



KLIMA
2050

RAPPORT

Nr. 28 – 2021

FORURENSET OVERVANN

En litteraturstudie

Edvard Sivertsen, Gema Raspati,
Maria Barrio, Stian Bruaset og
Kamal Azrague





KLIMA 2050

Klima 2050 Report No 28

Edvard Sivertsen, Gema Raspati, Maria Barrio, Stian Bruaset og Kamal Azrague (SINTEF Community)

Forurenset overvann

En litteraturstudie

Keywords: Overvann, forurenset, litteraturstudie, åpne og lokale løsninger, naturbaserte løsninger

ISBN: 978-82-536-1724-4

Illustration front cover and page 3: Edvard Sivertsen, SINTEF Community

Publisher: SINTEF Community, Høgskoleringen 7 b, PO Box 4760 Sluppen, N-7465 Trondheim

www.klima2050.no



Forord

Forurenset overvann er et tema som har fått økende interesse, også i Norge. Analyser har vist at overvann kan inneholde alt fra partikler og næringsstoffer til miljøgifter og tungmetaller, og skyldes i stor menneskelig aktivitet i nærområdet. Det er publisert et stort antall vitenskapelige artikler på temaet de siste årene, men en sammenstilling av tilgjengelig litteratur på norsk mangler. SINTEF Community har derfor gjennomført en systematisk litteraturstudie, som oppsummeres i denne rapporten. Arbeidet er finansiert av strategiske midler fra SINTEF Community og Klima 2050.

Klima 2050 – Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø er et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. SFI-statusen muliggjør langsiktig forskning i nært samarbeid med privat og offentlig sektor, samt med andre forskningspartnerne som har som mål å styrke Norges innovasjons- og konkurransevne innen klimatilpasning. Sammensetningen av konsortiet er viktig for å kunne redusere samfunnsrisikoen forbundet med klimaendringer.

Senteret vil styrke bedriftenes innovasjonskapasitet gjennom fokus på langsiktig forskning. Det er også et klart mål å legge til rette for tett samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og fremtredende forskningsgrupper. Det blir lagt vekt på utvikling av fuktbestandige bygninger, overvannshåndtering, blågrønne løsninger, tiltak for forebygging av vannutløste skred, sosioøkonomiske insentiver og beslutningsprosesser. Både ekstremvær og gradvise endringer i klimaet blir omhandlet.

Vertsinstitusjonen for SFI Klima 2050 er SINTEF Community, og senteret ledes i samarbeid med NTNU. De andre forskningspartnerne er Handelshøyskolen BI, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Meteorologisk institutt (MET).

Industripartnerne representerer viktige deler av norsk byggenæring; rådgivere, entreprenører og produsenter av byggevarer og teknologi: Skanska Norge, Multiconsult AS, Mesterhus, Norgeshus AS, Leca Norge AS, Isola AS og Skjæveland Gruppen AS. Senteret inkluderer også viktige offentlige byggherrer og eiendomsutviklere: Statsbygg, Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Avinor AS. Sentrale aktører er også Trondheim kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Finans Norge.

Trondheim, 25. oktober 2021

Berit Time
Senterleder
SINTEF Community

Sammendrag

I løpet av de siste fem-seks årene har det i Norge vært en økende interesse for håndtering av overvann. Fokuset har stort sett vært på håndtering av overvannsmengde, men også håndtering av forurensninger i overvannet har fått oppmerksomhet. Dette skyldes at i urbane områder vil overvannet ofte være forurenset. Vegtransport, industri og andre menneskelige aktiviteter vil være kilder til forurensinger som i varierende grad vaskes ut med overvannet. Typiske forurensninger inkluderer en lang rekke løste og partikkelbundne forbindelser som vegsalter, tungmetaller, næringssalter, organiske miljøgifter og mikroplast.

For å fremskaffe en oppdatert oversikt over internasjonal forskning på forurenset overvann og rensemetoder er det våren 2021 gjennomført et systematisk litteratursøk. Denne rapporten sammenstiller arbeidet og gir en overordnet oversikt over vitenskapelig litteratur som omhandler forurensninger i overvann og rensemetoder. Totalt er det identifisert 171 relevante artikler publisert etter 2015, og det gis en overordnet presentasjon av metadata knyttet til disse artiklene. Videre gis det en mer detaljert presentasjon av de 19 review-artiklene identifisert, en oversikt over litteratur som omhandler kostnader, drift og vedlikehold av rensemetoder og en oversikt over litteratur som er relevant for kaldt klima.

Innhold

FORORD	5
SAMMENDRAG	6
INNHOOLD	7
1 INNLEDNING	8
2 METODE	10
3 RESULTATER OG DISKUSJON	12
3.1 OVERSIKT OVER ALLE ARTIKLENE	12
3.1.1 <i>Metadata</i>	12
3.1.2 <i>Overordnede tema og korrelasjoner mellom disse</i>	16
3.1.3 <i>Gjennomgang av review-artikler</i>	18
3.2 OPPSUMMERING FORURENSNINGER I OVERVANN.....	21
3.3 OPPSUMMERING RENSELØSNINGER.....	24
3.4 KOSTNADER, DRIFT OG VEDLIKEHOLD.....	28
3.5 KALDT KLIMA.....	28
4 KONKLUSJON	31
REFERANSER	32

1 Innledning

I løpet av de siste fem-seks årene har det i Norge vært en økende interesse for håndtering av overvann. Fokuset har stort sett vært på håndtering av overvannsmengde, men også håndtering av forurensninger i overvannet har fått oppmerksomhet [1]. Dette skyldes at i urbane områder vil overvannet ofte være forurenset. Vegtransport, industri og andre menneskelige aktiviteter vil være kilder til forurensninger som i varierende grad vaskes ut med overvannet. Typiske forurensninger inkluderer en lang rekke løste og partikkelbundne komponenter som vegsalter, tungmetaller, næringssalter, organiske miljøgifter og mikroplast [2-4].

Forurenset overvann som kan føre til forurensning av vassdrag eller grunnvann må behandles før det kan slippes ut til omkringliggende resipienter, jmf. forurensningsloven, vannforskriften og naturmangfoldloven. I Norge er Fylkesmannen forurensningsmyndighet, i tillegg kan kommunene vedta egne planbestemmelser med hjemmel i plan- og bygningsloven [1]. I utgangspunktet vil ikke overvann utgjøre en forurensningsfare, med mindre vannet er blitt betydelig forurenset under transport på overflaten. Miljødirektoratet har derfor vurdert det dithen at mindre forurensninger i overvann vil normalt ikke føre til skade eller ulempe som vil kreve tillatelse etter forurensningsloven. Miljødirektoratet har derfor instruert fylkesmannen til kun å vurdere utslipp og pålegg i de tilfeller der overvannet kan utgjøre et miljøproblem [5]. Områder som typisk kan ha akkumulert en betydelig mengde forurensningsstoffer er veg og byområder med stor andel av tette flater. Eventuelle tiltak må vurderes med utgangspunkt i hva overvannet er forurenset med, konsentrasjonen til de forurensende stoffene og sårbarheten til mottakende resipient.

Siden vannkvaliteten til overvann vil være svært varierende er det utfordrende å lage generelle renskrav og en omforent praksis om håndtering. For å håndtere mengden overvann anbefales det å benytte prinsippene i treleddsstrategien (infiltrere, fordrøye, sikker avledning). Mange av tiltakene i trinn 1 og trinn 2 i treleddsstrategien har også en renseseffekt, slik at hvis tiltakene for å håndtere overvann planlegges nøye vil man til en viss grad møte både krav til håndtering av mengden overvann og krav til rensing ved å benytte de samme tiltakene. På den annen side er det en sammenheng mellom dimensjonerende vannføring og virkningsgrad som må ivaretas for å sikre tilstrekkelig rensegrad. Med krav til klimarobuste løsninger bygges det ofte store konstruksjoner, med relativt høy dimensjonerende vannføring, dette kan resultere i dårligere rensegrad ved lavere vannføring slik at for det dagligdagse regnet, som er det mest kritiske for transport av forurensninger til resipienter, har man dårligere rensegrad. Det er derfor viktig å finne sammenhenger mellom trinn 1- og trinn 2-løsninger i treleddsstrategien og for å finne gode sammensatte løsninger for rensing av overvann samtidig som det er god hydraulisk kapasitet for større hendelser.

I forbindelse med NOU2015: 16 på overvann ble det utarbeidet flere bakgrunnsrapporter om forurensning i overvann [6,7], der mye av informasjonen bygger på et enda tidligere arbeid [8]. I Lindholm [8] er det rene "look-up"-type tabelløsninger for å finne estimert konsentrasjon av forurensninger i overvann fra et gitt område. De siste årene er det også publisert en del studier knyttet til avrenning fra veg [2,9,10]. Videre er sesongvariasjonen i Norge stor [11,12], mens veisalting har vist seg å være en stor utfordring for vannkvalitet og urbane trær [13]. Videre jobbes det nå med rensing av overvann i Klima 2050. bl.a. rensing av overvann fra veg ved Fv505 (Sandnes), rensing av veiavrenning i grøfteløsning ved Rv3 (Løten), håndtering av overvann fra torvet i Trondheim og fullskala testing av permeable dekker på Sveberg (spin-off prosjekt).

For å fremskaffe en oppdatert oversikt over internasjonal forskning på forurenset overvann og rensemetoder etablerte SINTEF et strategisk prosjekt i samarbeid med Klima 2050. Prosjektet

ble gjennomført høsten 2020 og våren 2021. Målet med studien er gjennom et systematisk litteratursøk å få en oversikt over nyere forskningsresultater knyttet til forurenset overvann. Rapporten vil særlig forsøke å gi en:

1. Overordnet oversikt over vitenskapelig litteratur som omhandler forurensinger i overvann og rensemeter.
2. Oppdatert oversikt over hvilke forurensninger man kan forvente å finne i overvann.
3. Oppdatert oversikt over hvilke rensemeter man kan benytte for å rense overvann.
4. Oversikt over kostnader, drift og vedlikehold av rensemeter.
5. Oversikt over relevant litteratur for kaldt klima.

2 Metode

Litteraturoversikten presentert i denne studien er basert på en etablert forskningsmetodikk som sikrer en omfattende søkeprosess og systematisk gjennomgang av relevant litteratur [14]. For å konkretisere målsetningen med studien har vi benyttet rammeverket CIMO [15]. Tabell 1 viser en konkretisering av hva litteratursøket skal inneholde innenfor hver av kategoriene *Context (hvor)*, *Intervention (hva)*, *Mechanisms (hvordan)* og *Outcome (resultat)*.

Tabell 1 Konkretisering av litteratursøket med CIMO rammeverket.

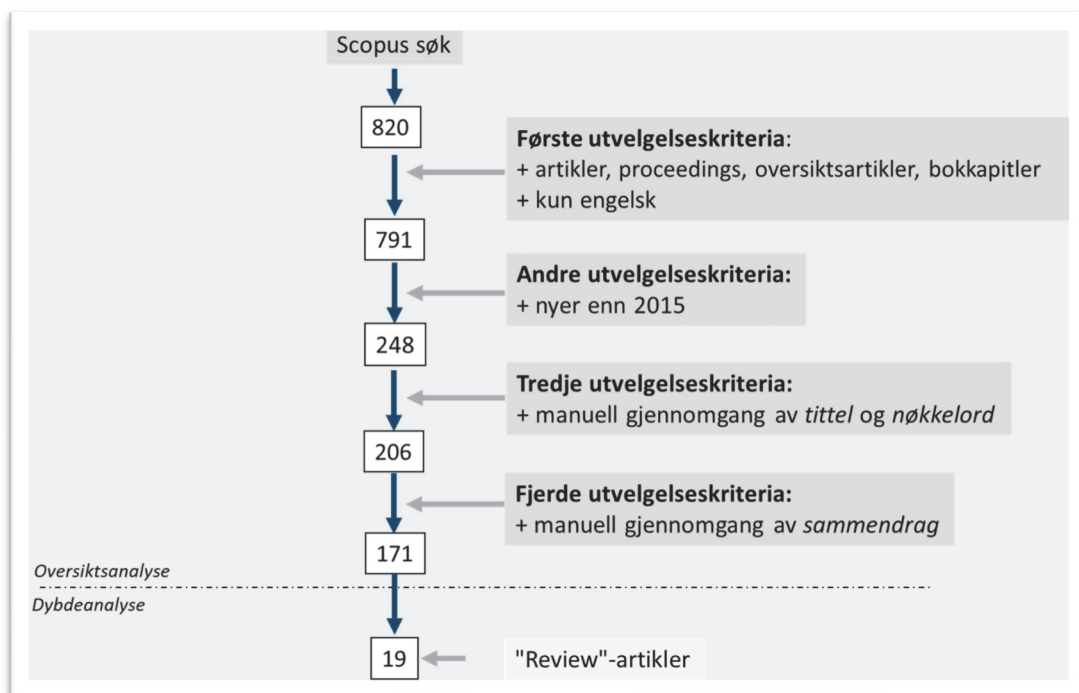
Context	Treatment of polluted stormwater from urban area
Intervention	Unit process, unit operation, technical solution, concept of treatment, nature-based solutions
Mechanisms	Physical, chemical, biological treatment methods
Outcome	Guideline, treatment efficiency, regulation, decision support, design tool

Søkeordene som ble benyttet innenfor hver av kategoriene er vist i Tabell 2, der søkeordene mellom hver kategori ble bundet sammen med *AND*, mens søkeord innenfor hver kategori ble bundet sammen med *OR* (ikke vist). Søkeordene ble identifisert ved å studere tittel, sammenheng og nøkkelord for et lite utvalg artikler og rapporter [2,16-19].

Databasen Scopus ble benyttet i studien og søket ble gjennomført 18. mars 2021. Figur 1 viser en oversikt over antall treff og utvelgelseskriterier. Det første søket gav 820 treff som ble redusert til 171 etter fire utvelgelsesrunder. Disse artiklene danner grunnlaget for en overordnet analyse, mens det er valgt å gå noe mer i dybden på de 19 review-artiklene, det artiklene som omhandler kaldt klima og de syv artiklene som omhandler permeable dekker. Den overordnede analysen har benyttet EviAtlas, en programpakke for systematisk studie av litteratur bygget på statistikkprogrammet *R* [20].

Tabell 2 Søkeord og Booleanske operasjoner (*OR* mellom ord i samme kolonne).

Context (hvor)	Intervention (hva)	Mechanisms (hvordan)	Outcome (resultat)
urban runoff	AND SUDS	AND water treatment	AND guideline
stormwater	Nature-based solutions	characterisation	treatment efficiency
road runoff	decentralised system	water analysis	regulation
	local treatment	statistical analysis	decision support
	source control	data collection	design
	filtration		seasonal
	removal		temporal
	adsorption		framework
	degradation		operation
	biodegradation		maintenance
			Nordic climate
			cold climate



Figur 1 Litteratursøk, gjennomgang og analyser.

3 Resultater og diskusjon

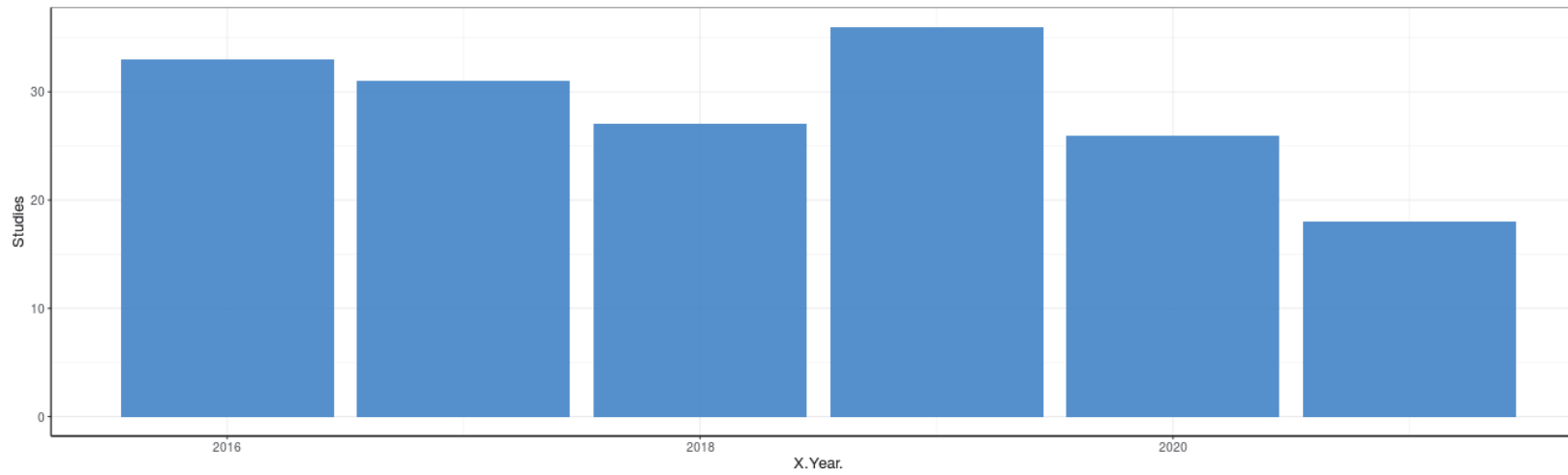
3.1 Oversikt over alle artiklene

3.1.1 Metadata

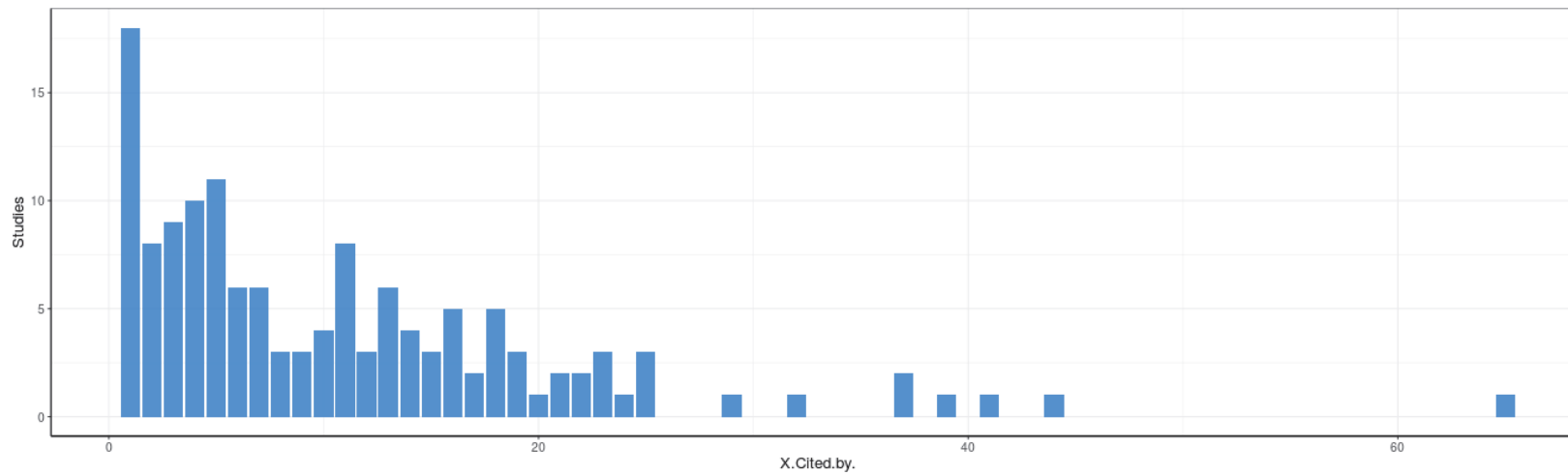
Litteratursøket identifiserte total 171 aktuelle artikler innenfor temaet forurenset overvann [9,17,19,21-189]. Figur 2 viser antall artikler publisert per år, der antall nye artikler per år ligger stabilt rundt 30 stykker. Dette indikerer at kunnskapen om forurenset overvann og rensemetoder øker. Videre indikerer Figur 3, som viser antall ganger de ulike artiklene har blitt sitert, at en stor del av artiklene publisert i perioden tas raskt i bruk av andre forskere.

Figur 4 gir en oversikt over nasjonaliteten til arbeidsstedet til førsteforfatteren. Forskningen på forurenset overvann er for det meste sentrert rundt Nord-Amerika, Europa, Kina og Australia. Sett fra Norge er det kanskje særlig forskningen som foregår i de nordligste statene i USA og Canada som er særlig relevant for norske forhold, men også resultater fra Europa vil være naturlig å følge med på.

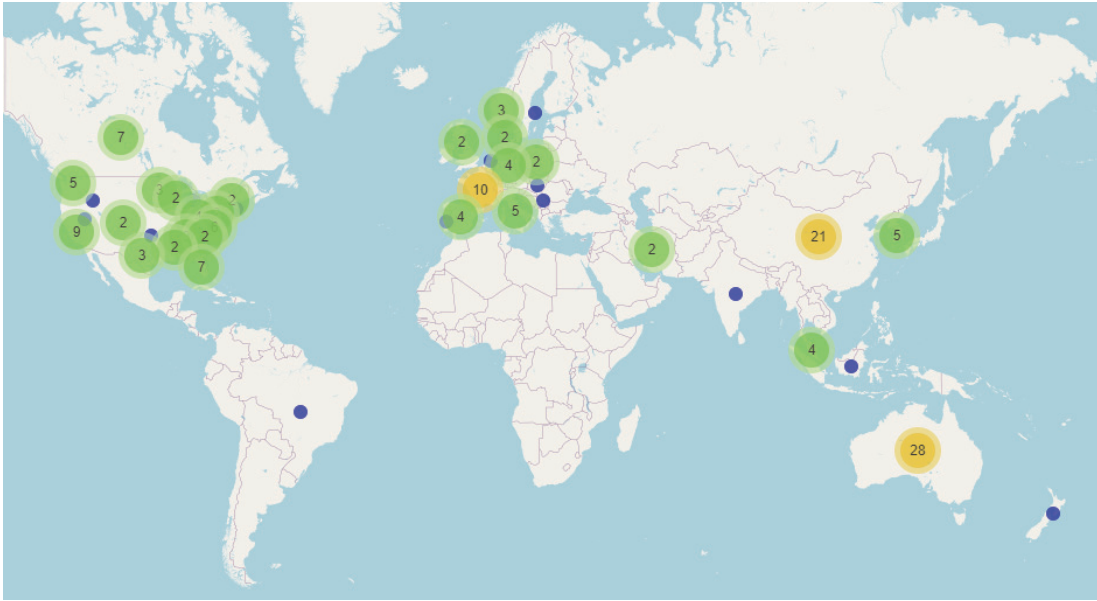
Figur 5 viser i hvilke journaler vi finner de 171 artiklene. Som figuren viser er det publisert artikler i en lang rekke ulike tidsskrift, men de tidsskriftene som har flere enn ti artikler er *Ecological Engineering*, *Science of the Total Environment*, *Water* og *Water Research*.



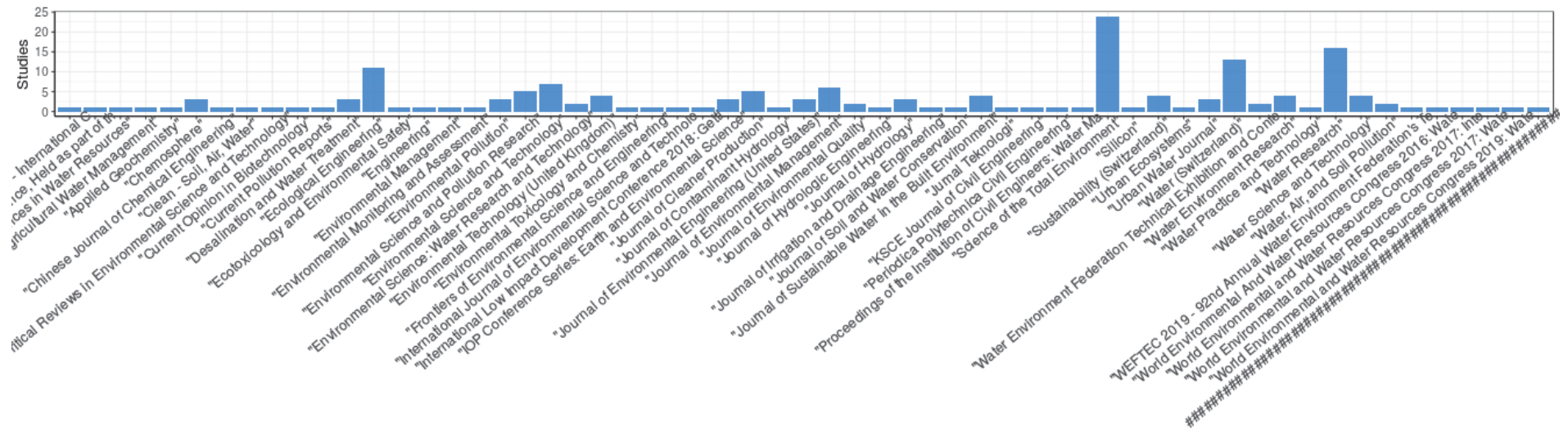
Figur 2 Antall artikler som funksjon av publiseringsår (2016 - Mars 2021).



Figur 3 Siteringsfordeling av publiserte artikler (antall artikler som funksjon av antall siteringer).



Figur 4 Geografisk spredning basert på arbeidssted førsteforfatter (blått angir 1 artikkel, grønt angir mellom 2-9 artikler, mens gult angir 10 eller flere artikler).



X.Source.title.

Figur 5 Antall artikler fordelt på ulike tidsskrift.

3.1.2 Overordnede tema og korrelasjoner mellom disse

For å få en oversikt over i hvilken grad ulike tema er omhandlet i artiklene er det gjort et søk i tittel, sammendrag og nøkkelord etter disse utvalgte temaene. Dersom temaet (begrepet) er nevnt i en eller flere av disse tekststrengene antas det at artikkelen omtaler dette temaet. Videre er det undersøkt i hvilken grad to tema (begreper) er omtalt i samme artikkel. Resultatene er presentert i Figur 6 som et *heatmap*. Figuren viser antall artikler som omhandler to tema, unntatt for diagonalen som viser antall artikler som omhandler kun ett bestemt tema.

Temaene er delt inn i fire grupper. Den første gruppen tema omhandler typiske overordnede navn på overvannsløsninger som er brukt internasjonalt om det vi i Norge omtaler som åpne og lokale overvannsløsninger. Den neste gruppen av tema er spesifikke overvannsløsninger, den tredje gruppen omhandler typiske forurensinger man kan finne i overvann, mens den fjerde gruppen tema omhandler kostnader, drift, vedlikehold og klima.

Ved å studere Figur 6 vil man få en oversikt over i hvilken grad ulike tema er undersøkt i litteraturen, i hvilken grad ulike tema er undersøkt i samme artikkel og hvilke tema det mangler kunnskap om. Hvis vi bruker permeable dekker som eksempel, ser vi at det er omtalt en gang sammen med *Low Impact Development*, ingen ganger sammen med sedimentasjon, seks ganger sammen med behandling, to ganger samtidig med infiltrasjon, fem ganger sammen med filtrering, en gang samtidig med våtmark, tre ganger samtidig med rensedam og en gang sammen med regnbed. Videre ser vi at artikler som omhandler permeable dekker også omtaler partikler, suspendert stoff, nitrogen, fosfor og metaller. Det er noe overraskende at det kun er en artikkel som omhandler både permeable dekker og metaller. Videre er det kun en artikkel som omhandler permeable dekker og kostnader og kun to artikler som ser på permeable dekker og vedlikehold.

Fra Figur 6 kan vi trekke noen overordnede konklusjoner:

- De overordnede navnene på overvannshåndtering brukes i liten grad.
- Det er et betydelig antall artikler (> 20) for rensemetodene infiltrasjon, filtrering, sorpsjonsløsninger, våtmark, rensedammer og bioretensjonsløsninger.
- Rensemetodene sedimentasjon, grønne grøfter, regnbed og permeable dekker er omhandlet i noe færre artikler (< 11)¹.
- Spesielle infiltrasjons- og renseløsninger ("*soakaways*" og "*filter strips*") er ikke omtalt i utvalget av artikler.
- De fleste forurensingene er omhandlet i et betydelig antall artikler (> 14), men det virker som at det engelske begrepet "*emerging*" (som kan oversettes med "nye miljøgifter"), er et begrep som brukes i liten grad.
- Det finnes en del litteratur som omhandler drift, vedlikehold og kostnader.
- Kaldt klima er omhandlet i et fåtall artikler (< 10 artikler).

¹ Det er verdt å merke seg at det kan være noe overlapp mellom de ulike uttrykkene som er valgt ut, f.eks. vil regnbed som er tenkt å ha renseregenskaper være omtalt som bioretensjonsløsninger, mens sorpsjonsløsninger kan være dekket inn av filtrering.

No of paper 171	Nature-based solutions				Treatment					Wetland								Particles						Cost				
	SUDS	Best Management Practices	Low Impact Development		Sedimentation	Infiltration	Filtration	Sorption		Pond	Bioretention	Rain garden	Green roofs	Swales	Filter strips	Soakaways	Permeable pavement	Suspended solids	Nitrogen	Phosphorus	Micro	Emerging	Metals	Cost	Operation	Maintenance	Cold	
Nature-based solutions	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
SUDS		4	0	0	1	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	2	1	
Best Management Practices			9	1	2	1	2	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	3	1	1	2	0	1	0	0	0	
Low Impact Development				14	8	0	4	7	1	2	1	8	2	0	0	0	1	1	2	3	3	4	1	5	2	1	1	
Treatment					119	6	13	33	20	26	14	25	3	0	3	0	6	10	22	25	27	29	10	42	16	23	21	
Sedimentation						10	2	6	3	0	1	1	1	0	1	0	0	2	4	4	4	1	0	4	1	2	3	
Infiltration							23	23	5	3	3	9	3	0	3	0	2	3	4	7	8	2	1	8	3	3	3	
Filtration								52	10	4	4	15	4	0	3	0	5	8	10	16	14	9	2	17	7	8	11	
Sorption									29	0	5	9	1	0	0	0	0	3	3	6	8	4	1	14	4	4	3	
Wetland										27	6	2	1	0	1	0	1	0	4	6	8	6	5	11	3	7	6	
Pond											21	4	0	0	1	0	3	2	2	8	10	5	1	3	4	2	4	
Bioretention												40	4	0	0	0	1	1	4	13	10	10	1	11	4	3	3	
Rain garden													5	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	
Green roofs														2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
Swales															6	1	0	0	3	2	2	1	0	4	0	0	1	
Filter strips																1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Soakaways																	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Permeable pavement																	7	2	4	4	4	0	1	1	1	0	2	
Particles																		14	4	2	3	3	0	6	0	2	1	
Suspended solids																			29	14	14	1	0	11	4	4	5	
Nitrogen																				38	24	8	1	9	6	3	7	
Phosphorus																					35	5	0	8	5	4	5	
Micro																						35	2	12	2	5	4	
Emerging																							10	7	1	5	1	
Metals																								56	8	12	9	
Cost																									23	6	5	
Operation																										28	9	
Maintenance																											25	
Cold																											1	
																											8	

Figur 6 Heatmap over utvalgte uttrykk hentet fra tittel, sammendrag og nøkkelord.

3.1.3 Gjennomgang av review-artikler

Blant de 171 artiklene som ble funnet å omtale forurenset overvann er det 19 review-artikler, det vil si overordnede artikler som sammenfatter funnene fra flere andre vitenskapelige artikler. Her følger en kort omtale av hver enkelt av disse review-artiklene.

Muller *et al.* [17] har laget et klassifiseringssystem for forureningskilder og gir en oversikt over disse, rapporterte målte konsentrasjoner og mulige transportveier for forurenninger. Se også Seksjon 3.2.

Ahmed *et al.* [24] fokuserer på helserisikoen forbundet med gjenbruk av regnvann. Artikkelen gir en oversikt over kvantifiseringsstudier for mikrobielle forurenninger i urbant overvann og gir informasjon om forekomst og konsentrasjoner av fekale (avførings-) indikatorer, patogener og mikrobiologiske markørgener samt tilhørende helserisiko. Videre gir artikkelen noe informasjon om renseseffekten på mikrobiologiske forurenninger ved bruk av rensedammer, våtmark og bioretensjonsløsninger. Artikkelen inneholder noen tall i tabellform.

Alam *et al.* [25] diskuterer ulike aspekter ved aktiv tilførsel av vann til akviferer (på engelsk omtalt som *managed aquifer recharge* (MAR)) og gir en oversikt over MAR-typer sammen med et grunnleggende rammeverk for å velge og implementere ulike typer MAR for et gitt sted med en gitt vanntilgjengelighet og kvalitet, arealbruk, kildetype, jord og akvifer-egenskaper. Basert på en analyse av resultater fra 34 studier der overvann er brukt til infiltrasjon, konkluderes det med at MAR kan fjerne oppløst organisk karbon, de fleste metaller, *E. coli*, men er ikke effektivt for å fjerne organiske miljøgifter og enterokokker. Videre er renseseffektiviteten avhengig av typen MAR og det anbefales å bruke forbehandling i tilfeller der vannet har høyt innhold av partikulært materiale på grunn av igjen tetting. Artikkelen inneholder noen tall i tabellform.

Chu *et al.* [46] fokuserer på en langsiktig akkumulering av tungmetaller i bioretensjonssystemer. Tungmetallakkumuleringen kan føre til forringelse av avløpskvaliteten, påvirke planteveksten og forkorte levetiden til bioretensjonssystemer. Artikkelen studerer fordelingen av tungmetallakkumulering og viser at tungmetaller har en tendens til å samle seg på topplaget og reduseres med økende jord-/mediedybde. Tungmetaller finnes også i plantens røtter. Noen faktorer som bestemmer graden av tungmetallakkumulering er identifisert, det vil si værforhold, avrenningskvalitet av overvann, anleggets struktur, vegetasjonsarter og egenskapene til media/jord. Videre foreslår artikkelen noen praktiske vedlikeholdstiltak, f.eks. forbehandlingsløsninger, multimetallakkumulatoranlegg, regelmessig utskiftning av toppjord, nyskapende media og jordforbedringer. Artikkelen inneholder en god del tall i tabellform.

Ekka *et al.* [54] gir en grunnleggende innføring i design av ulike typer grønne grøfter (på engelsk omtalt som *swales*), inkludert aspekter rundt dimensjonering, behov for forbehandling og etterbehandling, drift, vedlikehold og kostnader. Det presenteres ulike mekanismer for fjerning av forurenning i grøftene med gress, bl.a. filtrering, sedimentering, infiltrasjon, kjemisk nedbrytning, mikrobiell nedbrytning og vegetasjonsopptak. Renseeffekten til grønne grøfter er god for partikler og partikkelbundne forurenninger for partikkelstørrelser større enn 6-15 μm . Mindre partikler blir typisk ikke fanget på grunn av begrensede hydrauliske retensjonstider (gjennomsnittlig retensjonstid for de undersøkte grønne grøftene var 40-400 s). Sidekantene er viktigere enn lengden på grøftene ved behandling av sediment. Videre er det uklart om grøftene renses nitrogen og fosfor og det påpekes et FoU-behov for å få dokumentert dette i tilstrekkelig grad. For tungmetaller er det dokumentert en betydelig renseseffekt, både for partikkelbundne og oppløste metaller. Artikkelen gir også en oversikt over modelleringsverktøy for grønne grøfter.

Erickson *et al.* [55] sammenstiller anbefalinger for vedlikehold av filtreringsløsninger, infiltrasjonsløsninger, rensedammer og permeable dekker. Ingen tall på renseseffekter, men artikkelen beskriver ulike strategier for å opprettholde rensesfunksjon av nevnte løsninger.

Ghimire *et al.* [67] har samlet funn fra forsknings- og demonstrasjonsstudier om bruk av våtmarker for behandling av avløpsvann og overvann. Artikkelen dekker flere forurensnings-typer som næringsstoffer, metaller, patogener og nye miljøgifter. Den beskriver effekten av vegetasjon, våtmarksdesign og drift, og effekten av ulike konfigurasjoner.

Goh *et al.* [70] sammenstiller informasjon om bioretensjonsløsninger for rensing av overvann i tropiske og tempererte områder og vurderer hvorvidt designkriterier som gjelder for tempererte områder også kan gjelde for tropiske områder. Artikkelen gir en god oversikt over utvalgte forurenninger i overvann, deres typiske konsentrasjoner og renseseffekten av typiske bioretensjonsløsninger. Artikkelen inneholder en god del tall i tabellform.

Kratky *et al.* [90] fokuserer på anvendelse av bioretensjonsløsninger i kaldt klima. Aspekter knyttet til design, drift og vedlikehold diskuteres med mange detaljer for å forbedre vannkvaliteten. Diskusjon om forbedringer av vannkvaliteten sentrerer rundt noen få vannkvalitetsparametere, f.eks. TSS, tungmetaller, næringsstoffer (N og P), organisk (olje, fett, biologisk oksygen forbruk (BOD)), veisalt (metall-Cl-salter). Artikkelen fremhever ganske mange hull i forskning som er nødvendig for implementering av bioretensjon som overvannsløsning. Blant de nevnte punktene knyttet til forbedring av vannkvaliteten inkluderer valg av vegetasjon, medier, forbehandling, langsiktig renseseffekt og temperaturavhengighetsstudier (fryse-tinesyklus, avisingskjemikalier, vinterdvalermodus). Artikkelen inneholder en god del tall i teksten.

Li og Davis [93] fokuserer kun på fosfor-fjerning ved å bruke bioretensjonsløsninger. Artikkelen presenterer mekanismer og måleresultater. I tillegg er en modell utviklet for å beskrive renseseffekten ved bioretensjon.

Lucke *et al.* [104] diskuterer viktigheten av riktige data for vannkvalitet i overvannet og dens innvirkning på korrekt forvaltningsplan og beslutningstaking. Artikkelen fokuserer på en bestemt case lokalisert i sør-øst Queensland og bruker nitrogen som eksempel på forurensing. Tilnærmingen er likevel generisk og anvendelig i andre sammenhenger. Rensetiltakene inkluderer blant annet bioretensjon, våtmark eller annen grønn infrastruktur. Artikkelen diskuterer også bruk av modellverktøy for planlegging, f.eks. ved bruk av MUSIC som modellerer transport av forurensinger.

Lucke *et al.* [105] gjør en gjennomgang av konstruerte flytende våtmarker, deres design og mulige rensesegenskaper. Artikkelen presenterer resultater fra noen få teststeder, men det er ikke gitt mye detaljert informasjon. Interessant konsept, men det foreløpig mindre aktuelt å bruke dette i Norge.

McFarland *et al.* [114] er en veiledning for byplanleggere, landskapsarkitekter, ingeniører og lokale beslutningstakere i valg og lokalisering av forskjellige typer grønn infrastruktur i en by. For å maksimere effektiviteten til den grønne infrastrukturen i forhold til overvann må man vurdere biofysiske egenskaper og beliggenhet i vannskillet, tilkoblingen til det eksisterende urbane vannsystemet og sannsynlige forurenninger fra stedet og tilstøtende områder. Artikkelen beskriver kilden til de vanligste forurenningene (deler inn i 7 grupper) i overvann, lister opp de viktigste rensesmekanismene og gir en oversikt over hvilke tiltak (bl.a. rensedammer, våtmark, bioretensjon, regnbed og permeable dekker) som kan egne seg for å fjerne de ulike forurenningene. Det gis flere kvantitative eksempler, men ingen kvalitative tall.

Payne *et al.* [125] analyserer ulike bioretensjonsløsninger for rensing av overvann og setter søkelys på gjenbruk av overvann. Payne *et al.* påpeker at bioretensjonsløsninger har mange

fordeler, blant annet passiv rensing, men at ytelsen kan være variabel og følsom for systemdesign, konstruksjon, drift og vedlikehold. Nylige fremskritt innen systemdesign inkluderer testing av medieendringer for målrettet fjerning av forurensning (jmf. [156]), forbedret fjerning av patogener ved bruk av antimikrobielle anlegg og utvidelse med mer teknologiske løsninger. For å sikre stabil vannkvalitet på overvann som skal gjenbrukes må det gjøres mer for å utvikle et tydelig valideringsrammeverket for å overvåke og kontrollere systemets ytelse og drift i sanntid. Videre anbefales det at det utvikles tydeligere og strammere standarder for design av slike løsninger, samt at det utvikles et kontrollregime under byggingen for å sikre at løsningene bygges slik de er tenkt bygget.

Peng *et al.* [128] presenterer en konseptuell modell for renseseffekt av mikrobielle forurensninger med biofilter. Artikkelen gir grundige designanbefalinger og forventet renseseffekt basert på utformingen av biofiltrene og gir en omfattende vurdering av de forskjellige alternativene for biofiltre og hvordan det påvirker mikrobiell fjerning.

Rizzo *et al.* [138] gir en oppsummering om bruk av våtmark som behandling for overløp fra fellessystem. Artikkelen baserer seg på erfaringer fra Frankrike, Italia, Tyskland og USA. Renseseffekter for konvensjonelle forurensninger så vel som mikrobielle og nye miljøgifter rapporteres. Videre gir artikkelen en liste over modelleringsverktøy som er nødvendige for utformingen av slike systemer. Til slutt tilbys også designkonfigurasjoner der våtmarker kombineres med andre renseløsninger.

Tirpak *et al.* [156] har vurdert litteratur på konvensjonelle og modifiserte bioretensjonsløsninger. Konvensjonelle bioretensjonsløsninger består av sandholdig jord og et organisk topplag av kompost eller flis, mens modifiserte løsninger kan ha et topplag av organisk materiale, f.eks. torvmose, eller uorganisk materiale, f.eks. flyveaske. Artikkelen oppsummerer de eksisterende designveilederne som finnes, sammenligner ytelsen til konvensjonelle og modifiserte bioretensjonsløsninger og fremheve fordeler og begrensninger ved de modifiserte løsningene. Til slutt diskuteres utfordringer med å implementere endringer under reelle forhold. Bioretensjonsløsninger er effektive for å fjerne suspendert stoff, men har varierende renseseffekter for andre forurensninger som må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Noen biokullløsninger fjerner organiske stoffer i stor grad og er også effektive for fjerning av mikrobielle forurensninger, mens de i liten grad fjerner tungmetaller og næringsstoffer. Torvmose har vist god renseseffekt av tungmetaller og organiske forurensninger (biocider og PAH), men ingen effekt på fjerning av næringsstoffer eller mikrobielle forurensninger. Kokosnøtt fjerner Zn og Cd effektivt, mens renseseffekten er lavere for andre metaller. De uorganiske løsningene er ofte ikke-biologisk nedbrytbare. De jernbaserte løsningene har vist noen positive resultater for fjerning av fosfor og *E. coli*, mens flyveaske har vist seg å være en utmerket sorbent for fosfor og tungmetaller. Zeolitter kan fjerne et stort utvalg av kjemiske forbindelser via absorpsjon, men fordi separasjonsmekanismen er ionebytting, er det fare for utlutning av absorberte forurensninger hvis det også er høy mengde med oppløste salter.

Vogel og Moore [162] gjennomgår litteratur publisert i 2015 om karakterisering, kontroll og behandling av urbant overvann. Artikkelen presenterer en generell gjennomgang av mengde og kvalitet av overvann. Deretter presenteres resultater fra syv forskjellige tiltak, bl.a. rensedammer, våtmark, bioretensjonsløsninger og permeable dekker.

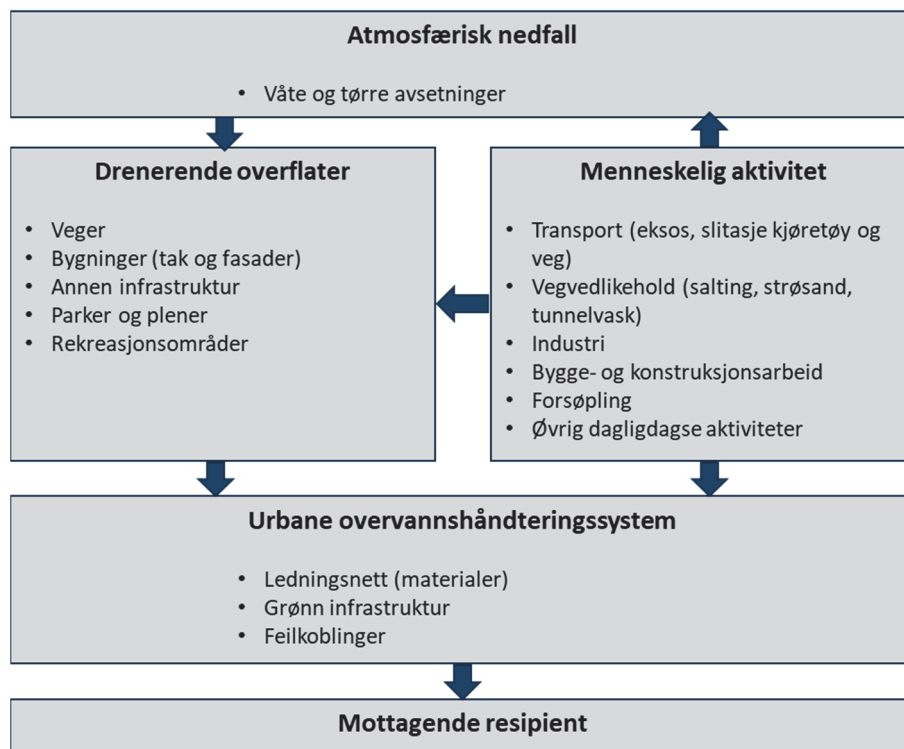
Wang *et al.* [166] ser på mekanismene bak avrenningen av forurensningene fra grønne tak og kildene til disse forurensningene. Forurensningen inkluderer metallelementer og næringsstoffer. Artikkelen diskuterer videre mottiltak for å forbedre kvaliteten på avrenning fra grønne tak med hensyn til de identifiserte forurensningene.

Yang og Lusk [177] fokuserer på næringsstoffer (nitrogen og fosfor) i overvann. Næringsstoffer er ofte tilstede i urbant overvann og kan føre til ubalanse i økosystemet og algevekst. Artikkelen oppsummerer forekomsten, kildene og transportprosessene til nitrogen

og fosfor, og diskuterer videre mulige strategier for forvaltning i urban overvannshåndtering. Faktorer som påvirker næringsnivået diskuteres grundig, det vil si næringsstofftyper, arealbruk, utviklingsmønstre og styringsstrategier. Intern næringscyklusprosess (dvs. mikrobiell transformasjon) diskuteres også. Artikkelen diskuterer også betydningen av rensedammer, bioretensjonsløsninger, permeable dekker, våtmark og grønne tak og ikke-strukturelle strategier (dvs. forebygging av forurensning, offentlig utdanning, regulering og interessentengasjement). Artikkelen inneholder noen tall i teksten.

3.2 Oppsummering forurensninger i overvann

Forurensninger i overvann tilføres overvannet fra en lang rekke forskjellige kilder. Muller *et al.* [17] gir en god oversikt over kilder til forurensning, hvilke forbindelser som typisk vil stamme fra disse kildene, inkludert en omfattende litteraturliste. Det er også laget en figur som viser kilder og antyder transportveg fra ulike kilder til mottagende resipient. Figur 7 er fritt basert på figuren i Muller *et al.*, men er noe forenklet. Kort oppsummert vil all menneskelig aktivitet være potensiell kilde til forurensning og vil kunne havne i overvannet og til slutt i mottagende resipienter (grunnvann, elver, vann og sjø). Den kanskje største enkeltkilden til forurensning er biltrafikk og avrenning fra veg, der både slitasje på kjøretøy og asfaltdekke i tillegg til vintervedlikehold bidrar til forurensning.



Figur 7 Kilder og transportveger av forurensning i overvann. Fritt etter Muller *et al.* [17].

En gjennomgang av mulige kilder til forurensning og hvilke forbindelser som faktisk er identifisert i overvann, viser tydelig at temaet "forurenset overvann" er komplekst og uoversiktlig. Mylderet av kilder og ulike lokale forhold, gir betydelig variasjon både geografisk og temporært. Dette gjør det også vanskelig å si med sikkerhet hvilke forurensninger man kan forvente å finne i overvannet uten å ta lokale prøver av overvannet.

Det store antall forskjellige forbindelser som er funnet i overvann gjør det ofte hensiktsmessig å snakke om ulike kategorier forurensninger. Inndeling av forurensninger kan for eksempel deles inn i konvensjonelle, mikrobielle og spesifikke organiske forbindelser. Konvensjonelle

forbindelser vil kunne inkludere standard vannkvalitetsparametere som totalt suspendert stoff, turbiditet, partikkelstørrelsesfordeling, totalt organisk karbon, næringsstoffer og metaller. Både næringsstoffer og metaller vil for så vidt også være egne (under)kategorier med en rekke ulike forbindelser og elementer. Mikrobielle forbindelser vil inkludere alle patogene organismer, som for eksempel koliforme bakterier. Spesifikke organiske forbindelser er en meget stor og variert kategori som inkluderer alt fra plantevernmidler til kosmetikk. Både i Norge og internasjonalt er det et særlig fokus på vannrammedirektivets² prioriterte forbindelser og nye miljøgifter ("*emerging compounds*").

Gjennomgangen av review-artiklene viser at det er store variasjoner i hvilke forurensinger som finnes i overvannet og i hvilken konsentrasjon de foreligger. Å gi en komplett oversikt over alle verdiene er ikke en del av dette studiet og det kan stilles spørsmål ved hvor nyttig en slik oversikt er. Det vil være hensiktsmessig å ha en viss oversikt over hvilke forbindelser som finnes, i hvilken form og hvordan dette varierer med tid og sted, men for å velge og dimensjonere løsninger for rensing av overvann er det nødvendig med lokale målinger og egen karakterisering. Tabell 3 gir noen eksempler på vannkvalitetsparametere og forbindelser. Det er valgt å sette søkelys på en studie fra Trondheim, supplert med noen studier fra USA for å gi noen eksempler på verdier. Resultatene fra Trondheim viste betydelige sesongvariasjoner [19], noe som er typisk for kaldt klima og vinterdrift av veger (jmf. Seksjon 3.5). Det kan også nevnes at det er gjennomført flere masteroppgaver ved NTNU de siste årene som supplerer studien fra 2019 [190-194].³

En interessant artikkel som ble identifisert i analysearbeidet i etterkant av litteratursøket undersøker effekten av arealbruk [195]. Artikkelen omhandler et tomteutviklingsområde i Sør-Korea og de faktiske konsentrasjonene er ikke nødvendigvis relevante for norske forhold, men illustrerer godt hvordan vannkvaliteten til overvann fra et område endrer seg i takt med tomteutvikling og endringer i arealbruk. I eksempelet i artikkelen er det vist at jordbruk og byområder vil øke gjennomsnittlig konsentrasjon av forurensinger, mens for skog og øvrige grønt områder vil redusere den gjennomsnittlige konsentrasjonen av forurensinger. Videre er dataene brukt til å lage en modell for å forutsi vannkvaliteten til overvann basert på type arealbruk og eventuell endring i arealbruk.

² Forskrift om rammer for vannforvaltningen: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446>

³ Det kan her nevnes at det finnes to internasjonale databaser som samler informasjon om vannkvaliteten til overvann og som kan brukes som utgangspunkt: <https://bmpdatabase.org> og <http://www.stormtac.com>

Tabell 3 Noen eksempler på parametere og forbindelser i overvann.

Hovedkategori	Forbindelse	Konsentrasjon	Referanse	Kommentar
Standard vannkvalitet	TSS [mg/l]	100 - 1000	[19]	Trondheim
	TDS [mg/l]	100 - 9000	[19]	Trondheim
	Turbiditet [NTU]	100 -1000	[19]	Trondheim
	Konduktivitet [μ S/cm]	100 – 10 000	[19]	Trondheim
	pH	5.3 – 8.5	[19]	Trondheim
Næringsstoffer	Totalt nitrogen [mg/l]	0.3- 11	[177]	Variasjon i flere nedbørsfelt i USA
	Totalt fosfor [mg/l]	0.3 – 2.2	[177]	Variasjon i flere nedbørsfelt i USA
Metaller	Ni [μ g/l]	63 - 112	[19]	Trondheim, fraksjon >1.2 μ m
	Ni [μ g/l]	1.8 – 2.4	[19]	Trondheim, løst fraksjon
	Zn [μ g/l]	432 - 601	[19]	Trondheim, fraksjon >1.2 μ m
	Zn [μ g/l]	19.4 – 49.6	[19]	Trondheim, løst fraksjon
	Pd [μ g/l]	21 - 22	[19]	Trondheim, fraksjon >1.2 μ m
	Pd [μ g/l]	0	[19]	Trondheim, løst fraksjon
	Cu [μ g/l]	138 - 227	[19]	Trondheim, fraksjon >1.2 μ m
	Cu [μ g/l]	5.4 – 11.2	[19]	Trondheim, løst fraksjon
Mikrobielle/patogene	E. Coli [log10(antall)]	5.09	[24]	FI, USA (referansen inneholder en lang liste over andre patogener)
Organiske stoffer (noen eksempler)	Atrazin	40	[16]	Plantevern*
	Pentaklorfenol	100	[16]	Plantevern*
	Benzo(a)pyren	240	[16]	PAH*
	Metyl-1H-benzotriazole [ng/l]	806	[16]	Kommersiell – forbruker
	Cotinine [ng/l]	54	[16]	Livsstil
	Lidocaine [ng/l]	4	[16]	Farmasøytisk
	Metolachlor [ng/l]	18	[16]	Plantevern
	Pyrene [ng/l]	5	[16]	PAH
Carbazole [ng/l]	86	[16]	Industri	

* På lista over prioriterte stoffer i Vannrammedirektivet

3.3 Oppsummering renseløsninger

Tradisjonelt er overvannet transportert i ledningsnett. Der overvannet er håndtert sammen med spillvannet i fellessystem, har forurensinger i overvann blitt rensert i sentraliserte rensenanlegg som ofte består av flere rensetrinn. Der overvannet er håndtert i eget separat system er rensingen som regel begrenset til reduksjon av partikler i sandfang før transport og utslipp til resipient. Ved overgang til lokal og åpen håndtering av overvann vil de nye naturbaserte løsningene ha varierende effekt på vannkvaliteten til overvannet avhengig av løsningen, hvilke forurensinger som skal fjernes og i hvilken grad løsningen er dimensjonert etter mengdehåndtering eller kvalitetsforbedring. Felles for de fleste naturbaserte løsningene er at renseseffekten skyldes flere rensmekanismer som finner sted i løsningen. De ulike rensmekanismene vil ha renseseffekt på ulike forurensinger og man kan til en viss grad tilpasse og velge løsninger som adresserer de forurensingene som finnes i det aktuelle overvannet. Tabell 4 viser en oversikt over de vanligste rensmekanismene som kan finne sted ved naturbaserte løsninger. Tabellen er hentet fra Tirpak *et al.* [156] og modifisert noe i norsk oversettelse.

Tabell 4 *Oversikt over ulike rensmekanismer for naturbaserte løsninger, merk at alle mekanismene ikke nødvendigvis gjelder for alle typer løsninger. Fritt etter Tirpak et al. [156].*

Rensmekanisme	Beskrivelse	Betydning	Viktigste egenskaper
Infiltrasjon	Infiltrasjon av overvann til grunnen	Volumreduksjon	Hydraulisk konduktivitet
Sedimentasjon	Gravimetrisk avsetning av partikler	Fjerner partikler, bakterier	Oppholdstid
Filtrering	Hindring/tilbakeholdelse av partikler i mediet	Fjerner kolloider, bakterier	Partikkelstørrelsesfordeling
Sorpsjon	Adsorpsjon/absorpsjon til mediet	Fjerner fosfor, metaller, organiske forbindelser	Adsorpsjon/absorpsjon kapasitet
Utfelling	Felling/kompleksing og sedimentering	Fjerner fosfor, tungmetaller	Overflategrupper
Ionebytting	Bytte av skadelige ioner med ufarlige ioner	Fjerner tungmetaller	Kation/anion ionebytte-kapasitet
Oksidering/redusering	Oksidasjon/reduksjon av forbindelser for lettere å fjerne de med andre mekanismer	Fjerner organiske forbindelser, nitrogen, metaller	Overflategrupper, pH, redoks potensial
Biodegradering	Mikrobiologisk nedbrytning av forbindelser	Fjerner nitrat, organiske forbindelser	Aktiv biomasse, pH
Fytoremediering	Planteopptak	Fjerner organiske forbindelser, tungmetaller	Planteart, plantevekst

Videre gir Tabell 5 en kort beskrivelse av noen utvalgte naturbaserte løsninger og deres fordeler og ulemper.

Tabell 5 Kort beskrivelse av noen naturbaserte løsninger og deres fordeler og ulemper (fritt oversatt fra Jotte et al. [196], basert på Woods et al. [197]).

Løsning	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
Infiltrasjonsløsninger (ulike varianter)	Fellesnevner er infiltrasjon til grunnen enten direkte via overflaten med vegetasjon eller via konstruksjoner under bakken	<ul style="list-style-type: none"> • Kan i noen tilfeller kreve lite areal • Vil i mange tilfeller være enkle løsninger som lett lar seg bygge og drifte • Kostnadseffektive • Vil sørge for etterfylling av grunnvannet • Kan redusere avrenning • Kan fjerne enkelte forurensinger effektivt 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan i andre tilfeller kreve stort areal • Ikke egnet for områder med dårlig infiltrasjonsegenskaper • Infiltrasjonsevnen kan tettes igjen hvis det er mye partikulært materiale (kan løses med forbehandling) • Kan få redusert ytelse i våte perioder
Våtmark	Område med vegetasjon som blir våte/fuktige under regnhendelser	<ul style="list-style-type: none"> • Effektiv rensemetode • God fordrøyning • Fremmer grønt bymiljø med høy aksept • God effekt på biologisk mangfold • Økt verdi på omkringliggende tomter 	<ul style="list-style-type: none"> • Fare for grunnvannsforurensing • Ikke egnet for bratte områder • Fare for utslipp av næringsstoffer • Lite reduksjon av avrenningsvolum • Kan kreve en del vedlikehold
Rensedammer	Rensedamper som har åpent vannspeil, ofte med vegetasjon rundt kantene. Fordrøyer og renser overvann.	<ul style="list-style-type: none"> • Effektiv rensing av en lang rekke forurensninger • Fremmer blågrønt bymiljø med høy aksept • God effekt på biologisk mangfold • Økt verdi på omkringliggende tomter 	<ul style="list-style-type: none"> • Liten reduksjon i avrenningsvolum • Begrenser tilgjengelig areal og/eller bruksområdet til arealet rundt • Kan kreve en del vedlikehold • Kan kreve ekstra sikkerhetstiltak avhengig av lokale forhold
Bioretensjonsløsninger	Grønne løsninger som ofte har en grunn utforming med spesielle jordblandinger og/eller ekstra lag med spesielt egnet materiale for rensing og egnede planter for å øke renseeffekten.	<ul style="list-style-type: none"> • Ofte god renseeffekt • Bidrar positivt til estetisk bymiljø • Trenger ofte mindre areal enn andre løsninger • Bidrar også til redusert avrenning 	<ul style="list-style-type: none"> • Sårbar for tilrenning av for mye sedimenter • Plantevalg • Krever noe vedlikehold • Kan håndtere relativt små nedbørsfelt
Permeable dekker	Kontinuerlige dekker som drenerer vannet fra overflaten enten gjennom selve dekket som er permeabelt eller gjennom fuger mellom enhetene, vanligst i Norge er permeable dekker med belegningsstein der vannet renner i fuger mellom steinene. Både fordrøyning og infiltrasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Kan gi betydelig reduksjon i mengde gjennom infiltrasjon • Reduserer andel tette flater i byområder • Bidrar til rensing av overvannet 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan være sårbar for store mengder sediment

Det er et stort antall artikler som rapporterer renseeffekten av ulike naturbaserte løsninger. Tabell 6 gir en oversikt over hvilke review-artikler som omhandler ulike forurensinger og hvilke løsninger som beskrives. Det er betydelige litteratur som omhandler rensing ved hjelp av bioretensjonsløsninger og til en viss grad våtmark. Det er stor variasjon i rapporterte renseeffekter av de ulike forurensningene med de ulike naturbaserte løsningene. Rensegraden vil være avhengig av en rekke faktorer, der lokale forhold kan ha betydelig effekt.

Tabell 6 *Oversikt over forurensinger og tiltak og hvilke review-artikler som omhandler disse.*

	Standard vannkvalitetsparametere	Mikro-biologiske forurensinger	Nye miljøgifter	Metaller
Overvann	[104]	[24]		
Infiltrasjon / MAR	[25]	[25]		[25]
Våtmark	[138,177]	[138]	[138]	[138]
Rensedammer	[177]			
Bioretensjonsløsninger	[90,156,177]	[128,156]	[90,156]	[46,90,156]
Permeable dekker	[177]			

Tabell 7 viser noen eksempler på rapporterte renseeffekter for et utvalg av forbindelser og løsninger. Tabellen er basert på verdier fra fire kilder (som er angitt i fotnoter til tabellen) og som man ser er det stor variasjon i rapporterte verdier.

Tabell 7 Rensegrad på utvalgte forbindelser og løsninger (referanser gitt i fotnote til tabellen).

Løsning	Rensegrad [%]	TSS	Tot-N	Tot-P	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	oil	PAH16	E. Coli	Enterococcus
Grønne grøfter		30 ¹ 47 ² 23 ³	40 ¹ 11 ² 19 ³	30 ¹ - 39 ² 22 ³	65 ¹ 43 ² 50-75 ⁴	65 ¹ 43-67 ² 76-100 ⁴	44 ² 26-50 ⁴	28 ²	50 ² 0-25 ⁴	80 ¹	60 ¹		
Våtmark		50 ¹ 60 ²	35 ¹ 4-17 ²	50 ¹ 8-28 ²	60 ¹ 43 ² 50-75 ⁴	65 ¹ 62 ² 26-50 ⁴	37 ² 26-50 ⁴		52 ² 26-50 ⁴	90 ¹	70 ¹	86 ²	95 ²
Rensedammer		50 ¹ 75 ²	35 ¹ 26 ²	50 ¹ 51 ²	60 ¹ 49 ² 50-75 ⁴	65 ¹ 57 ² 50-75 ⁴	50 ² 26-50 ⁴	50 ²	67 ² 50-75 ⁴	80 ¹	70 ¹	83 ²	60 ²
Bioretensjonsløsninger		65 ¹ 77 ² 22 ³	19 ¹ 24 ²	65 ¹ -26 ² 20 ³	65 ¹ 45 ² 76-100 ⁴	85 ¹ 80 ² 76-100 ⁴	36 ² 50-75 ⁴	82 ²	84 ² 76-100 ⁴	80 ¹	85 ¹	42 ²	99 ²
Permeable dekker		70 ² 72 ²		41 ² 21 ³	36 ² 26-50 ⁴	67 ² 76-100 ⁴	43 ² 0-25 ⁴	-7 ²	68 ² 76-100 ⁴				
Fordrøyningsbasseng		55 ¹ 66 ²	15 ¹ 18 ²	55 ¹ 26 ²	60 ¹ 47 ²	65 ¹ 66 ²	24 ²	25 ²	51 ²	65 ¹	60 ¹	44 ²	71 ²
Kombinert sedimentasjon- og infiltrasjonsløsning		≥ 80 ¹	≥ 40 ¹	≥ 65 ¹	≥ 65 ¹	≥ 85 ¹				≥80 ¹	≥85 ¹		

1 Stockholm Vatten, Dagvatten (2017) Tilgjengelig fra: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/dagvatten> [2018-01-23]

2 The Water Research Foundation (2020) International Stormwater BMP Database. Tilgjengelig fra bmpdatabase.org

3 [198]

4 [199]

3.4 Kostnader, drift og vedlikehold

Kostnader er omtalt i 23 artikler, men det er få faktiske kostnader som rapporteres, i stedet refereres det til "kost-effektive løsninger". Artiklene fordeler seg på ulike tema som generell overvannshåndtering [22,41,47,75,91,97,123,143,161,174], gjenbruk av overvann [41], bioretensjonsløsninger [28,30,45,64,81,103,147,149], våtmark [132], rensedammer [86] og permeable dekker [178,179]. Noen få artikler omhandler mer direkte kostnader i form av livsløpsanalyser og multivariabel beslutningsstøtte [22,81,174,179].

Drift er omtalt i varierende grad i 28 artikler, der omtrent halvparten omhandler generelle råd, systemløsninger, skalering og lignende [27,36,53,68,91,94,106,117,123, 125,134,144, 153, 174].

Av enkeltløsninger er det kun bioretensjonsløsninger [28,40,41,46,85,92,99,103] og våtmark [26,65,67,112,122,138], som spesifikt nevner drift.

Videre er det 25 artikler som omhandler vedlikehold, men kun 9 av disse omhandler også drift. De 25 artiklene fordeler seg på generelle betraktninger rundt vedlikehold [31,55,86,91, 92,123,153,180], vedlikehold av bioretensjonsløsninger [32,46,50,54,79,90, 99,125,147,152], vedlikehold av våtmark [26,78,113,132,138] og vedlikehold av permeable dekker [34,69].

I etterarbeidet etter at litteratursøket var utført ble det identifisert en artikkel som ble publisert etter at søket var utført og som har samlet en god del kostnadselementer for ulike løsninger [200]. Artikkelen har sett på overvannsløsninger generelt og inkluderer løsninger for å håndtere både mengde og kvalitet. Tabell 8 lister opp variasjonsområdet til både installasjonskostnader og vedlikeholdskostnader. Som tabellen viser, er det stor variasjon i kostnadene både for ulike varianter av samme løsning og mellom ulike løsninger.

Tabell 8 *Installasjonskostnader og vedlikeholdskostnader for ulike naturbaserte løsninger. Estimaterne er hentet fra [200] og er ikke justert for et norsk marked.*

	Installasjonskostnader [NOK/m ²]	Vedlikeholdskostnader [NOK/m ²]
Grønne grøfter	86-643	6-11
Bioretensjonsløsninger	214-900	37-54
Permeable dekker	208-1344	8-22
Grønne tak	663-1445	2-232
Fordrøyningsmagasin	653-7123	20-178

3.5 Kaldt klima

Åtte artikler omhandler kaldt klima, der tre artikkel har fokus på karakterisering av forurensing i overvann [19,74,90], tre artikler har fokus på bruk av bioretensjonsløsninger [9,52,81], en artikkel har fokus på bruk av våtmark [154] og en artikkel har fokus på permeable dekker [172]. Siden kaldt klima er et hovedpoeng med studien gjengis en kort beskrivelse av hver av disse artiklene under, unntatt Kratky *et al.* [90] som er beskrevet i Seksjon 3.3.1 og Winston *et al.* [172] som er beskrevet i Seksjon 3.6.

Monrabal-Martinez *et al.* [19] har studert urban avrenning av overvann i kaldt klima og har fokusert på metallfraksjonering og partikkelstørrelsesfordeling. Både sesongvariasjoner og romlige variasjoner ble funnet for alle undersøkte parametere. Suspendert og oppløst faste stoffer viste henholdsvis opptil 10 ganger og 44 ganger økning i løpet av kalde perioder med bruk av salt (lufttemperatur <0 ° C). Metaller var nesten utelukkende knyttet til suspendert

fraksjon ($> 1,2 \mu\text{m}$), som økte i løpet av perioder med bruk av vegsalting ($> 97\%$). Bruk av pigghjul og strøing (sand og NaCl) er de mest sannsynlige årsakene til sesongvariasjoner, snarere enn bidrag fra lokal snølagring.

Ding *et al.* [52] har studert bioretensjonsløsninger og effekten av kaldt klima på infiltrasjon og renseeffekten av næringsstoffer. Ved å benytte laboratoriekolonnieksperimenter ble ulike jordmaterialer testet under både fryse-tine sykluser og ved romtemperatur ble effekten av kaldt klima undersøkt. Bioretensjonsytelsen til jordkjernene gjennomgikk seks påfølgende fryse-tine sykluser (FTC, fra -10 til $+10$ °C). Ved starten av hver FTC ble den eksperimentelle kolonnen som gjennomgikk FTC-ene og en kontrollkolonne som ble holdt ved romtemperatur, tilført en løsning inneholdende 25 mg/L bromid, nitrat og fosfat. Vannmettede forhold ble etablert for å etterligne tilstedeværelsen av en intern vannlagringssone for å støtte fjerning av anaerob nitrat. På slutten av hver FTC fikk poreløsningen renne fra kolonnene. Resultatene indikerer at FTC forbedret infiltrasjonseffektiviteten til jorda, der for hver påfølgende syklus økte infiltrasjonshastigheten. Frysing og tining økte også den mettede hydrauliske ledningsevnen. Ved hjelp av røntgentomografi ble det slått fast at økt infiltrasjonshastighet skyldes makroporedannelse. Videre ble det observert at både vandig nitrat og fosfat tilført kolonnene ble nesten fullstendig fjernet fra løsningen. Tilstrekkelig lange oppholdstider og tilstedeværelsen vannlagringssonen fremmer fjerning av anaerob nitrat til tross for de lave temperaturene. Oppløst fosfat ble effektivt fanget på alle dybder i jordkolonnene ($> 98\%$). Artikkelen konkluderer med at riktig utformet bioretensjonsløsninger kan bidra til høye infiltrasjonshastigheter og dempe utslipp av næringssalter i kaldt klima.

Hilliges *et al.* [74] har studert avrenning fra en veg i Augsburg, Tyskland, over en periode på 3,5 år. En sterk sesongvariasjon er observert, med økte tungmetallkonsentrasjoner med doblet og tredoblet mediankonsentrasjoner av tungmetaller i den kalde årstiden. Det ble også slått fast at økt forurensningskonsentrasjon ikke skuldes kun avisingssalt, men må også skyldes andre faktorer. Videre ble det slått fast at i den kalde perioden er andelen av oppløste metaller lavere sammenlignet med den varme årstiden og det ble funnet at de høyeste metallkonsentrasjonene korrelerer med finere partikler ($< 63 \mu\text{m}$). Derfor kan det diskuteres om behandlingsinnretninger som bare implementerer sedimenteringsprosesser gir tilstrekkelige rensing.

Ilyas and Muthanna [81] har studert valg og oppskalering av adsorbenter for overvannsrensing i kaldt klima, der ikke bare tekniske renseegenskaper legges til grunn, men også ikke-tekniske egenskaper som kostnader og miljøpåvirkning. Først ble det benyttet eksperimentelle forsøk for å verifisere rapporterte renseeffekter av forurensende stoffer, i tillegg til å teste miljøstabilitet under kaldt klima av de alternative adsorbentene. Deretter ble viktige faktorer for valg av adsorbent og oppskalering identifisert ved hjelp av multivariat dataanalyse. Resultatene indikerte at adsorbenter som furubark, olivin og trekull var de beste tilgjengelige alternativene for oppskalering. Den statistiske analysen viste også at faktorer som startkostnader, hydraulisk belastning og levetidskostnader var viktige for oppskalering og derfor eksplisitt bør inkluderes i enhver fremtidig evaluering av de alternative adsorbentene.

Monrabal-Martinez *et al.* [9] har undersøkt levetiden til ulike filtre bestående av sand og ulike alternative adsorbenter for å rense vegvann, med særlig fokus på å møte norske krav i forhold til utslipp av vegvann til naturlige resipienter. Studien undersøkte effekten av høy hydraulisk belastning og effekten av vegsalt. Testene ble utført med granulert aktivt trekull, furubark og granulert olivin og rensegraden av metallene Cu, Pb, Ni og Zn ble målt. Resultatene viste lovende rensegrader selv med høy hydraulisk belastning av filtrene, mens tilsats av NaCl (1 g/L) viste ingen negativ innvirkning på desorpsjonen av allerede adsorberte metaller, bortsett fra fjerning av Ni med det kullbaserte filteret. Levetiden til filtrene ble funnet å være begrenset av sink og kobber som var tilstede i høye konsentrasjoner i det lokale overvannet.

Tharp *et al.* [154] har studert flytende våtmark og hvordan effekten av ulike plantearter egner seg for å øke renseseffekten til sedimentasjonsdammer i kaldt klima. Artene ble evaluert for egnethet i kaldt klima basert på overlevelse, biomasseutvikling, fosforopptak (P) og lagring i skudd og rotarkitektoniske trekk. For detaljer henvises det til artikkelen.

4 Konklusjon

Denne rapporten oppsummerer en litteraturstudie om forurenset overvann. Følgende konklusjoner kan trekkes:

1. Det eksisterer betydelig vitenskapelig litteratur som omhandler forurensinger i overvann og nye åpne og lokale rensemetoder. Ved å studere litteratur publisert etter 2015 er det identifisert 171 relevante artikler.
2. Det er stor variasjon i både hvilke forurensinger som er funnet i overvann og i hvilken konsentrasjon forurensingene er funnet. Det gjør det vanskelig å gi allment gyldig verdier. Det bør brukes litteraturverdier som gjenspeiler klima og egenskaper knyttet til landbruk, industri og øvrig menneskelig aktivitet. Dersom det er viktig å vite nøyaktige forurensinger og deres konsentrasjon, er det aller beste å bruke egne lokale målinger.
 - a. Det foreligger en del nyere litteratur på karakterisering av overvann som er utført i Norge, som kan brukes som utgangspunkt, jmf. punkt 5.
3. Mange ulike naturbaserte løsninger, som infiltrasjon/MAR, våtmark, rense-dammer, bioretensjonsløsninger og permeable dekker er undersøkt med hensyn på renseseffekt på ulike forurensinger. Det er stor variasjon i rapporterte renseseffekter til disse løsningene, som i de fleste tilfeller vil være bestemt av lokale forhold.
4. Kostnader, drift og vedlikehold er omtalt i en rekke artikler, der flere artikler omhandler anbefalinger på mer overordnet systemnivå. Det er verdt å merke seg at kun et fåtall artikler faktisk adresserer kostnader, de aller fleste omtaler løsningene generisk som "kostnadseffektive" uten å gi ytterligere forklaring.
5. Kaldt klima er også spesifikt nevnt og omhandlet i flere artikler og av flere miljøer, der et av de fremste miljøene virker å være miljøet rundt prof. Tone Muthanna, NTNU. I tillegg har noen miljøer i USA og Canada betydelig fokus på kaldt klima.

Følgende forskningsbehov er identifisert i forhold til kaldt klima (det vil si norske forhold) og gjelder for alle typer naturbaserte løsninger:

1. Mer uttesting av ulike løsnings renskapasitet i storskala eller feltstudier.
2. Flere langtidsstudier under reelle forhold, inkludert temperatureffekter, effekten av fryse/tine sykluser og effekt av snø.
3. Kvantifisere effekten av ulike type vegetasjon, inkludert langtidsstudier og effekt av vinterforhold.
4. Utrede mer detaljerte kost-nytte vurderinger og faktiske kostnader.

Referanser

1. Sivertsen, E.; Bruaset, S.; Kvitsand, H.; Azrague, K. *Overvann fra veg. Praksis, status og problemstillinger for vegeier*; SINTEF Report 2020:00692, Trondheim, 2020.
2. Monrabal-Martinez, C.; Aberle, J.; Muthanna, T.M.; Orts-Zamorano, M. Hydrological benefits of filtering swales for metal removal. *Water Research* **2018**, *145*, 509-517.
3. Åstebøl, S.O.; Kjølholt, J.; Hvitved, T.; Jacobsen, G.B.; Saunes, H. *Beregning av forurensninger fra overvann*; COWI-rapport på oppdrag fra Klima og forurensningsdirektoratet, 2012.
4. Lindholm, O. Forurensningstilførsler fra veg og betydningen av å tømme sandfang. *VANN* **2015**, *7*.
5. Miljødirektoratet. Brev fra miljødirektoratet til fylkesmannen datert 6. Mai 2014, angående fylkesmannens myndighet for håndtering av overvann etter forurensningsloven. **2014**.
6. NOU2015:16. Overvann i byer og tettsteder - som problem og ressurs. 2015.
7. Magnussen, R.A.G. *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*; 1/12/2015, 2015.
8. Lindholm, O. *Miljøgifter i overvann fra tette flater - litteraturstudie*; NIVA-rapport lnr 4775-2004, Oslo, 2004.
9. Monrabal-Martinez C., I.A., Muthanna T.M. Pilot scale testing of adsorbent amended filters under high hydraulic loads for highway runoff in cold climates. *Water (Switzerland)* **2017**, *9*.
10. Rogstad, A.B.; Ilyas, A.; Lohne, J.; Muthanna, M.T. Treatment of stormwater using the large particle size fraction of incineration bottom ash. *VANN* **2018**, *53*, 9.
11. Muthanna, T.M.; Viklander, M.; Blecken, G.; Thorolfsson, S.T. Snowmelt pollutant removal in bioretention areas. *Water Research* **2007**, *41*, 4061-4072.
12. Muthanna, T.M.; Viklander, M.; Gjesdahl, N.; Thorolfsson, S.T. Heavy metal removal in cold climate bioretention. *Water, Air, and Soil Pollution* **2007**, *183*, 391-402.
13. Fernandes, J.N.; Barbosa, A.E. *Literature review on road runoff pollution on europe*; Conference of European Directors of Roads (CEDR)-rapport, 2019.
14. Booth, A.; Sutton, A.; Papaioannou, D. *Systematic approaches to a successful literature review*. SAGE Publications: 2016.
15. Petticrew, M.; Roberts, H. *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. Wiley: 2008.
16. Fairbairn, D.J.; Elliott, S.M.; Kiesling, R.L.; Schoenfuss, H.L.; Ferrey, M.L.; Westerhoff, B.M. Contaminants of emerging concern in urban stormwater: Spatiotemporal patterns and removal by iron-enhanced sand filters (iesfs). *Water Research* **2018**, *145*, 332-345.
17. Müller, A.; Österlund, H.; Marsalek, J.; Viklander, M. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of The Total Environment* **2020**, *709*, 136125.
18. Statens Vegvesen. *Sustainable design and maintenance of stormwater treatment facilities*; Statens vegvesens rapporter nr. 166: 2018.
19. Monrabal-Martinez C., M.T., Muthanna T.M. Characterization and temporal variation of urban runoff in a cold climate - design implications for suds. *Urban Water Journal* **2019**, *16*.
20. Haddaway, N.R.; Feierman, A.; Grainger, M.J.; Gray, C.T.; Tanriver-Ayder, E.; Dhaubanjari, S.; Westgate, M.J. Eviatlas: A tool for visualising evidence synthesis databases. *Environmental Evidence* **2019**, *8*, 22.

21. Abbar B., A.A., Pantet A., Marcotte S., Ahfir N.-D., Duriatti D. Experimental investigation on removal of suspended particles from water using flax fibre geotextiles. *Environmental Technology (United Kingdom)* **2017**, 38.
22. Aguilar M.F., D.R.L. Cost-effectiveness calculations using alternate metrics of stormwater control measure pollutant removal performance. *"World Environmental and Water Resources Congress 2017: Water, Wastewater, and Stormwater; Urban Watershed Management; and Municipal Water Infrastructure - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2017"* **2017**.
23. Aguilar M.F., D.R.L. Evaluation of stormwater control measure performance uncertainty. *Journal of Environmental Engineering (United States)* **2019**, 145.
24. Ahmed W., H.K., Toze S., Cook S., Page D. A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health risks and mitigation strategies. *Science of the Total Environment* **2019**, 692.
25. Alam S., B.A., Ravi S., Gebremichael M., Mohanty S.K. Managed aquifer recharge implementation criteria to achieve water sustainability. *Science of the Total Environment* **2021**, 768.
26. Al-Rubaei A.M., E.M., Viklander M., Blecken G.-T. Long-term hydraulic and treatment performance of a 19-year old constructed stormwater wetland—finally matured or in need of maintenance? *Ecological Engineering* **2016**, 95.
27. Altobelli M., C.S.S., Maglionico M. Combined application of real-time control and green technologies to urban drainage systems. *Water (Switzerland)* **2020**, 12.
28. Ashoori N., T.M., Spahr S., LeFevre G.H., Sedlak D.L., Luthy R.G. Evaluation of pilot-scale biochar-amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban stormwater runoff. *Water Research* **2019**, 154.
29. Auger S., V.S.T., Singh A., Antoszek J. Water quality target assessment using lid ttt for better swm designs in ontario. *International Low Impact Development Conference 2018: Getting in Tune with Green Infrastructure - Proceedings of the International Low Impact Development Conference 2018* **2018**.
30. Barron N.J., D.A., Jung J., Fowdar H., Chen Y., Hatt B.E. Dual-mode stormwater-greywater biofilters: The impact of alternating water sources on treatment performance. *Water Research* **2019**, 159.
31. Biondi S., A.J.F., Sambo F., Lenhart J., Wre D. Real time management of highway runoff for water quality spill control, flow monitoring and maintenance requirements. *Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference 2017, WEFTEC 2017* **2017**, 6.
32. Bolong N., S.I., Makinda J., Yaser A.Z., Abdullah M.H., Ismail A.F. Influence of oil palm empty fruit bunch (opefb) agro-waste properties as filtration medium to improve urban stormwater. *Jurnal Teknologi* **2016**, 78.
33. Boogaard F.C., v.d.V.F., Langeveld J.G., Kluck J., van de Giesen N. Removal efficiency of storm water treatment techniques: Standardized full scale laboratory testing. *Urban Water Journal* **2017**, 14.
34. Braswell A.S., A.A.R., Hunt W.F., III. Hydrologic and water quality evaluation of a permeable pavement and biofiltration device in series. *Water (Switzerland)* **2018**, 10.
35. Budd R., W.D., Ensminger M., Phillips B. An evaluation of temporal and spatial trends of pyrethroid concentrations in california surface waters. *Science of the Total Environment* **2020**, 718.
36. Buer N.H., S.W.R. Evaluation of stormwater treatment vault with coanda-effect screen for removal of solids and phosphorus in urban runoff. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* **2020**, 6.
37. Castillo-Valenzuela J., M.-G.E., Gude V.G. Wetlands for wastewater treatment. *Water Environment Research* **2017**, 89.
38. Chandrasena G.I., D.A., McCarthy D.T. Biofiltration for stormwater harvesting: Comparison of campylobacter spp. And escherichia coli removal under normal and challenging operational conditions. *Journal of Hydrology* **2016**, 537.

39. Chandrasena G.I., S.M., Li Y.L., Deletic A., Hathaway J.M., McCarthy D.T. Retention and survival of e. Coli in stormwater biofilters: Role of vegetation, rhizosphere microorganisms and antimicrobial filter media. *Ecological Engineering* **2017**, 102.
40. Chang N.-B., H.C., Lin K.-S., Wanielista M. Fate and transport with material response characterization of green sorption media for copper removal via desorption process. *Chemosphere* **2016**, 154.
41. Chapa F., P.M., Hack J. Experimenting transition to sustainable urban drainage systems—identifying constraints and unintended processes in a tropical highly urbanized watershed. *Water (Switzerland)* **2020**, 12.
42. Charters F.J., C.T.A., O'Sullivan A.D. The influence of urban surface type and characteristics on runoff water quality. *Science of the Total Environment* **2021**, 755.
43. Chiandet A.S., X.M.A. Landscape and morphometric controls on water quality in stormwater management ponds. *Urban Ecosystems* **2016**, 19.
44. Chin D.A., J.A. Optimal sizing of exfiltration trenches. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **2017**, 143.
45. Choi J., M.-R.M.C., Hong J., Kim L.-H. Selection of cost-effective green stormwater infrastructure (gsi) applicable in highly impervious urban catchments. *KSCE Journal of Civil Engineering* **2018**, 22.
46. Chu Y., Y.L., Wang X., Wang X., Zhou Y. Research on distribution characteristics, influencing factors, and maintenance effects of heavy metal accumulation in bioretention systems: Critical review. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* **2021**, 7.
47. Cizek A.R., C.T., Bristoll-Groll C. Design and monitoring recommendations for mmsd bacteria reduction pilot. *WEFTEC 2019 - 92nd Annual Water Environment Federation's Technical Exhibition and Conference* **2019**.
48. Costello D.M., H.E.W., Stoll J.T., Jefferson A.J. Bioretention cell age and construction style influence stormwater pollutant dynamics. *Science of the Total Environment* **2020**, 712.
49. de Macedo M.B., d.L.C.A.F., Mendiondo E.M. Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security in a subtropical catchment. *Science of the Total Environment* **2019**, 647.
50. de Santiago-Martín A., M.A., Guesdon G., Constantin B., Despréaux M., Galvez-Cloutier R. Potential of anthracite, dolomite, limestone and pozzolan as reactive media for de-icing salt removal from road runoff. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2016**, 13.
51. Dierberg F.E., D.T.A., Kharbanda M.D., Potts J.A., Grace K.A., Jerauld M.J., Ivanoff D.B. Long-term sustainable phosphorus (p) retention in a low-p stormwater wetland for everglades restoration. *Science of the Total Environment* **2021**, 756.
52. Ding B., R.F., Gharedaghloo B., Van Cappellen P., Passeport E. Bioretention cells under cold climate conditions: Effects of freezing and thawing on water infiltration, soil structure, and nutrient removal. *Science of the Total Environment* **2019**, 649.
53. Du X., X.J., Mo Z., Luo Y., Su J., Nie J., Wang Z., Liu L., Liang H. The performance of gravity-driven membrane (gdm) filtration for roofing rainwater reuse: Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification. *Science of the Total Environment* **2019**, 697.
54. Ekka S.A., R.H., Leonhardt G., Blecken G.-T., Viklander M., Hunt W.F. Next generation swale design for stormwater runoff treatment: A comprehensive approach. *Journal of Environmental Management* **2021**, 279.
55. Erickson A.J., T.V.J., Gulliver J.S. The challenge of maintaining stormwater control measures: A synthesis of recent research and practitioner experience. *Sustainability (Switzerland)* **2018**, 10.
56. Fan G., N.R., Huang K., Wang S., You Y., Du B., Yan Z. Hydrologic characteristics and nitrogen removal performance by different formulated soil medium of bioretention system. *Journal of Cleaner Production* **2021**, 290.

57. Fardel A., P.P.-E., Béchet B., Lakel A., Rodriguez F. Analysis of swale factors implicated in pollutant removal efficiency using a swale database. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, 26.
58. Fardel A., P.P.-E., Béchet B., Lakel A., Rodriguez F. Performance of two contrasting pilot swale designs for treating zinc, polycyclic aromatic hydrocarbons and glyphosate from stormwater runoff. *Science of the Total Environment* **2020**, 743.
59. Flanagan K., B.P., Ramier D., Gromaire M.-C. Evaluation of the relative roles of a vegetative filter strip and a biofiltration swale in a treatment train for road runoff. *Water Science and Technology* **2017**, 75.
60. Flanagan K., B.P., Boudahmane L., Caupos E., Demare D., Deshayes S., Dubois P., Meffray L., Partibane C., Saad M., Gromaire M.-C. Retention and transport processes of particulate and dissolved micropollutants in stormwater biofilters treating road runoff. *Science of the Total Environment* **2019**, 656.
61. Flanagan K., B.P., Boudahmane L., Caupos E., Demare D., Deshayes S., Dubois P., Kajeiou M., Meffray L., Partibane C., Saad M., Lima M.V.A., Gromaire M.-C. Stochastic method for evaluating removal, fate and associated uncertainties of micropollutants in a stormwater biofilter at an annual scale. *Water (Switzerland)* **2019**, 11.
62. Fowdar H.S., H.B.E., Cresswell T., Harrison J.J., Cook P.L.M., Deletic A. Phosphorus fate and dynamics in greywater biofiltration systems. *Environmental Science and Technology* **2017**, 51.
63. Fraga I., C.F.J., O'Sullivan A.D., Cochrane T.A. A novel modelling framework to prioritize estimation of non-point source pollution parameters for quantifying pollutant origin and discharge in urban catchments. *Journal of Environmental Management* **2016**, 167.
64. Fronczyk J., M.-L.K. Treatment efficiency of synthetic urban runoff by low-cost mineral materials under various flow conditions and in the presence of salt: Possibilities and limitations. *Science of the Total Environment* **2021**, 770.
65. García J., S.A., Zhang L., Marois D., Mitsch W.J. Constructed wetlands to solve agricultural drainage pollution in south florida: Development of an advanced simulation tool for design optimization. *Journal of Cleaner Production* **2020**, 258.
66. Genç-Fuhrman H., M.P.S., Ledin A. Simultaneous removal of as, cd, cr, cu, ni and zn from stormwater using high-efficiency industrial sorbents: Effect of ph, contact time and humic acid. *Science of the Total Environment* **2016**, 566-567.
67. Ghimire U., N.H., Martinez-Guerra E., Gude V.G. Wetlands for wastewater treatment. *Water Environment Research* **2019**, 91.
68. Glover C.M., V.E.M., Trenholm R.A., Dickenson E.R.V. N-nitrosomorpholine in potable reuse. *Water Research* **2019**, 148.
69. Gnecco I., P.A., Sansalone J.J. Partitioning of zinc, copper and lead in urban drainage from paved source area catchments. *Journal of Hydrology* **2019**, 578.
70. Goh H.W., L.K.S., Azizan N.A., Chang C.K., Talei A., Leow C.S., Zakaria N.A. A review of bioretention components and nutrient removal under different climates—future directions for tropics. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, 26.
71. Guesdon G., S.-M.A., Raymond S., Messaoud H., Michaux A., Roy S., Galvez R. Impacts of salinity on saint-augustin lake, canada: Remediation measures at watershed scale. *Water (Switzerland)* **2016**, 8.
72. Hamedani A.S., B.A., Cerda C., Manjarres A., Hall A., Shipley H., Giacomoni M. Assessing the performance of bioretention and sand filter media using columns and synthetic stormwater. "World Environmental and Water Resources Congress 2019: Water, Wastewater, and Stormwater; Urban Water Resources; and Municipal Water Infrastructure - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2019" **2019**.
73. Haris H., C.M.F., Usman F., Sidek L.M., Roseli Z.A., Norlida M.D. Urban stormwater management model and tools for designing stormwater management of

- green infrastructure practices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2016**, 32.
74. Hilliges R., E.M., Tiffert A., Brenner E., Marks T. Characterization of road runoff with regard to seasonal variations, particle size distribution and the correlation of fine particles and pollutants. *Water Science and Technology* **2017**, 75.
 75. Hodgson B., D.T., Sharvelle S., Arabi M. Assessing cost-effective nutrient removal solutions in the urban water system. *Journal of Environmental Quality* **2020**, 49.
 76. Hong J., M.-R.M.C., Choi J., Kim L.-H. Assessment of bioretention pilot-scale systems for urban stormwater management. *Desalination and Water Treatment* **2017**, 63.
 77. Huang J., V.C., He J., Chu A. The influence of design parameters on stormwater pollutant removal in permeable pavements. *Water, Air, and Soil Pollution* **2016**, 227.
 78. Huang X., R.M.A., Mehring A.S., Winfrey B.K., Jiang S.C., Grant S.B. Shifts in dissolved organic matter and microbial community composition are associated with enhanced removal of fecal pollutants in urban stormwater wetlands. *Water Research* **2018**, 137.
 79. Huber M., H.H., Badenberg S.C., Fassnacht J., Drewes J.E., Helmreich B. Heavy metal removal mechanisms of sorptive filter materials for road runoff treatment and remobilization under de-icing salt applications. *Water Research* **2016**, 102.
 80. Hunt W.F., F.-B.E.A., Ekka S.A., Shaneyfelt K.C., Deletic A. Designing dry swales for stormwater quality improvement using the aberdeen equation. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* **2020**, 6.
 81. Ilyas A., M.T.M. Assessment of upscaling potential of alternative adsorbent materials for highway stormwater treatment in cold climates. *Environmental Technology (United Kingdom)* **2017**, 38.
 82. Ivanovsky A., B.A., Criquet J., Dumoulin D., Noble P., Alary C., Billon G. Assessment of the treatment efficiency of an urban stormwater pond and its impact on the natural downstream watercourse. *Journal of Environmental Management* **2018**, 226.
 83. Jayarathne A., E.P., Ayoko G.A., Goonetilleke A. Role of residence time on the transformation of zn, cu, pb and cd attached to road dust in different land uses. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2018**, 153.
 84. Jiang C., L.J., Zhang B., Li H. Phosphorus removal of retrofit bioretention systems on urban surface runoff. *Desalination and Water Treatment* **2018**, 126.
 85. Jiang C., L.J., Li H., Li Y. Remediation and accumulation characteristics of dissolved pollutants for stormwater in improved bioretention basins. *Science of the Total Environment* **2019**, 685.
 86. Joksimovic D., S.S.Y. A study of factors influencing the sediment accumulation rates in stormwater management ponds. *23rd Canadian Hydrotechnical Conference, Held as part of the Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference and General Meeting 2017* **2017**.
 87. Jurczak T., W.I., Kaczkowski Z., Szklarek S., Zalewski M. Hybrid system for the purification of street stormwater runoff supplying urban recreation reservoirs. *Ecological Engineering* **2018**, 110.
 88. Karnatz C., T.J.R., Logsdon S. Capture of stormwater runoff and pollutants by three types of urban best management practices. *Journal of Soil and Water Conservation* **2019**, 74.
 89. Kavehei E., S.F.B., Jenkins G.A., Lemckert C., Adame M.F. Soil nitrogen accumulation, denitrification potential, and carbon source tracing in bioretention basins. *Water Research* **2021**, 188.
 90. Kratky H., L.Z., Chen Y., Wang C., Li X., Yu T. A critical literature review of bioretention research for stormwater management in cold climate and future research recommendations. *Frontiers of Environmental Science and Engineering* **2017**, 11.
 91. Lenth J., W.P., Gunther D. Evaluating maintenance requirements and performance of emerging stormwater control measures at dedicated testing center. *Water*

- Environment Federation Technical Exhibition and Conference 2017, WEFTEC 2017* **2017**, 3.
92. Li H., S.J. Multi-scale physical model simulation of particle filtration using computational fluid dynamics. *Journal of Environmental Management* **2020**, 271.
 93. Li J., D.A.P. A unified look at phosphorus treatment using bioretention. *Water Research* **2016**, 90.
 94. Li Q., G.F., Guan Y. A gis-based evaluation of environmental sensitivity for an urban expressway in shenzhen, china. *Engineering* **2018**, 4.
 95. Li Y., M.D.T., Deletic A. Escherichia coli removal in copper-zeolite-integrated stormwater biofilters: Effect of vegetation, operational time, intermittent drying weather. *Ecological Engineering* **2016**, 90.
 96. Lin K.-S., C.N.-B., Hartshorn N., Wanielista M.P., Chiang C.-L. An innovative solar energy-powered floating media bed reactor for nutrient removal (ii): Material characterization. *Journal of Cleaner Production* **2016**, 133.
 97. Liu A., D.G.O., Mummullage S., Ayoko G.A., Goonetilleke A. Hierarchy of factors which influence polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) distribution in river sediments. *Environmental Pollution* **2017**, 223.
 98. Liu A., M.S., Ma Y., Egodawatta P., Ayoko G.A., Goonetilleke A. Linking source characterisation and human health risk assessment of metals to rainfall characteristics. *Environmental Pollution* **2018**, 238.
 99. Liu C., L.J., Liu J., Mehmood T., Chen W. Effects of lead (pb) in stormwater runoff on the microbial characteristics and organics removal in bioretention systems. *Chemosphere* **2020**, 253.
 100. Liu L., P.M.A., Whitman J.B. Evaluation of lamella settlers for treating suspended sediment. *Water (Switzerland)* **2020**, 12.
 101. Lopez E.V., L.T.J., Peterson M., Ergas S.J., Trotz M.A., Mihelcic J.R. Enhanced nutrient management of stormwater through a field demonstration of nitrogen removal in a modified bioretention system. *World Environmental And Water Resources Congress 2016: Environmental, Sustainability, Groundwater, Hydraulic Fracturing, and Water Distribution Systems Analysis - Papers from Sessions of the Proceedings of the 2016 World Environmental and Water Resources Congress* **2016**.
 102. López J.J., E.J., San Martín I., Delgado O. Dynamic testing in columns for soil heavy metal removal for a car park suds. *Science of the Total Environment* **2020**, 738.
 103. Lucas S.A., L.C.C.C., Love E. Characterising recycled organic and mineral materials for use as filter media in biofiltration systems. *Water (Switzerland)* **2019**, 11.
 104. Lucke T., D.D., Hornbuckle A. Urban stormwater characterisation and nitrogen composition from lot-scale catchments — new management implications. *Science of the Total Environment* **2018**, 619-620.
 105. Lucke T., W.C., Beecham S. Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. *Science of the Total Environment* **2019**, 660.
 106. Luthy R.G., S.S., Dillon P. Urban stormwater to enhance water supply. *Environmental Science and Technology* **2019**, 53.
 107. Lynn T.J., N.M.H., Ergas S.J. Swmm-5 nitrate removal model for denitrifying stormwater biofilters. *World Environmental And Water Resources Congress 2016: Water, Wastewater, and Stormwater and Urban Watershed Symposium - Papers from Sessions of the Proceedings of the 2016 World Environmental and Water Resources Congress* **2016**.
 108. Macek C.L., H.R.L., Baxter C.V. Dry wetlands: Nutrient dynamics in ephemeral constructed stormwater wetlands. *Environmental Management* **2020**, 65.
 109. Manka B.N., H.J.M., Tirpak R.A., He Q., Hunt W.F. Driving forces of effluent nutrient variability in field scale bioretention. *Ecological Engineering* **2016**, 94.

110. Martama E., S.N. Impacts of zeolite activation temperature and grain size toward bioretention system efficiency in removing pb and zn pollutant in stormwater runoff. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2021**, 623.
111. Martín M., H.-C.C., Andrés-Doménech I., Benedito-Durá V. Fifty years of eutrophication in the albufera lake (valencia, spain): Causes, evolution and remediation strategies. *Ecological Engineering* **2020**, 155.
112. Martinez-Guerra E., G.U., Nandimandalam H., Norris A., Gude V.G. Wetlands for environmental protection. *Water Environment Research* **2020**, 92.
113. McAndrew B., A.C., Spooner J. Nitrogen and sediment capture of a floating treatment wetland on an urban stormwater retention pond-the case of the rain project. *Sustainability (Switzerland)* **2016**, 8.
114. McFarland A.R., L.L., Yeshitela K., Engida A.N., Love N.G. Guide for using green infrastructure in urban environments for stormwater management. *Environmental Science: Water Research and Technology* **2019**, 5.
115. McIntyre J.K., E.R.C., Redig M.G., Mudrock E.M., Davis J.W., Incardona J.P., Stark J.D., Scholz N.L. Confirmation of stormwater bioretention treatment effectiveness using molecular indicators of cardiovascular toxicity in developing fish. *Environmental Science and Technology* **2016**, 50.
116. Meng Z., C.G., Henry R., Deletic A., Kolotelo P., McCarthy D. Stormwater constructed wetlands: A source or a sink of campylobacter spp. *Water Research* **2018**, 131.
117. Monteiro C.M., C.C.S.C., Pimentel-Rodrigues C., Silva-Afonso A., Castro P.M.L. Contributions to the design of rainwater harvesting systems in buildings with green roofs in a mediterranean climate. *Water Science and Technology* **2016**, 73.
118. Nabi M.M., W.J., Baalousha M. Episodic surges in titanium dioxide engineered particle concentrations in surface waters following rainfall events. *Chemosphere* **2021**, 263.
119. Nayeb Yazdi M., S.D., Sample D.J., Wang X. Efficacy of a retention pond in treating stormwater nutrients and sediment. *Journal of Cleaner Production* **2021**, 290.
120. Nejad S.S., B.K., Abedi-Koupai J., Mostafazadeh-Fard S. Treatment of urban storm water using adsorbent porous concrete. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management* **2018**, 171.
121. Nichols P., L.T. Field evaluation of the nutrient removal performance of a gross pollutant trap (gpt) in australia. *Sustainability (Switzerland)* **2016**, 8.
122. Overall R.A., G.M.R., Pollino C.A., Hart B.T. A risk-based approach to the improved understanding and management of denitrification in urban stormwater treatment wetlands. *18th World IMACS Congress and MODSIM 2009 - International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, Proceedings* **2020**.
123. P., B. Revisiting two robust techniques for contaminant removal from road runoff. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* **2019**, 63.
124. Paudel R., J.J.W. Spatially distributed hydrodynamic modeling of phosphorus transport and transformation in a cell-network treatment wetland. *Journal of Hydrologic Engineering* **2017**, 22.
125. Payne E.G., M.D.T., Deletic A., Zhang K. Biotreatment technologies for stormwater harvesting: Critical perspectives. *Current Opinion in Biotechnology* **2019**, 57.
126. Payne E.G.I., P.T., Cook P.L.M., Deletic A., Hatt B.E., Fletcher T.D. Inside story of gas processes within stormwater biofilters: Does greenhouse gas production tarnish the benefits of nitrogen removal? *Environmental Science and Technology* **2017**, 51.
127. Payne E.G.I., P.T., Deletic A., Hatt B.E., Cook P.L.M., Fletcher T.D. Which species? A decision-support tool to guide plant selection in stormwater biofilters. *Advances in Water Resources* **2018**, 113.

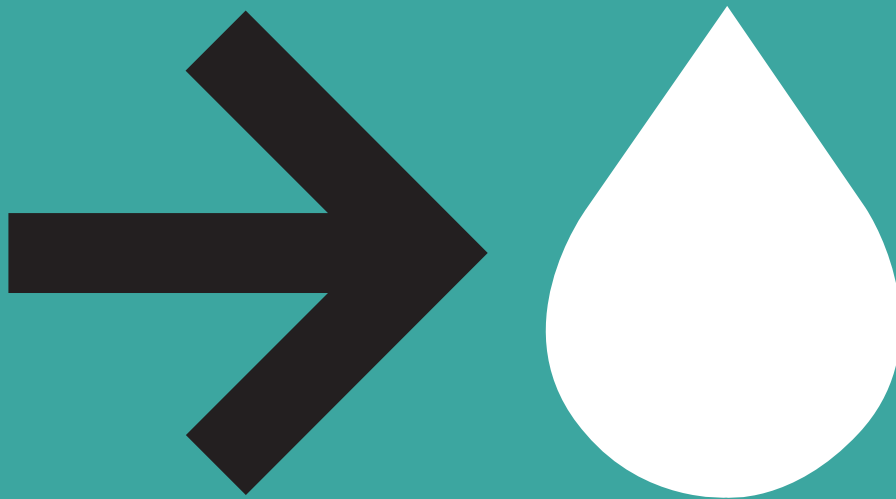
128. Peng J., C.Y., Rippy M.A., Afrooz A.R.M.N., Grant S.B. Indicator and pathogen removal by low impact development best management practices. *Water (Switzerland)* **2016**, 8.
129. Peter K.T., H.S., Tian Z., Wu C., McCray J.E., Lynch K., Kolodziej E.P. Evaluating emerging organic contaminant removal in an engineered hyporheic zone using high resolution mass spectrometry. *Water Research* **2019**, 150.
130. Petterson S.R., M.V.G., Davies C.M., O'Connor J., Kaucner C., Roser D., Ashbolt N. Evaluation of three full-scale stormwater treatment systems with respect to water yield, pathogen removal efficacy and human health risk from faecal pathogens. *Science of the Total Environment* **2016**, 543.
131. Puer W.T., M.C.K., Walter M.T., Geohring L.D. Denitrifying bioreactor response during storm events. *Agricultural Water Management* **2019**, 213.
132. Pritchett M., Y.Y., Payne M.M. Characterizing a small-scale, constructed wetland for stormwater treatment. *World Environmental and Water Resources Congress 2017: International Perspectives, History and Heritage, Emerging Technologies, and Student Papers - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2017* **2017**.
133. Randelovic A., Z.K., Jacimovic N., McCarthy D., Deletic A. Stormwater biofilter treatment model (mpire) for selected micro-pollutants. *Water Research* **2016**, 89.
134. Regnery J., G.C.P., Dickenson E.R.V., Drewes J.E. The importance of key attenuation factors for microbial and chemical contaminants during managed aquifer recharge: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **2017**, 47.
135. Reyes N.J., G.F.K., Kim L.-H. Evaluation of the factors influencing the treatment performance of a livestock constructed wetland. *Ecological Engineering* **2020**, 149.
136. Riley C.L., N.C.A. Controls on major ion chemistry and metals in a suburban pond fed by municipal water and treated stormwater. *Applied Geochemistry* **2020**, 117.
137. Rippy M.A., D.A., Black J., Aryal R., Lampard J.-L., Tang J.Y.-M., McCarthy D., Kolotelo P., Sidhu J., Gernjak W. Pesticide occurrence and spatio-temporal variability in urban run-off across australia. *Water Research* **2017**, 115.
138. Rizzo A., T.K., Pálffy T.G., Dittmer U., Meyer D., Schreiber C., Zacharias N., Ruppelt J.P., Esser D., Molle P., Troesch S., Masi F. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: A state-of-the-art review. *Science of the Total Environment* **2020**, 727.
139. Ruan T., L.J., Li Y., Li H., Wen M. Adsorption characteristics of amended bioretention fillers on heavy metal. *Desalination and Water Treatment* **2019**, 140.
140. S., E. Removal of particulate matter and phosphorus in sand filters treating stormwater and drainage runoff: A case study. *Urban Water Journal* **2018**, 15.
141. Sapdhare H., M.B., Beecham S., Brien C. Performance of a kerb side inlet to irrigate street trees and to improve road runoff water quality: A comparison of four media types. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, 26.
142. Segismundo E.Q., K.L.-H., Jeong S.-M., Lee B.-S. A laboratory study on the filtration and clogging of the sand-bottom ash mixture for stormwater infiltration filter media. *Water (Switzerland)* **2017**, 9.
143. Selbig W.R., F.M.N., Horwath J.A., Bannerman R.T. The effect of particle size distribution on the design of urban stormwater control measures. *Water (Switzerland)* **2016**, 8.
144. Seo D., L.T., Kim J., Koo Y. Development of integrated management system (istorms) for efficient operation of first flush treatment system for urban rivers. *Water Practice and Technology* **2017**, 12.
145. Shen P., D.A., Urich C., Chandrasena G.I., McCarthy D.T. Stormwater biofilter treatment model for faecal microorganisms. *Science of the Total Environment* **2018**, 630.
146. Shen P., D.A., Bratieres K., McCarthy D.T. Real time control of biofilters delivers stormwater suitable for harvesting and reuse. *Water Research* **2020**, 169.

147. Shirdashtzadeh M., C.G.I., Henry R., McCarthy D.T. "Plants that can kill; improving e. Coli removal in stormwater treatment systems using australian plants with antibacterial activity". *Ecological Engineering* **2017**, 107.
148. Shrestha P., H.S.E., Wemple B.C. Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems. *Ecological Engineering* **2018**, 112.
149. Shrestha P., S.M.T., Jimenez I.J., Pradhan N., Hay M., Wallace H.R., Abrahamson J.N., Small G.E. Efficacy of spent lime as a soil amendment for nutrient retention in bioretention green stormwater infrastructure. *Water (Switzerland)* **2019**, 11.
150. Sidek L.M., M.H.A., Haris H., Basri H., Muda Z.C., Roseli Z.A., Norlida M.D. Decision support system (dss) for msma integrated stormwater management ecohydrology for sustainable green infrastructure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2016**, 32.
151. Singh R.P., Z.F., Ji Q., Saravanan J., Fu D. Design and performance characterization of roadside bioretention systems. *Sustainability (Switzerland)* **2019**, 11.
152. Smolek A.P., A.A.R., Hunt W.F. Hydrologic and water-quality evaluation of a rapid-flow biofiltration device. *Journal of Environmental Engineering (United States)* **2018**, 144.
153. Tedoldi D., C.G., Pierlot D., Kovacs Y., Gromaire M.-C. Assessment of metal and pah profiles in suds soil based on an improved experimental procedure. *Journal of Environmental Management* **2017**, 202.
154. Tharp R., W.K., Hurley S. Macrophyte performance in floating treatment wetlands on a suburban stormwater pond: Implications for cold climate conditions. *Ecological Engineering* **2019**, 136.
155. Tirpak R.A., H.J.M., Franklin J.A. Investigating the hydrologic and water quality performance of trees in bioretention mesocosms. *Journal of Hydrology* **2019**, 576.
156. Tirpak R.A., A.A.N., Winston R.J., Valenca R., Schiff K., Mohanty S.K. Conventional and amended bioretention soil media for targeted pollutant treatment: A critical review to guide the state of the practice. *Water Research* **2021**, 189.
157. Tuttolomondo T., V.G., Licata M., Leto C., La Bella S. Constructed wetlands as sustainable technology for the treatment and reuse of the first-flush stormwater in agriculture-a case study in sicily (italy). *Water (Switzerland)* **2020**, 12.
158. Vanderzalm J.L., P.D.W., Barry K.E., Scheiderich K., Gonzalez D., Dillon P.J. Probabilistic approach to evaluation of metal(loid) fate during stormwater aquifer storage and recovery. *Clean - Soil, Air, Water* **2016**, 44.
159. Vanderzalm J.L., P.D.W., Dillon P.J., Barry K.E., Gonzalez D. Nutrient removal during stormwater aquifer storage and recovery in an anoxic carbonate aquifer. *Journal of Environmental Quality* **2018**, 47.
160. Ventura D., B.S., Consoli S., Ferrante M., Milani M., Licciardello F., Cirelli G.L. On the performance of a pilot hybrid constructed wetland for stormwater recovery in mediterranean climate. *Water Science and Technology* **2019**, 79.
161. Vijayaraghavan K., P.R.S. *Dracaena marginata* biofilter: Design of growth substrate and treatment of stormwater runoff. *Environmental Technology (United Kingdom)* **2016**, 37.
162. Vogel J.R., M.T.L. Urban stormwater characterization, control, and treatment. *Water Environment Research* **2016**, 88.
163. Wadzuk B., D.T., Sample-Lord K., Ahmed M., Welker A. Nutrient removal in rain garden lysimeters with different soil types. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* **2021**, 7.
164. Walaszek M., B.P., Laurent J., Lenormand E., Wanko A. Urban stormwater treatment by a constructed wetland: Seasonality impacts on hydraulic efficiency, physico-chemical behavior and heavy metal occurrence. *Science of the Total Environment* **2018**, 637-638.

165. Waller L.J., E.G.K., Krometis L.-A.H., Strickland M.S., Wynn-Thompson T., Badgley B.D. Engineered and environmental controls of microbial denitrification in established bioretention cells. *Environmental Science and Technology* **2018**, 52.
166. Wang H., Q.J., Hu Y. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? *Ecological Engineering* **2017**, 107.
167. Wang J., C.L.H.C., Shanahan P. Evaluation of pollutant removal efficiency of a bioretention basin and implications for stormwater management in tropical cities. *Environmental Science: Water Research and Technology* **2017**, 3.
168. Wang J., Z.P., Yang L., Huang T. Cadmium removal from urban stormwater runoff via bioretention technology and effluent risk assessment for discharge to surface water. *Journal of Contaminant Hydrology* **2016**, 185-186.
169. Wang J., Z.Y., Zhang P., Yang L., Xu H., Xi G. Adsorption characteristics of a novel ceramsite for heavy metal removal from stormwater runoff. *Chinese Journal of Chemical Engineering* **2018**, 26.
170. Weitere M., A.R., Anlanger C., Baborowski M., Bärlund I., Beckers L.-M., Borchardt D., Brack W., Brase L., Busch W., Chatzinotas A., Deutschmann B., Eligehausen J., Frank K., Graeber D., Griebler C., Hagemann J., Herzsprung P., Hollert H., Inostroza P.A., Jäger C.G., Kallies R., Kamjunke N., Karrasch B., Kaschuba S., Kaus A., Klauer B., Knöller K., Koschorreck M., Krauss M., Kunz J.V., Kurz M.J., Liess M., Mages M., Müller C., Muschket M., Musolff A., Norf H., Pöhlein F., Reiber L., Risse-Buhl U., Schramm K.-W., Schmitt-Jansen M., Schmitz M., Strachauer U., von Tümpling W., Weber N., Wild R., Wolf C., Brauns M. Disentangling multiple chemical and non-chemical stressors in a lotic ecosystem using a longitudinal approach. *Science of the Total Environment* **2021**, 769.
171. Westerhoff B.M., F.D.J., Ferrey M.L., Matilla A., Kunkel J., Elliott S.M., Kiesling R.L., Woodruff D., Schoenfuss H.L. Effects of urban stormwater and iron-enhanced sand filtration on daphnia magna and pimephales promelas. *Environmental Toxicology and Chemistry* **2018**, 37.
172. Winston R.J., D.-B.K.M., Buccier K.M., Hunt W.F. Seasonal variability in stormwater quality treatment of permeable pavements situated over heavy clay and in a cold climate. *Water, Air, and Soil Pollution* **2016**, 227.
173. Winston R.J., A.A.R., Hunt W.F. Modeling sediment reduction in grass swales and vegetated filter strips using particle settling theory. *Journal of Environmental Engineering (United States)* **2017**, 143.
174. Xu C., H.J., Jia H., Liang S., Xu T. Life cycle environmental and economic assessment of a lid-bmp treatment train system: A case study in china. *Journal of Cleaner Production* **2017**, 149.
175. Yang H., L.G., Yan Z., Liu J., Dong H., Jiang R., Zhou R., Zhang P., Sun Y., Nkoom M. Occurrence, spatial-temporal distribution and ecological risks of pharmaceuticals and personal care products response to water diversion across the rivers in nanjing, china. *Environmental Pollution* **2019**, 255.
176. Yang Q., B.S., Liu J., Pezzaniti D. The influence of rainfall intensity and duration on sediment pathways and subsequent clogging in permeable pavements. *Journal of Environmental Management* **2019**, 246.
177. Yang Y.-Y., L.M.G. Nutrients in urban stormwater runoff: Current state of the science and potential mitigation options. *Current Pollution Reports* **2018**, 4.
178. Yousefi A., M.-A.S. Mix design optimization of silica fume-based pervious concrete for removal of heavy metals from wastewaters. *Silicon* **2018**, 10.
179. Yu Z., G.H., Xiao M., Huang B., Zhu D.Z., Zhang Z., Wang H., Lin Y., Hou Y., Peng S., Zhang W. Performance of permeable pavement systems on stormwater permeability and pollutant removal. *Environmental Science and Pollution Research* **2021**.
180. Zakharova J., P.H., Bridgeman J., Wheatley A., Arif M. Understanding metal concentration and speciation in motorway runoff. *Environmental Technology (United Kingdom)* **2020**.

181. Zarezadeh V., L.T., Dorman T., Shipley H.J., Giacomoni M. Assessing the performance of sand filter basins in treating urban stormwater runoff. *Environmental Monitoring and Assessment* **2018**, 190.
182. Zeng T., G.C.M., Marti E.J., Woods-Chabane G.C., Karanfil T., Mitch W.A., Dickenson E.R.V. Relative importance of different water categories as sources of n?Nitrosamine precursors. *Environmental Science and Technology* **2016**, 50.
183. Zhan Y., H.N., Yang B., Du Y., Wu Q., Liu A. Toxicity variability of urban road stormwater during storage processes in shenzhen, china: Identification of primary toxicity contributors and implications for reuse safety. *Science of the Total Environment* **2020**, 745.
184. Zhang K., B.P.M., Mathios J., Dotto C.B.S., Deletic A. Quantifying the benefits of stormwater harvesting for pollution mitigation. *Water Research* **2020**, 171.
185. Zhang K., L.Y., Deletic A., McCarthy D.T., Hatt B.E., Payne E.G.I., Chandrasena G., Li Y., Pham T., Jamali B., Daly E., Fletcher T.D., Lintern A. The impact of stormwater biofilter design and operational variables on nutrient removal - a statistical modelling approach. *Water Research* **2021**, 188.
186. Zhang Y., W.C.C., Wu S., Liu X., Ball W.P., Preheim S.P. Effect of strain-specific biofilm properties on the retention of colloids in saturated porous media under conditions of stormwater biofiltration. *Environmental Science and Technology* **2021**.
187. Zheng Z., Z.K., Toe C.Y., Amal R., Zhang X., McCarthy D.T., Deletic A. Stormwater herbicides removal with a solar-driven advanced oxidation process: A feasibility investigation. *Water Research* **2021**, 190.
188. Zhou Y., Z.P., Zhang Y., Li J., Zhang T., Yu T. Total and settling velocity-fractionated pollution potential of sewer sediments in jiaxing, china. *Environmental Science and Pollution Research* **2017**, 24.
189. Zhu X., C.V., Gautier M., Blanc-Biscarat D., Delolme C., Dumont N., Aubin J.-B., Lipeme Kouyi G. Combination of lagrangian discrete phase model and sediment physico-chemical characteristics for the prediction of the distribution of trace metal contamination in a stormwater detention basin. *Science of the Total Environment* **2020**, 698.
190. Rognstad, A.B. *Treatment of stormwater using large particle size fraction of incineration bottom ash*; Masteroppgave NTNU, Trondheim: 2017.
191. Bergsens, K. *Performance of closed particle removal systems for treatment of road runoff*; Masteroppgave NTNU, Trondheim: 2021.
192. Biotveit, Å. *Investigation og heavy metal removal and degradation of detergent in sedimented tunnel wash water*; Masteroppgave NTNU, Trondheim: 2020.
193. Adler, N. *Performance of road side gully pots in trondheim for sediment removal - evaluated based landuse and annual traffic loads*; Masteroppgave NTNU, Trondheim: 2020.
194. Strømberg, M. *Sediment removal performance of a hydrodynamic vortex separator*; Masteroppgave NTNU, Trondheim: 2020.
195. Paule-Mercado, M.C.A. Monitoring and quantification of stormwater runoff from mixed land use and land cover catchment in response to land development. *Ecological indicators* **2018**, v. 93, pp. 1112-1125-2018 v.1193.
196. Jotte, L.; Raspati, G.S.; Azrague, K. *Review of stormwater management practices*; 2017.
197. Woods, B.; Wilson, B.; Udal-Clarke, H.; Ilman, S.; Scott, T.; Ashley, R. *The suds manual*; 1/1/2015, 2015.
198. Dutta, A.; Torres, A.S.; Vojinovic, Z. Evaluation of pollutant removal efficiency by small-scale nature-based solutions focusing on bio-retention cells, vegetative swale and porous pavement. *Water* **2021**, 13.
199. Schueler, T.; Youngk, A. *Potential benefits of nutrient and sediment practices to reduce toxic contaminants in the chesapeake bay watershed. Part 1: Removal of urban toxic contaminants*; 2015.

200. Fan, G.; Lin, R.; Wei, Z.; Xiao, Y.; Shangguan, H.; Song, Y. Effects of low impact development on the stormwater runoff and pollution control. *Science of The Total Environment* **2022**, *805*, 150404.



CONSORTIUM

Private sector

SKANSKA

MESTERHUS

Multiconsult

Finans Norge

SKJÆVELAND
GRUPPEN

NORGESHUS

Leca

isola

Public sector



Statens vegvesen



Noregs
vassdrags- og
energidirektorat

AVINOR



Jernbane-
direktoratet



STATSBYGG



TRONDHEIM KOMMUNE

Research & education

SINTEF

BI

NTNU

Meteorologisk
institutt

NGI