner repræsenterer de værdier, der findes i Separatvand.dk /2/.

Tabel 17: Koncentrationer af stoffer i regnvand og rensegrader i våde regnvandsbassiner på baggrund af Separatvand.dk /2/ samt rensegrader i fastmediefiltre på baggrund af aflæsning af figur 5 /19/. Samlet rensegrad for vådt bassin og resulterende udløbskoncentrationer er beregnet på baggrund af de øvrige data i figuren.

	Koncentration i regnvand /2/	Rensegrad i vådt bassin /2/	Rensegrad i fastmediefilter. På baggrund af /19/	Samlet rensegrad	Resulterende udløbskoncentration
Total-P	0,3 mg/l	70 %	35-40 %	>80 %	<0,06 mg/l

Total-Cu	15 µg/l	75 %	70-80 %	>92 %	<1,2 µg/l
Total-Zn	100 µg/l	75 %	93-95 %	>98 %	<1,8 µg/l

Da fastmediefiltre etableres med et lag af filtermuld oven på adsorbenten, vil filteret desuden have renseeffekt i forhold til en række organiske forbindelser. De renseeffekter, der er angivet i tabel 23-27, er baseret på ovenstående suppleret med fysisk-kemiske vurderinger af de enkelte stoffer, der ikke er gennemført målinger på.

RENSNING VED KEMISK FÆLDNING

Kemisk fældning med jern eller aluminium anvendes til fældning af fosfor på mange spildevandsrenseanlæg. Aluminium bruges også til rensning af regnvand med det kompakte renseanlæg, Actiflo, og er brugt ved forsøg med direkte tilsætning af fældningskemikaliet i forbindelse med regnvandets tilløb til et regnvandsbassin. Renseeffekten af kemisk fældning i kombination med sedimentationsbassiner eller skivefiltre er med udgangspunkt i litteraturen søgt vurderet nedenfor.

Ved fældning bindes tilnærmelsesvist alt suspenderet stof og i nogen grad opløst fosfor og opløste metaller i "flokke" af aluminiumoxider, der efterfølgende kan fjernes ved sedimentation eller filtrering. Den effektive partikelfjernelse har i sig selv indflydelse på rensegraden for den del af de miljøfarlige stoffer, der er bundet til partiklerne. Ved fældningen sker desuden en reduktion af koncentrationen af opløste metaller og opløst fosfor. Det har ikke været muligt at finde dokumentation for, at fældning med aluminiumklorid har effekt i forhold til fjernelse af opløste organiske forureninger.

For fældning med aluminium gælder generelt, at den opnåede renseeffekt afhænger af valg af fældningskemikalie, dosis af kemikaliet, hvordan kemikaliet tilsættes og indpiskes, af forholdene og opholdstiden i forbindelse med, at aluminiumflokkene dannes og den efterfølgende udskillelse og eventuelle resuspension af flokkene.

Der findes kun begrænsede data på renseeffekten af kemisk fældning på regnvand, men i det følgende sammenfattes data, der tilsammen danner baggrund for et bud på, hvilken rensegrad, der kan forventes ved en optimeret kemisk fældning på regnvand.

Rensning på renseanlæg med kemisk fældning

Renseanlæg med kemisk fældning skal normalt leve op til fosforkrav, der overstiger koncentrationerne i urensset separatloakeret regnvand. Tal for fosforrensning på renseanlæg er derfor ikke relevante i forhold til dette projekt.

Der findes et stort datagrundlag for fjernelse af tungmetaller på renseanlæg. Miljøstyrelsen har under Novanaprogrammet /22/ samlet op på disse data i Tabel 18. I tabellen findes data for ind- og udløbskoncentrationer til MBNDK-anlæg (Mekanisk-Biologisk-Nitrifikation/Denitrifikation-Kemisk fældning).

Tabel 18: Nøgletal og reduktionsfaktorer for metaller og andre uorganiske sporstoffer i indløb og udløb fra MBNDK-anlæg baseret på hhv. alle spildevandsdata fra punktkildeprogrammet (1998-2019) og kun på data fra perioden 2011-2019. *, ** og

*** angiver, at reduktionsfaktorerne er skønnet til hhv. mindst 10%, mindst 50% og mindst 90% ud fra indikative nøgletal. "-" markerer reduktion skønnet til <10% /22/

Stofnavn	Nøgletal, indløb (µg/l)		Nøgletal, udløb (µg/l)		Reduktion, ind/ud (%)	
	Alle data	2011-2019	Alle data	2011-2019	Alle data	2011-2019
Aluminium ^A	1400	1400			***	***
Arsen	3,0	2,5	1,9	1,1	36	55
Bly	13	11	2,4		81	**
Cadmium	0,42	0,20	0,24		44	**
Chrom	9,0	6,1	3,2		65	**
Kobber	80	71	6,2	2,6	92	96
Kviksølv	0,52	0,40	0,62		-21 ^B	**
Nikkel	11	8,1	6,6	4,3	38	46
Zink	280	240	75	35	73	85
Antimon	2,2		1,6		25	
Barium	110	120	26	17	77	86
Bor	440	370	420	330	6	11
Molybdæn	4,9	3,6	3,4	2,2	30	37
Selen	1,3				-	
Tin	5,1	5,8	2,3		56	**
Vanadium	3,6	3,8	1,4		60	**

^A: Aluminium er først kommet med i måleprogrammet efter 2010, derfor er "alle data" = 2011-2019 data.

^B: Resultatet skyldes en kombination af stor andel af målinger under detektionsgrænsen i udløbsprøverne, betydelig spredning på måleresultaterne og højere detektionsgrænser på data før 2011. Reduktionsfaktoren for kviksølv vurderes til over 50 % i perioden 2011-2019 og det antages, at der også før 2011 reelt skete en reduktion af kviksølv fra indløb til udløb på MBNDK-anlæg.

Den kemiske fældning indgår i spildevandsrenseprocessen for at reducere udledningen af fosfor, men ved fældningen sker en samtidig reduktion af tungmetaller, der bindes i flokke og indgår i slammet i et senere sedimentationstrin. I mangel på bedre data kan rensegraderne fra Tabel 18 indgå i vurderingen af renseeffekten på regnvand ved in-situfældning med aluminium med efterfølgende filtrering på et effektivt skivefilter eller sedimentation i vådt bassin. Det vurderes dog ikke, at data kan overføres direkte til aluminiumfældning på regnvand, da koncentrationsniveauerne for metaller er højere i spildevand end i regnvand, og fordi tilsætningen af fældningskemikalier er mindre, end det, der planlægges i regnvand.

- Tungmetaller: For zink ses en reduktion på 73% og for kobber ses 92%.
- PAH: Tilløbskoncentrationen af PAH'er ligger på hårdt belastede renseanlæg typisk på 100-500 ng/l. På de fleste kommunale renseanlæg fjernes >90 % af PAH-forbindelserne, så udløbskoncentrationerne normalt ligger under detektionsgrænsen på 10 ng/l. /26/

- DEHP: I kommunalt spildevand varierer indløbskoncentrationer af DEHP til renseanlæggene typisk fra 5 til 25 µg/l, mens koncentrationen i konventionelt rensed spildevand typisk er 0,5 til 5 µg/l, svarende til en renseseffekt på 80-90 % /26/. På baggrund af DEHP's fysisk-kemiske egenskaber vurderes denne rensesgrad også at være gældende ved en ren kemisk fældning uden biologiske processer.
- Blødgørere: Der er ikke fundet data for fjernelse af blødgørere.
- Pesticider: På baggrund af de tre pesticiders fysisk-kemiske egenskaber vurderes der ikke at ske nogen væsentlig reduktion af disse ved kemisk fældning.
- PFAS: På baggrund af PFAS-stoffernes fysisk-kemiske egenskaber vurderes der ikke at ske nogen væsentlig reduktion af disse ved kemisk fældning.

Rensning af regnvand med Actiflo

Actiflo er et kompakt anlæg til kemisk fældning og efterfølgende udskilning af partikler ved accelereret sedimentation. Rensemetsoden svarer altså til aluminiumfældning på et renseanlæg. Anlægget er relativt dyrt i etablering og udnyttes derfor bedst som en central renseløsning for basisafstrømningen fra et større opland.

Actiflo er bl.a. brugt i forbindelse med udledning af regnvand til Grønjordsøen i København /24/. Nedenstående data for regnvand rensed med Actiflo er brugt som grundlag for Københavns Kommunes udledningstilladelse. Det forventes, at rensning i Actiflo kan leve op til dette.

Af Tabel 19 ses, at fosfor renses til meget lave niveauer i forhold til en antaget typisk indløbskoncentration på 0,3 mg P/l. Der findes ikke data for fjernelse af tungmetaller.

Tabel 19: Typiske koncentrationer for regnvand fra Ørestad rensed med Actiflo /24/.

pH	7.4	pH
Temperatur ved pH-måling	21	°C
Suspenderede stoffer	6.4	mg/l
Iltindhold	8.6	mg/l
Uorganiske forbindelser		
Ammoniak+ammonium-N, filtreret	0.27	mg/l
Nitrit+nitrat-N, filtreret	0.16	mg/l
Total Nitrogen	0.55	mg/l
Orthophosphat-P, filtreret	< 0.005	mg/l
Total Phosphor	0.026	mg/l
Chlorid, filtreret	660	mg/l
Organiske samleparametre		
BI5 (uden ATU)	2.5	mg/l
COD, kemisk iltforbrug	20	mg/l
Metaller		
Jern (Fe)	1.4	mg/l
Organiske forbindelser		
Klorofyl A	2.1	µg/l

Tages der udgangspunkt i regnvand med en sammensætning som vist i Tabel 1 fås på baggrund af ovenstående følgende rensegrader:

- SS 93 %
- P-tot 91 %
- P-opløst 97 %
- N-total 73 %
- BOD 60 %
- COD 65 %

Der er ikke angivet krav til kobber og zink, men da Actiflo renser bedre for partikler, end regnvandsbassiner, vil rensegraden alene af den grund være større end de værdier, der opnås med bassiner. Desuden kan der forventes en renseeffekt på opløste tungmetaller svarende til rensning på et spildevandsrenseanlæg med kemisk rensetrin.

Forsøg med rensning ved fældning direkte i regnvandsbassin

I forbindelse med et Life Treasure projekt /23/ blev der i Silkeborg gennemført forsøg med fældning med aluminiumklorid på regnvand. Doseringen skete direkte i det tilførte vand ved indløbet til et bassin uden forsøg på at optimere indpiskning af fældningskemikalier og flokkulering. De dannede flokke sedimenterede i bassinet, og vandet blev udledt ved gennemsivning af et sandfilter. Forsøget viste ingen effekt på rensningen for tungmetaller og kun begrænset god effekt i forhold til reduktion af fosfor. Dette skyldes formentlig meget lave fosforkoncentrationer i regnvandet, og at der ikke var tilstrækkeligt fokus på indpiskning af fældningskemikaliet og den efterfølgende flokkulering.

På baggrund af /23/ gennemførte Aalborg Universitet for Naturstyrelsen i 2012 yderligere forsøg med fældning på regnvand i laboratoriet og i indløb til regnvandsbassiner /21/. Rapporten konkluderer, at der er begrænset dokumentation på området, og at valg og af fældningskemikalier, indpiskning af fældningskemikalier, modning af flokke og eventuel resuspension har afgørende effekt på renseeffekten. I rapportens forsøgsdel blev der dokumenteret god rensning for både metaller og fosfor i Tabel 20. Renseeffekten på PAH blev også vurderet på baggrund af forsøgene med kemikaliedosering i /23/, og det blev vist, at der kun i begrænset omfang skete ekstra fjernelse af PAH i forhold til rensning i bassiner uden kemikaliedosering.

Tabel 20: Totale og opløste koncentrationer af metaller i tilløb og afløb i regnvandsbassiner og effekt af tilsætning af fældningskemikalie (Alumin₁₀) i bassinets tilløb /21/.

Totalt indhold af elementer:	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	P	Pb	Zn
Tilløb [$\mu\text{g L}^{-1}$]	2184	0,34	5,15	11,21	4008	9,30	362,5	9,25	179,5
Udløb før tilsætning [$\mu\text{g L}^{-1}$]	1012	0,29	2,66	7,06	4265	4,65	280,8	3,12	114,9
Udløb efter tilsætning [$\mu\text{g L}^{-1}$]	390	0,05	0,82	3,89	1092	2,05	100,1	1,99	35,0
Renseeffekt før tilsætning	54%	16%	48%	37%	-6%	50%	23%	66%	36%
Renseeffekt efter tilsætning	82%	85%	84%	65%	73%	78%	72%	78%	80%

Opløst indhold af elementer:	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	P	Pb	Zn
Tilløb [$\mu\text{g L}^{-1}$]	290	0,15	1,60	6,10	48,2	3,97	39,69	0,05	59,4
Udløb før tilsætning [$\mu\text{g L}^{-1}$]	258	0,13	0,85	4,39	100,7	2,87	13,98	0,88	34,76
Udløb efter tilsætning [$\mu\text{g L}^{-1}$]	50	0,05	0,23	2,75	44,3	1,61	34,87	0,79	7,00
Renseeffekt før tilsætning	11%	14%	47%	28%	-109%	28%	65%	-1657%	41%
Renseeffekt efter tilsætning	83%	68%	85%	55%	8%	59%	12%	-1479%	88%

I et studie fra University of Alabama er renseeffekten ved tilsætning af aluminiumsulfat til regnvand med efterfølgende fældning i et bassin undersøgt /18/. I Tabel 21 findes de opnåede rensegrader for suspenderet stof og metallerne Bly, cadmium, kobber og zink. For cadmium findes god overensstemmelse mellem Tabel 20 og Tabel 21, mens de amerikanske studier viser højere rensegrader for kobber, bly og zink.

Tabel 21: Rensegrader for suspenderet stof og tungmetaller ved fældning med aluminiumsulfat /18/

Table 4. Performance for Full-Scale MCTT Tests (median % reductions and median effluent quality)

	Milwaukee MCTT (15 events)	Minocqua MCTT (7 events)
suspended solids	98 (<5 mg/L)	85 (10 mg/L)
Cadmium (total)	91 (0.1 µg/L)	na
Cadmium (filtered)	66 (0.05 µg/L)	na
Copper (total)	90 (3 µg/L)	65 (15 µg/L)
Copper (filtered)	73 (1.4 µg/L)	na
Lead (total)	96 (1.8 µg/L)	nd (<3 µg/L)
Lead (filtered)	78 (<0.4 µg/L)	na
Zinc (total)	91 (<20 µg/L)	90 (15 µg/L)
Zinc (filtered)	68 (<8 µg/L)	na

Optimeret in-situfældning i kombination med mekanisk rensning

På baggrund af forsøg med dosering af fældningskemikalier i regnvandsbassiner har WSP udviklet et koncept, hvor fældningskemikalier bliver doseret til regnvand i afløbssystemet opstrøms bassinet, og hvor der i anlægget indbygges brønde til indpiskning af fældningskemikalier og modning af flokkene før sedimentationsbassinet. Hvis fældningskemikaliets og dosis kræver det, kan anlægsdesignet også rumme mulighed for at dosere base (NaOH) til vandet for at kompensere for fældningskemikaliernes påvirkning af pH.

Ved fældningsprocessen indlejres suspenderet stof i de flokke, der dannes, samtidig med, at der sker en binding af opløst fosfor og metaller. De dannede flokke er større end de oprindelige partikler, og har større udsynkningshastighed. Det betyder, at rensegraden for suspenderet stof i sedimentationsbassinet eller filteret vil være bedre end uden fældning.

Ved fældningen bindes de mindste partikler i flokkene og derved opnås en forbedret rensning for den partikelbundne fraktion af tungmetallerne, som følge af, at de små partikler jf. Tabel 22 indeholder de højeste koncentrationer af tungmetaller /18/.

Tabel 22: Koncentration af tungmetaller i forskellige partikelstørrelsesfraktioner i regnvand /18/.

Table 1. Summary Table Showing Heavy Metal Associations for Different Particle Sizes

particle size (µm)	Copper		Iron		Lead		Zinc	
	mg Cu/kg SS	COV	mg Fe/kg SS	COV	mg Pb/kg SS	COV	mg Zn/kg SS	COV
>250	50	na	28604	1.50	117	0.58	266	0.88
106 to 250	2137	1.45	21730	0.85	375	1.03	3486	0.79
45 to 106	1312	1.16	14615	0.72	226	0.85	2076	0.88
10 to 45	735	0.97	26221	0.54	229	0.50	1559	0.74
2 to 10	4668	1.60	18508	1.16	868	0.78	13641	1.88
0.45 to 2	2894	1.21	29267	1.31	199	1.40	13540	1.56

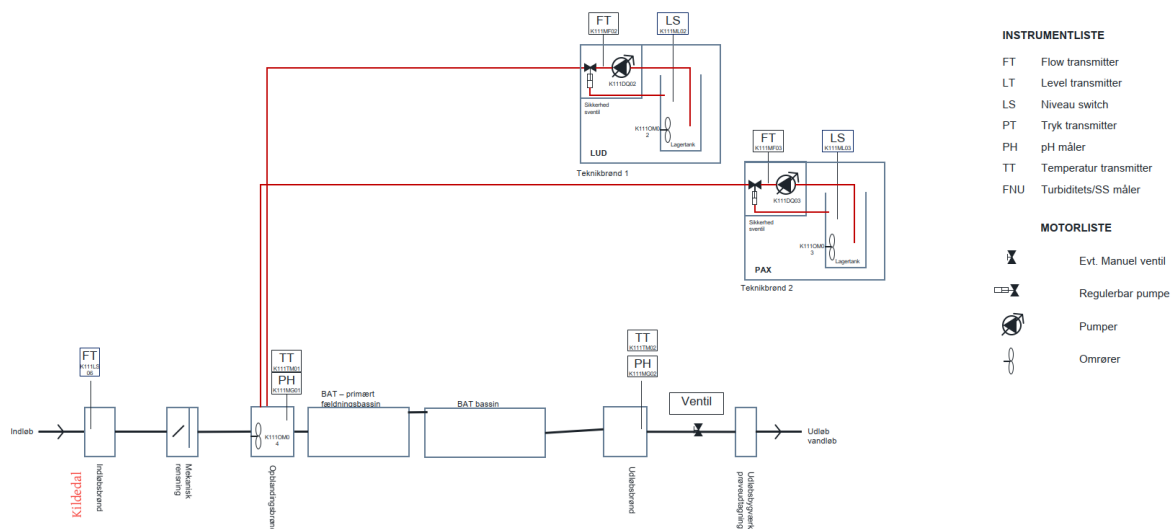
Det samlede rensekoncept er projekteret men endnu ikke afprøvet og dokumenteret på regnvand, men det vurderes på baggrund af forsøg med de testede kemikalier og doseringer og indpiskning, at det samlede anlæg vil have bedre renseeffekt, end både spildevandsrenseanlæg og de fældningsforsøg, der er beskrevet ovenfor.

Løsningens funktion og opbygning

I praksis opbygges løsningen med aluminiumfældning sådan, at fældningskemikalierne tilsættes og indpiskes i regnvandet i en brønd umiddelbart opstrøms skivefilteret eller regnvandsbassinets tilløb.

Figur 12 viser et diagram af rensesystemet. Dosering af fældningskemikaliet (syreopløst aluminium) sker flowproportionalt med udgangspunkt i flowmåling i tilløbet til tilsætningsbrønden, hvor der sker en mekanisk indpiskning. I samme punkt sker en måling af pH. Regnvandet vil under normale forhold have en alkalinitet (buffereffekt), der er tilstrækkelig til at neutralisere fældningskemikaliet. Hvis pH kommer under set-punkt 1 (omkring pH 6,5), tilsættes base svarende til, at den tilsatte syre neutraliseres. På denne måde sikres, at aluminium udfældes, når bufferkapaciteten er lav. Dette kan ske med stærkt sure fældningskemikalier efter lange perioder med regn, hvor overfladerne er skyllet rene, og regnens indhold af partikler er lav. Styringen indstilles, så al kemikalietsætning stoppes, hvis pH ikke ligger inden for et valgt interval på omkring pH 6 til 8. Ved stop sendes en alarm, så anlægget kan efterses og startes manuelt.

I afløbet fra bassinet sættes yderligere en flowmåler og en pH-måler med samme set-punkter som den i doseringsbrønden.

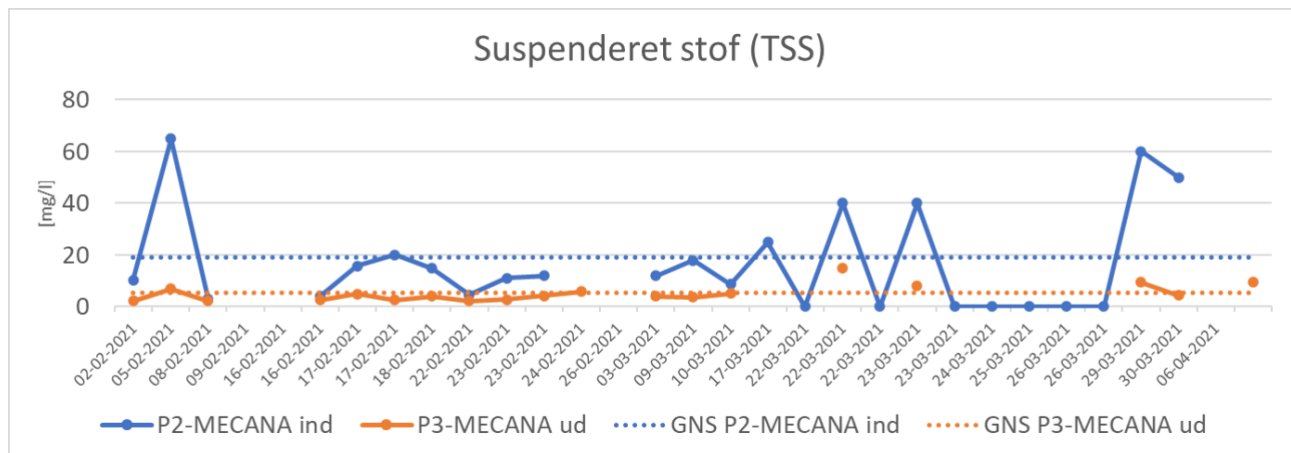


Figur 12: Diagram over styring af systemet. Se forklaring i teksten over figuren.

Rensning i skivefilter efter kemisk fældning

Skivefiltre fra f.eks. Mecana kan bruges som mekanisk rensning til fjernelse af aluminiumflokke efter insitufældning med aluminiumklorid.

Der foreligger ikke forsøg med in-situfældning og filtrering i Mecanafilter på regnvand, men et tilsvarende setup er testet som et supplerende rensetrin på renseanlæg /25/. Figur 13: Totalt suspenderet stof målt før (P2-MECANA ind) og efter (P3-MECANA ud) det testopstillede MECANA-filter i hele testperioden, inklusiv gennemsnit af hele testperioden /25/. viser, at der opnås en rensning af suspenderet stof til værdier under 5 mg/l uafhængig af indløbskoncentrationen. Hvis en tilsvarende udløbskoncentration opnås på regnvand med et indhold af SS på 90 mg/l, svarer det til en renseseffekt på 94 %.



Figur 13: Totalt suspenderet stof målt før (P2-MECANA ind) og efter (P3-MECANA ud) det testopstillede MECANA-filter i hele testperioden, inklusiv gennemsnit af hele testperioden /25/.

Den forbedrede renseseffekt skyldes, at de mindste partikler er indlejret i aluminiumflokkene. Rensningen for fosfor og metaller vil øges yderligere, idet en del af den opløste forurening vil blive bundet i flokkene.

På baggrund af ovenstående vurderes den forventede rensesgrad ved aluminiumfældning på regnvand og efterfølgende sedimentation eller filtrering at være:

- SS 90-95 %
- Total-P 90 %
- Opløst-P 97 %
- Total-N 75 %
- Bly 90 %
- Cadmium 90 %
- Kobber 95 %
- Zink 85 %
- BOD 60 %
- COD 65 %

På baggrund af /3/ og ovenstående gennemgang af kemisk rensning anslås desuden nedenstående rensesgrader. Bemærk, at regnvandsbassiner kan have højere renseseffekt end kemisk rensning på renseanlæg. Det skyldes, at spildevand har højere koncentrationer end regnvand, og at en større andel af metallerne kan være på opløst form. I

de tilfælde, hvor bassiner jf. /3/ renser bedre end kemisk rensning, benyttes tal for rensning i bassiner. I praksis forventes renseeffekten jf. kobber og zink at være bedre ved kombineret kemisk fældning og filtrering, men der er ikke data til at dokumentere dette.

- Arsen: På grund af det beskedne datamateriale angives ikke en renseeffekt i /3/. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på 90 %
- Krom: På grund af det beskedne datamateriale angives ikke en renseeffekt i /3/. På baggrund af tilgængelige data regnes med en renseeffekt på mere end 85 %
- Kviksølv: Mange analyser er under de respektive metoders detektionsgrænse. På baggrund af fysisk-kemiske parametre anslås renseeffekten til 30 %
- Nikkel: På grund af manglende data regnes med en renseeffekt på mere end 50 %, svarende til effekten af mekanisk rensning.
- Selen: Der findes ikke data for rensning for selen i renseanlæg. Der regnes med 20 % på baggrund af fysisk-kemiske data
- Vanadium: Der findes ikke data for rensning for vanadium i renseanlæg
- PAH: Mange analyser er under de respektive metoders detektionsgrænse. På grund af det beskedne datamateriale angives ikke en renseeffekt i /3/. På grund af PAH'ernes affinitet for at binde sig til partikler, sættes rensegraden til 93 %, som følge af forbedret rensning for suspenderet stof.
- Oliestoffer: Fældning med aluminium bruges i nogle sammenhænge til at fjerne olie fra forurenede vand. På baggrund af kommunikation med Kemira regnes med en rensegrad på 95% /15/
- Blødgørere og øvrige stoffer. Der findes ikke data for fjernelse af disse i ved kemisk rensning. Kombinationen af kemisk rensning og filtrering har ikke tid til nedbrydning af stofferne. Det betyder, at fjernelse sker alene i det omfang, at stofferne er bundet til partikler, der til gengæld fjernes med større effektivitet. På baggrund af dette fastholdes en rensegrad på 80 %, svarende til fjernelsen i regnvandsbassiner.
- Pesticider: Renseeffekt er angivet på baggrund af fysisk-kemiske parametre
- PFAS-stofferne: Renseeffekt er angivet til 70 % på baggrund af fysisk-kemiske parametre.

Rensegrader ved in-situ fældning i kombination med vådt regnvandsbassin

Ved sedimentation i våde regnvandsbassiner efter kemisk fældning forventes rensegrader, der er sammenlignelige med ovenstående værdier for kemisk fældning i kombination med skivefilter, da små partikler vil være indlejret i aluminiumflokkene og flokkene sedimenterer hurtigere end de små partikler i regnvand.

KOMBINEREDE LØSNINGER - TREATMENT-TRAINS

Kombinerede renseløsninger dækker over løsninger med flere rensetrin, hvor flere løsninger etableres i serie. Kombinerede renseløsninger kan etableres, hvis myndighedskrav eller vandkvalitet skaber behov for at forbedre rensningen. Renseløsninger kan også kombineres for at reducere eller for at mindske driftsudgifter. Eksempler på kombinerede renseløsninger kunne f.eks. være:

- Sandfangsbrønde eller sandfangsbassin før våde eller tørre regnvandsbassiner
- Filterstriber, grøfter eller swales før våde eller tørre regnvandsbassiner
- Sandfangsbrønde, filterstriber, grøfter eller swales før biofiltre
- Filterstriber, grøfter, swales eller regnvandsbassiner før sorptionsfiltre

Ved kombination af flere renseløsninger kan ikke forudsætte, at anden og eventuelt tredje rensetrin har samme rensesgrad, som hvis løsninger etableres alene. For rensning for suspenderet stof skyldes det, at første rensetrin fanger de store partikler, og at tilløbet til de efterfølgende rensetrin derfor primært indeholder små partikler, der er sværere at fjerne.

Ved kombination af mekaniske renseløsninger og rensning, der baserer på sorption af opløste stoffer, er forholdene anderledes, da den mekaniske renseløsning ikke fjerner opløste stoffer, mens sorptionsløsninger som biofiltre og sorptionsfiltre både har en filtereffekt, der tilbageholder partikler, og en sorption af dele af den opløste forurening.

I Stormtac kan løsninger kobles. Programmet tager også højde for lavere indløbskoncentrationer i sekundære rensetrin. På baggrund af /27/ beregnes den samlede renseseffekt for renseløsninger i serie i Stormtac med udgangspunkt i følgende ligning:

$$RE = RE1 + RE2 - (RE1 * RE2 * 0.01)$$

Hvor:

- RE er den samlede renseseffekt (%) for to faciliteter i serie.
- RE1 er renseseffekten for den første facilitet i serien.
- RE2 er renseseffekten for den anden facilitet i serien.

Ved kombination af tre renseløsninger udregnes renseseffekten af de to første renseløsninger, og denne værdi indsættes i ovenstående som RE1.

I StormTac tages der også højde for, at det reducerede koncentrationsniveau af forurening fra den første renseløsning, mindsker effekten af den efterfølgende renseløsning med stofspecifikke faktorer, der er afledt af empiriske forhold mellem indløbskoncentration og behandlingseffekt.

LØSNINGERNES RENSEFFEKT I FORHOLD TIL MKK

WSP har i /29/ karakteriseret separatloakeret regnvand fra fem typeoplande. Disse findes i nedenstående tabeller 23-27 sammen med en beregning af de resulterende koncentrationer efter rensning af vandet med BAT (vådt bassin), ved aluminiumfældning efterfulgt af BAT og ved BAT efterfulgt af et sorptionsfilter. Beregningerne er gennemført på baggrund af de rensesgrader, der er refereret i de tidligere kapitler i dette projekt. Koncentrationerne i det rensede vand er sammenlignet med de generelle og de maksimale miljøkvalitetskriterier for både ferske og marine recipienter.

Da der er findes ikke tilgængelige data for rensegrader for alle de stoffer, der indgår i listerne for de fem oplandstyper, er rensegrader for disse er anslået ud fra stoffernes kemiske og fysiske egenskaber.

Tabel 23: Typetal for oplandskategorien Tæt By på baggrund af /29/ sammen med anslåede rensegrader og resulterende koncentrationer efter rensning. Stoffer markeret med rødt overskrider både det generelle- og maksimumskrav. Stoffer markeret med gult overskrider det generelle miljøkvalitetskrav.

Parametre				Rensegrader [%]			Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for ferskvand				Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for marint vand			
Type	Navn	CAS nr.	Type-tal [µg/l]	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin
Andet	Barium (Ba)	7440-39-3	36	75	95	85	36.00	10.35	3.51	6.93	36.00	10.35	3.51	6.93
Andet	Diethylhexylphthalat (DEHP)	117-81-7	10	80	80	95	10.00	2.40	2.40	0.98	10.00	2.40	2.40	0.98
Blødgører	Octylphenoler (4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)-phenol)	140-66-9	0.30	75	75	85	0.30	0.09	0.09	0.06	0.30	0.09	0.09	0.06
Klor forb.	1,2-dichlorethan	107-06-2	36	10	10	30	36.00	32.58	32.58	25.74	36.00	32.58	32.58	25.74
Metal	Arsen	7440-38-2	2.4	90	90	90	2.40	0.35	0.35	0.35	2.40	0.35	0.35	0.35
Metal	Bly	7439-92-1	26	70	90	70	26.00	8.71	3.77	8.71	26.00	8.71	3.77	8.71
Metal	Cadmium	7440-43-9	1	50	90	90	1.00	0.53	0.15	0.15	1.00	0.53	0.15	0.15
Metal	Kobber	7440-50-8	19.7	75	90	92	19.70	5.66	2.86	2.48	19.70	5.66	2.86	2.48
Metal	Krom	7440-47-3	5	85	85	87	5.00	0.96	0.96	0.87	5.00	0.96	0.96	0.87
Metal	Kviksølv	7439-97-6	0.05	30	30	30	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
Metal	Nikkel	7440-02-0	8.5	50	50	50	8.50	4.46	4.46	4.46	8.50	4.46	4.46	4.46
Metal	Selen	7782-49-2	7.86	10	20	20	7.86	7.11	6.36	6.36	7.86	7.11	6.36	6.36
Metal	Sølv	7440-22-4	0.57	60	80	70	0.57	0.25	0.14	0.19	0.57	0.25	0.14	0.19
Metal	Zink	7440-66-6	435	75	85	98	435.00	125.06	83.74	30.02	435.00	125.06	83.74	30.02
PAH	Benzo(b)fluoranthen	205-99-2	0.05	80	93	95	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045
PAH	Benzo(a)anthracen	56-55-3	0.04	80	93	95	0.0400	0.0096	0.0047	0.0039	0.0400	0.0096	0.0047	0.0039
PAH	Benzo(a)pyren	50-32-8	0.05	80	93	95	0.0528	0.0127	0.0062	0.0051	0.0528	0.0127	0.0062	0.0051
PAH	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	0.16	80	93	95	0.1630	0.0391	0.0190	0.0159	0.1630	0.0391	0.0190	0.0159
PAH	Chrysen/ Triphenylen	218-01-9	0.37	80	93	95	0.3700	0.0888	0.0431	0.0361	0.3700	0.0888	0.0431	0.0361
PAH	Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	0.05	80	93	95	0.0500	0.0120	0.0058	0.0049	0.0500	0.0120	0.0058	0.0049
PAH	Fluoranthen	206-44-0	0.08	80	93	95	0.0796	0.0191	0.0093	0.0078	0.0796	0.0191	0.0093	0.0078
PAH	Pyren	129-00-0	0.06	80	93	95	0.0638	0.0153	0.0074	0.0062	0.0638	0.0153	0.0074	0.0062
Pesticid	Hexachlorcyclohexan	608-73-1	0.04	60	60	60	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172
Pesticid	Endosulfan	115-29-7	0.02	50	60	50	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105
Pesticid	Pentachlorphenol	87-86-5	0.63	50	50	50	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308
PFAS	PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	1763-23-1	0.02	50	70	70	0.0240	0.0126	0.0080	0.0080	0.0240	0.0126	0.0080	0.0080

Tabel 24: Typetal for oplandskategorien Åben By på baggrund af /29/ sammen med anslåede rensegrader og resulterende koncentrationer efter rensning. Stoffer markeret med rødt overskrider både det generelle- og maksimumskrav. Stoffer markeret med gult overskrider det generelle miljøkvalitetskrav.

Parametre				Rensegrader [%]			Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for ferskvand				Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for marint vand			
Type	Navn	CAS nr.	Anvendt typetal (µg/l)	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin
Andet	Barium (Ba)	7440-39-3	36	75	95	85	36.00	10.35	3.51	6.93	36.00	10.35	3.51	6.93
Andet	Bisphenol A	80-05-7	0.12	80	80	95	0.18	0.04	0.04	0.02	0.18	0.04	0.04	0.02
Andet	Diethylhexylphthalat (DEHP)	117-81-7	3.4	80	80	95	3.40	0.82	0.82	0.33	3.40	0.82	0.82	0.33
Andet	Selen	7782-49-2	10.1	10	20	20	10.07	9.11	8.16	8.16	10.07	9.11	8.16	8.16
Blødgører	Di-(2-ethylhexyl) adipat(DEHA)	103-23-1	0.11	80	80	95	0.11	0.03	0.03	0.01	0.11	0.03	0.03	0.01
Blødgører	Octylphenoler (4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)-phenol)	140-66-9	0.3	75	75	85	0.30	0.09	0.09	0.06	0.30	0.09	0.09	0.06
Klor forb.	1,2-dichlorethan	107-06-2	36	10	10	30	36.00	32.58	32.58	25.74	36.00	32.58	32.58	25.74
Metal	Arsen	7440-38-2	2.15	90	90	90	2.15	0.31	0.31	0.31	2.15	0.31	0.31	0.31
Metal	Bly	7439-92-1	7.3	70	90	70	7.30	2.45	1.06	2.45	7.30	2.45	1.06	2.45
Metal	Cadmium	7440-43-9	0.285	50	90	90	0.29	0.15	0.04	0.04	0.29	0.15	0.04	0.04
Metal	Kobber	7440-50-8	14	75	90	92	14.01	4.03	2.03	1.77	14.01	4.03	2.03	1.77
Metal	Kobolt	7440-48-4	0.4	50	80	80	0.40	0.21	0.10	0.10	0.40	0.21	0.10	0.10
Metal	Krom	7440-47-3	5.8	85	85	87	5.80	1.12	1.12	1.01	5.80	1.12	1.12	1.01
Metal	Mangan (Mn)	7439-96-5	190	75	90	90	190.00	54.63	27.55	27.55	190.00	54.63	27.55	27.55
Metal	Nikkel	7440-02-0	5	50	50	50	5.00	2.63	2.63	2.63	5.00	2.63	2.63	2.63
Metal	Sølv	7440-22-4	0.6	60	80	70	0.60	0.26	0.14	0.20	0.60	0.26	0.14	0.20
Metal	Tin (Sn)	7440-31-5	1.1	70	80	80	1.10	0.37	0.26	0.26	1.10	0.37	0.26	0.26
Metal	Uran	7440-61-1	0.07	70	70	70	0.07	0.02	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.02
Metal	Zink	7440-66-6	117.7	75	85	98	117.65	33.82	22.65	8.12	117.65	33.82	22.65	8.12
PAH	Benz(b)fluoranthren	205-99-2	0.046	80	93	95	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045
PAH	Benz(k)fluoranthren	207-08-9	0.026	80	93	95	0.0260	0.0062	0.0030	0.0025	0.0260	0.0062	0.0030	0.0025
PAH	Benzo(a)anthracen	56-55-3	0.012	80	93	95	0.0120	0.0029	0.0014	0.0012	0.0120	0.0029	0.0014	0.0012
PAH	Benzo(a)pyren	50-32-8	0.039	80	93	95	0.0390	0.0094	0.0045	0.0038	0.0390	0.0094	0.0045	0.0038
PAH	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	0.027	80	93	95	0.0270	0.0065	0.0031	0.0026	0.0270	0.0065	0.0031	0.0026
PAH	Benzylbutylphthalat (BBP)	85-68-7	2.5	80	93	95	2.5170	0.6041	0.2932	0.2454	2.5170	0.6041	0.2932	0.2454
PAH	Chrysen/ Triphenylen	218-01-9	0.046	80	93	95	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045	0.0460	0.0110	0.0054	0.0045
PAH	Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	0.012	80	93	95	0.0120	0.0029	0.0014	0.0012	0.0120	0.0029	0.0014	0.0012
PAH	Fluoranthren	206-44-0	0.018	80	93	95	0.0180	0.0043	0.0021	0.0018	0.0180	0.0043	0.0021	0.0018
PAH	Pyren	129-00-0	0.048	80	93	95	0.0480	0.0115	0.0056	0.0047	0.0480	0.0115	0.0056	0.0047
Pesticid	Endosulfan	115-29-7	0.02	50	60	50	0.020	0.011	0.009	0.011	0.020	0.011	0.009	0.011
Pesticid	Glyphosat	1071-83-6	0.81	0	0	0	0.807	0.807	0.807	0.807	0.807	0.807	0.807	0.807
Pesticid	Hexachlorcyclohexan	608-73-1	0.04	60	60	60	0.040	0.017	0.017	0.017	0.040	0.017	0.017	0.017
Pesticid	Pentachlorbenzen	608-93-5	0.007	80	80	80	0.007	0.002	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.002
Pesticid	Terbutryn	886-50-0	52	50	50	50	52.000	27.300	27.300	27.300	52.000	27.300	27.300	27.300
PFAS	PFOS	1763-23-1	0.012	50	70	70	0.012	0.006	0.004	0.004	0.012	0.006	0.004	0.004

Tabel 25: Typetal for oplandskategorien Ny Åben By på baggrund af /29/ sammen med anslåede rensegrader og resulterende koncentrationer efter rensning. Stoffer markeret med rødt overskrider både det generelle- og maksimumskrav. Stoffer markeret med gult overskrider det generelle miljøkvalitetskrav.

Parametre				Rensegrader [%]			Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for ferskvand				Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for marint vand			
Type	Navn	CAS nr.	Anvendt typetal (µg/l)	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin
Metal	Arsen	7440-38-2	2.00	90	90	90	2.00	0.29	0.29	0.29	2.00	0.29	0.29	0.29
Metal	Bly	7439-92-1	3.02	70	90	70	3.02	1.01	0.44	1.01	3.02	1.01	0.44	1.01
Metal	Cadmium	7440-43-9	0.23	50	90	90	0.23	0.12	0.03	0.03	0.23	0.12	0.03	0.03
Metal	Kobber	7440-50-8	8.21	75	90	92	8.21	2.36	1.19	1.03	8.21	2.36	1.19	1.03
Metal	Krom	7440-47-3	8.23	85	85	87	8.23	1.58	1.58	1.43	8.23	1.58	1.58	1.43
Metal	Nikkel	7440-02-0	4.31	50	50	50	4.31	2.26	2.26	2.26	4.31	2.26	2.26	2.26
Metal	Zink	7440-66-6	23.9	75	85	98	23.90	6.87	4.60	1.65	23.90	6.87	4.60	1.65
PAH	Benz(b)fluoranthren	205-99-2	0.06	80	93	95	0.0589	0.0141	0.0069	0.0057	0.0589	0.0141	0.0069	0.0057
PAH	Benz(k)fluoranthren	207-08-9	0.04	80	93	95	0.0374	0.0090	0.0044	0.0036	0.0374	0.0090	0.0044	0.0036
PAH	Benzo(a)anthracen	56-55-3	0.03	80	93	95	0.0335	0.0080	0.0039	0.0033	0.0335	0.0080	0.0039	0.0033
PAH	Benzo(a)pyren	50-32-8	0.02	80	93	95	0.0241	0.0058	0.0028	0.0024	0.0241	0.0058	0.0028	0.0024
PAH	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	0.03	80	93	95	0.0263	0.0063	0.0031	0.0026	0.0263	0.0063	0.0031	0.0026
PAH	Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	0.01	80	93	95	0.0100	0.0024	0.0012	0.0010	0.0100	0.0024	0.0012	0.0010
PAH	Fluoranthren	206-44-0	0.07	80	93	95	0.0700	0.0168	0.0081	0.0068	0.0700	0.0168	0.0081	0.0068
PAH	Pyren	129-00-0	0.08	80	93	95	0.0832	0.0200	0.0097	0.0081	0.0832	0.0200	0.0097	0.0081

Tabel 26: Typetal for oplandskategorien Store Veje på baggrund af /29/ sammen med anslåede rensegrader og resulterende koncentrationer efter rensning. Stoffer markeret med rødt overskrider både det generelle- og maksimumskrav. Stoffer markeret med gult overskrider det generelle miljøkvalitetskrav.

Parametre				Rensegrader [%]			Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for ferskvand				Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for marint vand			
Type	Navn	CAS nr.	Anvendt typetal (µg/l)	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin
Andet	Barium (Ba)	7440-39-3	36.00	75	95	85	36.00	10.35	3.51	6.93	36.00	10.35	3.51	6.93
Andet	Bisphenol A	80-05-7	1.58444	80	80	95	1.58	0.38	0.38	0.15	1.58	0.38	0.38	0.15
Andet	Diethylhexylphthalat (DEHP)	117-81-7	2.60	80	80	95	2.60	0.62	0.62	0.25	2.60	0.62	0.62	0.25
Andet	Selen	7782-49-2	5.00	10	20	20	5.00	4.53	4.05	4.05	5.00	4.53	4.05	4.05
Andet	Tributyltin (TBT-Sn)	688-73-3	0.00	80	80	80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Klor forb.	1,2-dichlorethan	107-06-2	36.00	10	10	30	36.00	32.58	32.58	25.74	36.00	32.58	32.58	25.74
Blødgør	Di-n-butylphthalat (DBP)	84-74-2	0.61839	80	80	95	0.62	0.15	0.15	0.06	0.62	0.15	0.15	0.06
Blødgør	Octylphenoler (4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)-phenol)	140-66-9	0.30	75	75	85	0.30	0.09	0.09	0.06	0.30	0.09	0.09	0.06
Metal	Arsen	7440-38-2	3.9	90	90	90	3.90	0.57	0.57	0.57	3.90	0.57	0.57	0.57
Metal	Bly	7439-92-1	25.333	70	90	70	25.33	8.49	3.67	8.49	25.33	8.49	3.67	8.49
Metal	Cadmium	7440-43-9	0.49	50	90	90	0.49	0.26	0.07	0.07	0.49	0.26	0.07	0.07
Metal	Kobber	7440-50-8	79.667	75	90	92	79.67	22.90	11.55	10.04	79.67	22.90	11.55	10.04
Metal	Kobolt	7440-48-4	6	50	80	80	6.00	3.15	1.44	1.44	6.00	3.15	1.44	1.44
Metal	Krom	7440-47-3	21.75	85	85	87	21.75	4.19	4.19	3.77	21.75	4.19	4.19	3.77
Metal	Kviksølv	7439-97-6	0.10	30	30	30	0.10	0.07	0.07	0.07	0.10	0.07	0.07	0.07
Metal	Mangan	7439-96-5	180.00	75	90	90	180.00	51.75	26.10	26.10	180.00	51.75	26.10	26.10
Metal	Nikkel	7440-02-0	12.375	50	50	50	12.38	6.50	6.50	6.50	12.38	6.50	6.50	6.50
Metal	Sølv	7440-22-4	0.5	60	80	70	0.50	0.22	0.12	0.17	0.50	0.22	0.12	0.17
Metal	Zink	7440-66-6	327.5	75	85	98	327.50	94.16	63.04	22.60	327.50	94.16	63.04	22.60
PAH	Benz(b)fluoranthren	205-99-2	0.28	80	93	95	0.2830	0.0679	0.0330	0.0276	0.2830	0.0679	0.0330	0.0276
PAH	Benz(k)fluoranthren	207-08-9	0.18	80	93	95	0.1840	0.0442	0.0214	0.0179	0.1840	0.0442	0.0214	0.0179
PAH	Benzo(a)anthracen	56-55-3	0.109	80	93	95	0.1090	0.0262	0.0127	0.0106	0.1090	0.0262	0.0127	0.0106
PAH	Benzo(a)pyren	50-32-8	0.117	80	93	95	0.1170	0.0281	0.0136	0.0114	0.1170	0.0281	0.0136	0.0114
PAH	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	0.13	80	93	95	0.1300	0.0312	0.0151	0.0127	0.1300	0.0312	0.0151	0.0127
PAH	Chrysen/ Triphenylen	218-01-9	0.18	80	93	95	0.1800	0.0432	0.0210	0.0176	0.1800	0.0432	0.0210	0.0176
PAH	Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	0.03	80	93	95	0.0280	0.0067	0.0033	0.0027	0.0280	0.0067	0.0033	0.0027
PAH	Fluoranthren	206-44-0	0.369	80	93	95	0.3690	0.0886	0.0430	0.0360	0.3690	0.0886	0.0430	0.0360
PAH	Pyren	129-00-0	0.411	80	93	95	0.4110	0.0986	0.0479	0.0401	0.4110	0.0986	0.0479	0.0401
Pesticid	Atrazin	1912-24-9	0.71	30	30	30	0.7100	0.5077	0.5077	0.5077	0.7100	0.5077	0.5077	0.5077
Pesticid	Endosulfan	115-29-7	0.02	50	60	50	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105
Pesticid	Hexachlorcyclohexan	608-73-1	0.04	60	60	60	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172
Pesticid	Pentachlorbenzen	608-93-5	0.01	80	80	80	0.0070	0.0017	0.0017	0.0017	0.0070	0.0017	0.0017	0.0017
Pesticid	Pentachlorphenol	87-86-5	0.63	50	50	50	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308
Pesticid	Terbutryn	886-50-0	52.00	50	50	50	52.0000	27.3000	27.3000	27.3000	52.0000	27.3000	27.3000	27.3000
PFAS	PFOS	1763-23-1	0.01	50	70	70	0.0130	0.0068	0.0044	0.0044	0.0130	0.0068	0.0044	0.0044

Tabel 27: Typetal for oplandskategorien Industri på baggrund af /29/ sammen med anslåede rensegrader og resulterende koncentrationer efter rensning. Stoffer markeret med rødt overskrider både det generelle- og maksimumskrav. Stoffer markeret med gult overskrider det generelle miljøkvalitetskrav.

Parametre				Rensegrader [%]			Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for ferskvand				Udledning fra renseløsning [µg/l], sammenlignet med MKK for marint vand			
Type	Navn	CAS nr.	Anvendt typetal (µg/l)	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin	Ingen rensning	Vådt bassin	Kemisk fældning + Vådt bassin	Sorptions filter + Vådt bassin
Andet	Barium (Ba)	7440-39-3	10.00	75	95	85	10.00	2.88	0.98	1.93	10.00	2.88	0.98	1.93
Andet	Bisphenol A	80-05-7	0.16	80	80	95	0.16	0.04	0.04	0.02	0.16	0.04	0.04	0.02
Andet	Diethylhexylphthalat (DEHP)	117-81-7	12.075	80	80	95	12.08	2.90	2.90	1.18	12.08	2.90	2.90	1.18
Andet	Selen	7782-49-2	12.93	10	20	20	12.93	11.70	10.47	10.47	12.93	11.70	10.47	10.47
Blødgører	Di-(2-ethylhexyl) adipat (DEHA)	103-23-1	0.10	80	80	95	0.10	0.02	0.02	0.01	0.10	0.02	0.02	0.01
Blødgører	Octylphenoler (4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)-phenol)	140-66-9	0.30	75	75	85	0.30	0.09	0.09	0.06	0.30	0.09	0.09	0.06
Klor forb.	1,2-dichlorethan	107-06-2	36.00	10	10	30	36.00	32.58	32.58	25.74	36.00	32.58	32.58	25.74
Metal	Arsen	7440-38-2	4.00	90	90	90	4.00	0.58	0.58	0.58	4.00	0.58	0.58	0.58
Metal	Bly	7439-92-1	13.152	70	90	70	13.15	4.41	1.91	4.41	13.15	4.41	1.91	4.41
Metal	Cadmium	7440-43-9	1.50	50	90	90	1.50	0.79	0.22	0.22	1.50	0.79	0.22	0.22
Metal	Kobber	7440-50-8	42.43	75	90	92	42.43	12.20	6.15	5.35	42.43	12.20	6.15	5.35
Metal	Krom	7440-47-3	14.00	85	85	87	14.00	2.70	2.70	2.43	14.00	2.70	2.70	2.43
Metal	Kviksølv	7439-97-6	0.07	30	30	30	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05
Metal	Nikkel	7440-02-0	16.00	50	50	50	16.00	8.40	8.40	8.40	16.00	8.40	8.40	8.40
Metal	Sølv	7440-22-4	0.53	60	80	70	0.53	0.23	0.13	0.18	0.53	0.23	0.13	0.18
Metal	Zink	7440-66-6	240.00	75	85	98	240.00	69.00	46.20	16.56	240.00	69.00	46.20	16.56
PAH	Benz(b)fluoranthren	205-99-2	0.44	80	93	95	0.44	0.11	0.05	0.04	0.44	0.11	0.05	0.04
PAH	Benz(k)fluoranthren	207-08-9	0.13	80	93	95	0.1250	0.0300	0.0146	0.0122	0.1250	0.0300	0.0146	0.0122
PAH	Benzo(a)anthracen	56-55-3	0.10	80	93	95	0.1000	0.0240	0.0117	0.0098	0.1000	0.0240	0.0117	0.0098
PAH	Benzo(a)pyren	50-32-8	0.10	80	93	95	0.1030	0.0247	0.0120	0.0100	0.1030	0.0247	0.0120	0.0100
PAH	Benzo(g,h,i)perylene	191-24-2	0.17	80	93	95	0.1738	0.0417	0.0202	0.0169	0.1738	0.0417	0.0202	0.0169
PAH	Benzylbutylphthalat (BBP)	85-68-7	29.05	80	93	95	29.0500	6.9720	3.3843	2.8324	29.0500	6.9720	3.3843	2.8324
PAH	Chrysen/ Triphenylen	218-01-9	0.48	80	93	95	0.4800	0.1152	0.0559	0.0468	0.4800	0.1152	0.0559	0.0468
PAH	Dibenzo(a,h)anthracen	53-70-3	0.05	80	93	95	0.0500	0.0120	0.0058	0.0049	0.0500	0.0120	0.0058	0.0049
PAH	Fluoranthren	206-44-0	0.13	80	93	95	0.1250	0.0300	0.0146	0.0122	0.1250	0.0300	0.0146	0.0122
PAH	Pyren	129-00-0	0.51	80	93	95	0.5075	0.1218	0.0591	0.0495	0.5075	0.1218	0.0591	0.0495
Pesticid	Atrazin	1912-24-9	0.71	30	30	30	0.7100	0.5077	0.5077	0.5077	0.7100	0.5077	0.5077	0.5077
Pesticid	Endosulfan	115-29-7	0.02	50	60	50	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105	0.0200	0.0105	0.0086	0.0105
Pesticid	Hexachlorcyclohexan	608-73-1	0.04	60	60	60	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172	0.0400	0.0172	0.0172	0.0172
Pesticid	Pentachlorphenol	87-86-5	0.63	50	50	50	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308	0.6300	0.3308	0.3308	0.3308
PFAS	PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	1763-23-1	0.06	50	70	70	0.0550	0.0289	0.0184	0.0184	0.0550	0.0289	0.0184	0.0184

BÆREDYGTIGHED OG RENSNING AF REGNVAND

Der er et bredt fokus på bæredygtighed i kommunernes og forsyningernes arbejde med regnvandshåndtering, og rensning er kun en af de parametre, der indgår i dette. I det følgende findes en kort gennemgang af de aspekter af bæredygtighed, der typisk indgår i regnvandshåndtering.

Grønne løsninger, biodiversitet og byrum

Håndtering af regnvand i grønne løsninger omfatter lokal magasinering eller forsinkelse i regnbede, vejbede, trug og grøfter, transport af regnvand i grøfter, magasinering af regnvand fra større oplande i regnvandsbassiner med eller uden permanent vådt renselumen og nedsivning af regnvand fra større oplande i nedsivningsbassiner.

Lokale løsninger i byerne og på vejene kan bidrage lokalt med biodiversitet og som små grønne områder, der samtidig kan tjene som hastighedsdæmpende foranstaltninger på grønne veje. Flere kommuner og forsyninger har udarbejdet egne retningslinjer for denne type løsninger.

Regnvandsbassiner med vådt renselumen er mange steder indpasset som bysøer i små parker og grønne områder og tjener der som rekreative elementer, vandhuller med eget naturindhold og som åbne vandflader i et ellers tørt bylandskab. Rørcenteranvisning 025 om regnvandsbassiner med natur og aktivitet /28/ anviser, hvordan man kan arbejde systematisk med at styrke disse kvaliteter i planlægning og design af regnvandsbassiner.

Ændring af lokale vandkredsløb

Ved byudvikling af grønne arealer sker en ændring af de lokale vandkredsløb. Hvis vandet fra de befæstede arealer opsamles og afledes til recipient, reduceres grundvandsdannelsen lokalt, samtidig med, at den hydrauliske belastning af recipienten øges, og dette skal håndteres. Hvis vand fra befæstede arealer nedsives lokalt, vil det derimod føre til øget grundvandsdannelse. I begge situationer vil der i projektet indgå en vurdering af projektets konsekvenser.

Ved separatkloakering af eksisterende fælleskloakeret by skal der skabes afløb for det opsamlede regnvand. Ud over at det kræver en vurdering af renselbehov, vil der ved udledning til hydraulisk følsomme recipienter være behov for at forsinke det afledte vand.

Forsyningernes ressourceforbrug og CO₂-aftryk fra anlæg og drift

Anlægsarbejdet ved etablering af separate regnvandssystemer og renseløsninger medfører til et stort ressourceforbrug og til udledning af store mængder CO₂. Modsat byggebranchen er anlægsbranchen ikke underlagt krav om at opføre og reducere klimaaftrykket fra deres anlægsaktiviteter.

De få opgørelser, der findes i forsyningsbranchen viser, at langt størstedelen af branchens klimaaftryk stammer fra anlægsaktiviteter, og med skærpede renselkrav vil klimaaftrykket fra både anlæg og drift øges.

Kildekontrol

En del af forureningen af separatkloakeret regnvand stammer fra atmosfærisk deposition, men der findes også en vis sammenhæng mellem aktiviteterne i det opland, der bidrager med regnvand og regnvandets kvalitet. Dette afspejler sig bl.a. i koncentrationerne af forurenende stoffer i de fem typeoplande, der er defineret i MILJØFARLIGE STOFFER I AFSTRØMMET REGNVAND /29/, og det betyder, at der kan være et perspektiv i at fjerne forureningen så tæt som muligt på kilden.

Gadefejning og kildesporing

WSP har i samarbejde med Albertslund Kommune gennemført nogle indledende vurderinger af disse muligheder i et separatkloakeret industriopland, der afvander til recipient via et vådt regnvandsbassin. Arbejdet førte til følgende konklusioner:

- **Gadefejning** kan fjerne en del af det suspendede stof, før det når regnvandskloakken. Hvis gadefejning skal have væsentlig effekt, skal det ske med korte mellemrum og times, så det sker inden det regner. På baggrund af en overslagsberegning blev det vist, at omkostningerne til øget gadefejning langt overstiger omkostningerne ved at fjerne det samme stof, når det er sedimenteret i regnvandsbassinet.
- Tømning af vejbrønde og olieudskillere
- **Kildesporing i regnvandssystemer og afskæring af særligt belastende oplande og aktiviteter** viste et stort potentiale for at reducere belastningen af regnvandssystemet. I praksis håndteres det ved, at regnvand fra påfyldningspladser, skrotpladser mm ikke tilsluttes regnvandskloakken. I et industriområde blev der ved en besigtigelse set mange eksempler på, at regnvandskloakken blev brugt til at aflede både proces- og vaskevand. Information om regnvandssystemet til grundejerne viste sig at have stort potentiale for at reducere belastningen af regnvandskloakken, da mange grundejere ikke vidste, at vand fra deres pladser ender i naturen.

Udfasning af forurenende materialer

Størstedelen af den forurening, der findes i separatkloakeret regnvand, stammer fra aktiviteter i oplandet. Det betyder, at udfasning af forurenende stoffer og materialer vil være en effektiv tilgang til at forbedre kvaliteten af det afstrømmede vand.

Et godt eksempel på dette er udfasningen af bly i benzin direkte afspejler sig i koncentrationen af bly i det sediment, der opbygges i regnvandsbassiner. Et andet eksempel, hvor der ikke er sket substitution, er zink i tagrender og nedløbsrør, der forurener ellers relativt rent tagvand til niveauer, der langt overstiger de koncentrationer, der findes i vejvand. WSP har i et projekt for Københavns Kommune /31/ (Tabel 28) sammenlignet forskellige rensemetoder, der kan kobles på et tagnedløb for at rense vandet for zink med udskiftning af tagrender og nedløbsrør. Af tabellen ses, at udskiftning af nedløbssystemerne er både mest effektivt og billigst. Løsningen har den udfordring, at hverken Kommunen eller Forsyningen har mulighed for at finansiere den.

Andre eksempler på at fjerne forurening ved kilden kunne være:

- Udfasning af miljøskadelige stoffer i bildæk

- Forbud mod brændeovne
- Udfasning af biocider i byggematerialer og maling

Tabel 28: Sammenstilling af løsninger til reduktion af zinkforurening fra et tagnedløb med tagrender og nedløbsrør af zink.

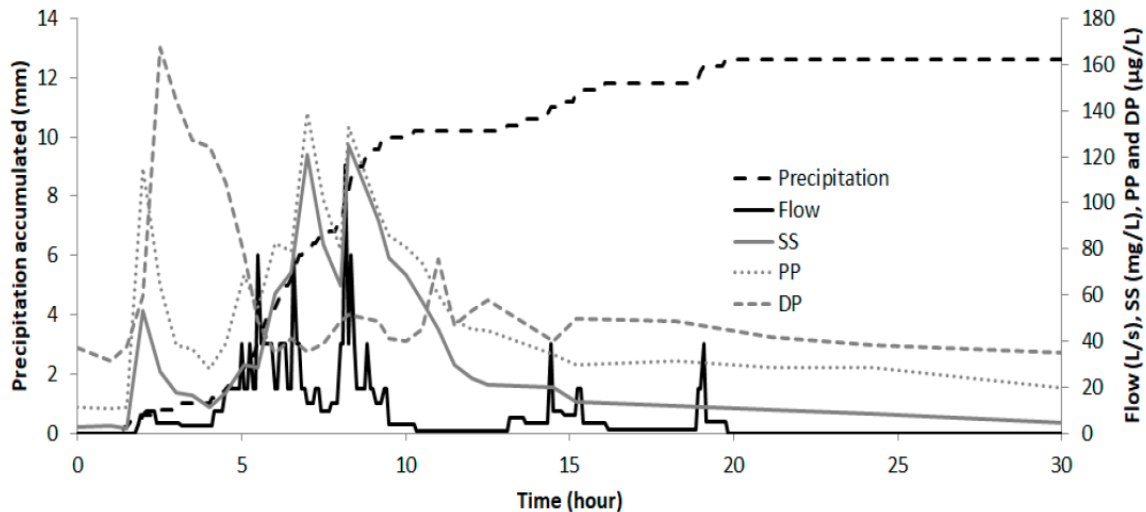
Teknik	Effektivitet for Zn	Zn-koncentration i rensset vand (ug/l)	Arealkrav pr. 100 m ² tagflade	Ca. anlægspris pr. nedløb (100 m ²)	Drift
Permeable belægninger	40-80%	600-1.800	15-50 m ²	50.000	Årlig rensning
Regnbed	90-99%	30-300	5 m ²	40.000	Udskiftning af overjord hvert 30.-50. år
Rockflow filter*	50-90%	300-1.500	Nedgravet under 5 m ² overflade	30.000	Udskiftning af filter. Levetid 30-50 år
Kompakte adsorptionsfiltre	90-99%	30-300	Nedgravet i brønd, ca. 1 m ² overflade	40-50.000	Årlig rensning (SS fjernelse)
Udskiftning af tagrender/rør	90-99%	30-300	Ingen	25.000	Ingen

First-flush og rensning af delstrømme af det afledte vand

First-flush dækker over den første del af afstrømningen fra en nedbørshændelse, og der er i litteraturen almindelig enighed om, at indholdet af forurenende stoffer er højere i denne del af afstrømningen end senere i nedbørshændelsen.

Dette illustreres i Figur 14 /30/ viser nedbøren i mm mod afstrømningen og koncentrationerne af suspenderet stof (SS), partikelbundet fosfor (PP) og opløst fosfor (DP) hen over en nedbørshændelse. Af figuren ses, at særligt

koncentrationen af partikelbundne forurening reduceres hen mod slutningen af hændelsen. Men ser man på samlet afledt stofmængde gennem hændelsen, er det dog kun en meget begrænset del af forureningsmængden, der fjernes ved first-flush.



Figur 14: Sammenhæng mellem nedbør, resulterende flow og stofkoncentrationer i afledt regnvand /30/.

I praksis er det svært at first-flush i håndtering af separatkloakeret regnvand, da regnen falder over store oplande, så first flush fra de fjerne dele af oplandet er længe under vejs og derfor blandes med vand, der er faldet senere i nedbørshændelsen i den nedstrøms del af oplandet.

Et alternativ til at håndtere first-flush er at rense en fast volumenstrøm af regnen. Således at renseløsningen har en begrænset kapacitet svarende til f.eks. 15 l/s ha red. Det er dette princip, der udnyttes i separatorer og udskillere som det er beskrevet i et tidligere kapitel. Med denne tilgang kan renseløsninger med begrænset hydraulisk kapacitet rense en stor andel af årsnedbøren som illustreret i Tabel 6. Udfordringen ved denne type løsning er, at en del af årsafstrømningen ikke vil blive renses, og det betyder, at selv hvis rensningen er effektiv, vil systemets samlede rensegrad forringes.

ØKONOMI VED RENSNING AF REGNVAND

Til brug for vurdering af omkostningerne ved anlæg og drift af renseløsninger regnes i det følgende eksempel på et opland på 12 ha red., hvor der etableres fire forskellige renseløsninger

- Rensning i BAT-bassin
- Rensning ved aluminiumfældning efterfulgt af sedimentation i et BAT-bassin
- Rensning ved aluminiumfældning efterfulgt af filtrering i et Mekanafilter
- Rensning i et BAT-bassin efterfulgt af et sorptionsfilter
- Årsafstrømning til renseløsning er 600 mm

Prissætning er sket på baggrund af erfaringspriser og udbudsprojekter gennemført af WSP i 2024. Der regnes med en levetid på 50 år og ved en simpel opgørelse af udgifter i nutidskroner. Usikkerheden på overslagene er minus 25 % og plus 50 %.

Rensning i BAT-Bassin

Anlægsøkonomi

BAT-bassinet dimensioneres uden forsinkelsesvolumen med 250 m³ vådt volumen pr. ha red. og en middeldybde på 1-1,5 meter, i alt 3.000 m³. I omkostningerne til bassinet indgår erhvervelse af areal, etablering af bentonitmembran, bortkørsel af muld, lokal indbygning af råjord og ind -og udløbsbygværker. På denne baggrund anslås en pris på etablering af bassinet til 1,5 mio. kr.

Driftsøkonomi

De opgjorte driftsomkostninger omfatter alene opgravning og bortskaffelse af sediment. På baggrund af erfaringstal sættes denne udgift til 2.500 kr. pr. år pr. ha befæstet opland, svarende til 1,5 mio. kr. over 50 år.

Samlede omkostninger

På baggrund af ovenstående kan udgifterne til rensning af regnvand over en 50 årig periode beregnes 3 mio. kr., svarende til 5.000 kr. pr. ha red. pr. år eller 0,8 kr. pr. m³ rensset vand.

Rensning ved aluminiumfældning efterfulgt af sedimentation i et BAT-bassin

Anlægsøkonomi

Ved denne løsning skal der både etableres et anlæg til dosering og indpiskning af fældningskemikalier og et vådt rensebassin dimensioneret til BAT.

Fældningsløsningen er opbygget af flowmålere, tanke til fældningskemikalier, en doseringsbrønd, hvor fældningskemikalier tilsættes og en styring til anlægget.

På baggrund af et udbudsprojekt, WSP har gennemført på denne løsning anslås anlægsomkostningerne til fældningsdelen til et opland på 12 ha red. at udgøre 900.000 kr. inkl. fremføring af el.

Omkostningerne ved etablering af regnvandsbassinet udgør med udgangspunkt i ovenstående eksempel 1.5 mio. kr.

Den samlede anlægsomkostning anslås på den baggrund til 2,4 mio. kr. for et anlæg, der kan håndtere vand fra 12 ha red.

Driftsøkonomi

Der tillægges 30 % af anlægsprisen på kemikaliedoseringsanlægget, svarende til 300.000 kr. til løbende udskiftning og renovering over de 50 års levetid.

Med den forventede dosering af fældningskemikalier vil udgifter til disse udgøre i størrelsesorden 175.000 kr./år. Hertil lægges årligt 50 timer a 700 kr. til tilsyn mm., svarende til, at aluminiumdoseringen vil koste 10,5 mio. kr. over 50 år eller 210.000 kr./år.

Omkostninger til opgravning og bortskaffelse af sediment er regnet til at være 70 % højere end i eksemplet med et BAT-bassin, idet tilsætning af fældningskemikalier i forhold til BAT-bassinet vil forøge mængden af suspenderet stof med 50 % og samtidig forøge rensgraden for suspenderet stof. På den baggrund opgøres omkostningerne til oprensning til 2,5 mio. kr. over 50 år.

De samlede driftsomkostninger vil på den baggrund udgøre 13 mio. kr. pr. år.

Samlede omkostninger

På baggrund af ovenstående kan udgifterne til rensning af regnvand over en 50 årig periode beregnes til 15,5 mio. kr., svarende til 26.000 kr. pr. ha red. pr. år eller 4,3 kr. pr. m³ rensset vand under forudsætning af en årsafstrømning på 600 mm.

Rensning ved aluminiumfældning efterfulgt af filtrering i et Mecanafilter

Anlægsøkonomi

Ved denne løsning skal der både etableres et anlæg til dosering og indpiskning af fældningskemikalier og et skivefilter, der kan håndtere 90-95 % af årsafstrømningen.

Fældningsløsningen er opbygget af flowmålere, tanke til fældningskemikalier, en doseringsbrønd, hvor fældningskemikalier tilsættes og en styring til anlægget.

På baggrund af et udbudsprojekt, WSP har gennemført på denne løsning anslås anlægsomkostningerne til fældningsdelen til et opland på 12 ha red. at udgøre 900.000 kr. inkl. fremføring af el.

Omkostningerne ved etablering af modningstank til aluminiumflokkene og et skivefilter er på baggrund af et udbudsprojekt fastlagt til 5-8 mio. kr.

Den samlede anlægsomkostning anslås på den baggrund til 6-9 mio. kr. for et anlæg, der kan håndtere vand fra 12 ha red.

Driftsøkonomi

Der tillægges 30 % af anlægsprisen på kemikaliedoseringsanlægget og filteret, svarende til 2-3 mio. kr. til løbende udskiftning og reovering over de 50 års levetid.

Med den forventede dosering af fældningskemikalier vil udgifter til disse udgøre i størrelsesorden 175.000 kr./år. Hertil lægges årligt 100 timer a 700 kr. til tilsyn mm., svarende til, at aluminiumdoseringen og filtrering vil koste 245.000 kr./år, svarende til

Omkostninger til håndtering af rejektvand fra skivefilteret på renseanlæg indgår ikke i vurderingen..

På den baggrund opgøres driftsomkostningerne til rensning til 14,5-15,5 mio. kr. over 50 år.

Samlede omkostninger

På baggrund af ovenstående kan udgifterne til rensning af regnvand over en 50 årig periode beregnes til 20,5-24,5 mio. kr., svarende til 34-41.000 kr. pr. ha red. pr. år eller 5,7-6,8 kr. pr. m³ rensset vand under forudsætning af en årsafstrømning på 600 mm.

Rensning i et BAT-bassin efterfulgt af et sorptionsfilter

Bemærk, at denne løsning kan være begrænset af, om der kan skaffes den tilstrækkelige mængde af kalk til sorptionsfilteret.

Ved denne løsning økonomisættes et vådt rensbassin dimensioneret til BAT efterfulgt af et sorptionsfilter med 200 m³ vandværskalk pr. ha reduceret opland. Et filter med denne dimension forventes at have en levetid på 50 år.

Anlægsøkonomi

Omkostningerne ved etablering af regnvandsbassinet udgør med udgangspunkt i ovenstående eksempel 1.5 mio. kr.

Kalkfilteret, der opbygges med et underliggende drænlag og et lag af filtermuld på toppen kan på baggrund af beregninger fra WSP etableres for 7,5 mio. kr.

Den samlede anlægsomkostning anslås på den baggrund til 9 mio. kr. for et anlæg, der kan håndtere vand fra 12 ha red.

Driftsøkonomi

De opgjorte driftsomkostninger omfatter alene opgravning og bortskaffelse af sediment. På baggrund af erfaringstal sættes denne udgift til 2.500 kr. pr. år pr. ha befæstet opland, svarende til 1,5 mio. kr. over 50 år.

Der forventes ingen væsentlige omkostninger ved drift af kalkfilteret.

Samlede omkostninger

På baggrund af ovenstående kan udgifterne til rensning af regnvand over en 50 årig periode beregnes til 10,5 mio. kr., svarende til 17.500 kr. pr. ha red. pr. år eller 2,9 kr. pr. m³ rensset vand under forudsætning af en årsafstrømning på 600 mm.

Sammenfatning af omkostninger ved rensning af regnvand

De beregnede renspriser i ovenstående findes sammenfattet i Tabel 29.

Tabel 29: Anlægspriser og driftsomkostninger over 50 år for fire forskellige løsninger til rensning af regnvand. Bemærk, at løsningen med sorption kan være begrænset af muligheden for levering af kalk til sorptionsfilteret.

	Anlægspris (mio. kr.)	Vedligeholdelse og drift over 50 år (mio. kr. pr. 50 år)	Rense-omkostning (kr. pr. ha pr. år)	Renseomkostning (kr. pr. m3)
BAT-bassin	1,5	1,5	5.000	0,8
Kemisk fældning + BAT-bassin	2,4	13	26.000	4,3
Kemisk fældning + Mecanafilter	6-9	14,5-15,5	34-41.000	5,7-6,8
BAT-bassin + sorptionsfilter	9	1,5	17.500	2,9

REFERENCER

- /1/ Faktablad om dimensionering af våde regnvandsbassiner, 2012,
https://separatvand.dk/download/Faktablad_V%C3%A5de%20bassiner_3.pdf
- /2/ Våde bassiner til rensning af separat regnvand – Baggrundsrapport, 2012,
https://separatvand.dk/download/V%C3%A5de%20bassiner_BAGGRUNDSRAPPORT.PDF
- /3/ Stormtac Web, 2024, <https://app.stormtac.com/index.php>
- /4/ www.echa.europa.eu
- /5/ www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov
- /6/ Måling af PFAS i luft og nedbør, DCE teknisk rapport nr. 313, 2024
- /7/ Undersøgelser for PFAS stoffer Esbjerg Brandskole, december 2021
- /8/ www.echa.europa.eu
- /9/ www.pubchem.ncbi.nlm.nih.gov
- /10/ Teknologisk Institut (2020): Filterteknologi til rensning af regnvand i tætbebyggede områder. Udgivet af Miljøstyrelsen, 2021
- /11/ Anvendelse af Rockflow til nedsivning, magasinering og rensning af regnvand, Lapinus og WSP 2021

- /12/ Nørlem, Mathias (2023) Dokumentation for rensning af separat regnvand i Rockflow
- /13/ Projektnetværk - Vandkvalitet der BAT'er, <https://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk/testede-renseloesninger/>
- /14/ <https://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk/media/1210/datablad-viplus-subtratfilter.pdf>
- /15/ <https://regnvandskvalitet-abc.teknologisk.dk/media/1221/watercare-filtration-dpf-fosfor-fjernelse-dansk.pdf>
- /16/ Teknologier til fjernelse af mikroforureninger i regnvandsbetingede udledninger fra veje og kunstgræsbaner, MUDP-projekt. Endnu ikke publiceret.
- /17/ K10 SABA Rotewald Projektnr. 2105 vif Kanton Luzern. Funktionsprüfung Synthesebericht Uster/Horw, september 2021, ilu AG, Walter Osterwalder, Dipl. Bauing. ETH
- /18/ High Level Treatment of Stormwater Heavy Metals, R. Pitt et al. Water World and Environmental Resources Conference 2004, Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, Salt Lake City, Utah. July 27 – June 1, 2004.
- /19/ Driftserfaringer med filteranlæg til efterpolering af vejvand, Jes Vollertsen et al, Trafik & Veje, maj 2018
- /20/ Etablering af filteranlæg til efterpolering af vejvand, Jes Vollertsen et al, Trafik & Veje, maj 2018
- /21/ Opgradering af våde regnvandsbassiner for videregående rensning, Jes Vollertsen, Naturstyrelsen 2012
- /22/ Nøgletal for miljøfarlige forurenende stoffer i spildevand fra rensenanlæg, Novana, marts 2021
- /23/ Task E, 5th delivery: Final report (English) on the environmental and technical performance of the treatment unit processes, TREASURE LIFE06 ENV/DK/000229
- /24/ Tidsbegrænset tilladelse til udledning af rensat regnvand til Grønjordssøen, 20. januar 2023
- /25/ MECANA test på Stavnsholt Rensenanlæg, Novafos 2021
- /26/ Videregående renseteknologier for kommunalt spildevand DANVA Forsknings- og Udredningsprojekt nr. 2, 2006.
<https://www.danva.dk/media/2957/videregaaendeplusrenseteknologierplusforpluskommunaltpusspildevand.pdf>
- /27/ The State of New Jersey 2004 New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual.
- /28/ Regnvandsbassiner med natur og aktivitet, Rørcenter-anvisning 025, april 2018
- /29/ Miljøfarlige stoffer i afstrømmet regnvand – Bruttoliste for miljøfarlige stoffer med miljøkvalitetskrav eller kriterier, udarbejdet for Miljøstyrelse af WSP, 2025
- /30/ First Flush Characteristics in Separate Sewer Stormwater and Implications for Treatment, Egemose et al, Sustainability, 2020
- /31/ Vurdering af decentrale renseløsninger, Udarbejdet for Københavns Kommune af WSP, 2019